HAL
open science

Systèmes d'information supports aux acteurs, en conduite de la conception

Christophe Merlo

To cite this version:

Christophe Merlo. Systèmes d'information supports aux acteurs, en conduite de la conception. Sciences de l'ingénieur [physics]. Université Sciences et Technologies - Bordeaux I, 2009. tel-00399589v2

HAL Id: tel-00399589

https://theses.hal.science/tel-00399589v2

Submitted on 17 Sep 2009

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

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

N°d'ordre : 436

HABILITATION A DIRIGER DES RECHERCHES

PRESENTEE A

L'UNIVERSITE BORDEAUX 1

ECOLE DOCTORALE DES SCIENCES PHYSIQUES ET DE L'INGENIEUR

Par **Christophe MERLO**

Systèmes d'information supports aux acteurs, en conduite de la conception

---

Soutenue le 20 mai 2009

Rapporteurs :

Emmanuel CAILLAUD, Professeur, Université de Strasbourg

Aziz BOURAS, Professeur, Université Lumière Lyon 2

Michel BIGAND, Maitre de conférences HDR, Ecole Centrale de Lille

Jean Pierre NADEAU, Professeur, Université Bordeaux 1 — Président, Rapporteur interne

Examinateurs :

Chris MCMAHON, Professeur, University of Bath, UK

Philippe GIRARD, Professeur, IUFM d'Aquitaine — Garant d'habilitation

— 2009 —

Remerciements

Préparer ce mémoire d'Habilitation à Diriger des Recherches a été pour moi l'occasion de regarder le chemin que j'avais tracé à travers une carrière atypique et encore en construction. Je me suis rendu compte que de nombreux facteurs en apparence indépendants avaient participé à une cohérence globale que j'espère être parvenue à retranscrire. A ce titre je me dois d'adresser des remerciements à tous ceux qui m'ont accordé leur confiance, qui m'ont accompagné et qui m'ont apporté leur soutien tout au long de ces presque vingt dernières années. Il me semble difficile malheureusement difficile d'être exhaustif.

Je tiens en particulier à remercier mes directeurs successifs de l'ESTIA, Jacques Tortos, pour m'avoir appris à devenir un professionnel attentif à la satisfaction du client, qu'il soit industriel ou étudiant, et Jean Roch Guiresse, qui fut le principal artisan de ma conversion à la recherche scientifique, et qui m'a donné les moyens pour y parvenir.

Je tiens également à remercier Philippe Girard, Responsable de l'équipe Ingénierie de la Conception (ICO) au sein du laboratoire IMS/LAPS, qui fut un mentor patient durant ma thèse, avant de suivre mon évolution jusqu'à cette habilitation, et au-delà. Je remercie également Guy Doumeingts qui est à l'origine d'une certaine démarche scientifique, à laquelle j'ai d'autant plus adhéré du fait de mon parcours initial au Centre de Ressources Technologiques ESTIA Innovation.

J'exprime aussi ma reconnaissance à tous mes collègues du Campus ESTIA qui m'accompagnent depuis nombre d'années. Sur le plan scientifique, un remerciement particulier à Xavier Fischer pour son soutien et la 'pression amicale' qu'il a manifesté pour m'encourager à présenter cette habilitation, ainsi qu'à Benoit pour sa très amicale et très longue collaboration, qui en fait un contributeur important de mes travaux. Un grand merci également à Jérémy et Stéphanie, Guillaume, Livier, Emilie, Jean-Marc, Nadine, Sébastien, François, Carmen, Nadine, Raphaël et tous ceux avec lesquels j'ai collaboré ces dernières années au sein de l'ESTIA sur des projets et des actions de recherche. De même, un remerciement à l'ensemble de l'équipe ICO, en particulier Vincent, Ashkan et Arz. J'englobe dans ce même remerciement les enseignants-chercheurs et les industriels avec lesquels j'ai travaillé aux niveaux national, européen et international, certains furent des exemples (et le sont toujours), d'autres des partenaires enrichissants, d'autres enfin des pourvoyeurs de conseils pertinents.

Je terminerai avec une pensée émue pour ma famille qui n'imaginait pas, tout comme moi, toutes les implications d'une carrière d'enseignant-chercheur.

Introduction

Ce document synthétise près de vingt ans d'une carrière originale pour un enseignant-chercheur, dans la mesure où cette vocation n'est venue que progressivement.

Titulaire au départ d'un D.E.S.S. en Mathématiques Appliquées à l'Informatique, j'étais destiné à développer des outils d'analyse numérique au sein d'entreprises de développement informatique. Fort heureusement les hasards de la vie ont voulu que j'atterrisse à ce qui est devenue aujourd'hui l'ESTIA dès ma 'mise sur le marché'. Ce fut mon premier contact avec l'enseignement d'une part, et avec la CAO et la conception de produits d'autre part.

Pendant une dizaine d'année j'ai donc exercé un double métier, celui d'enseignant et celui de consultant en entreprise. Ce furent des années exigeantes sur le plan professionnel mais extrêmement enrichissantes : accompagner des PME et des grandes entreprises dans des projets technologiques permet d'apprendre beaucoup et très vite. Cette expérience est également une façon d'aborder les questions de pédagogie avec un point de vue très pratique, et d'apporter aux étudiants des exemples industriels et des problématiques concrètes.

Quand l'opportunité de passer un D.E.A. puis une thèse me fut offerte, je l'ai aussitôt saisie dans la mesure où l'action directe en entreprise ne m'apportait plus autant de satisfaction. Le besoin de prendre du recul par rapport aux problèmes à court terme, l'envie de réfléchir à des solutions plus globales et à plus long terme, m'ont poussé dans cette démarche qui m'a fait changé progressivement de métier. J'ai donc basculé non sans difficultés d'un état d'esprit de consultant – enseignant à celui d'enseignant-chercheur.

Mes travaux de recherche sont restés centrés sur les thématiques que j'avais développées : la conception de produits, en particulier les outils supports pour la conception (métiers et PLM) et surtout la conduite de la conception. J'ai ainsi pu bénéficier de mes expériences industrielles de consultant pour traiter les problématiques de recherche avec la préoccupation constante de rendre mes contributions applicables. Tout au long de la description de mes travaux de recherche on retrouvera des projets de recherche, ou des développements d'outils informatiques, ou des méthodes de mise en œuvre, qui correspondent à cette préoccupation.

Cette double carrière, finalement, explique pourquoi je suis capable de démontrer une longue expérience en enseignement, un grand nombre de projets menés avec des industriels, ainsi qu'une mise en cohérence de mes axes de recherche, malgré un délai de six années entre ma soutenance de thèse en 2003 et cette habilitation en 2009.

Le présent document se décompose en deux grandes parties précédées d'une description rapide de mon parcours sous la forme d'un CV.

La première partie (chapitre 2) est un Curriculum Vitae étendu. Il présente sous forme de tableaux synthétiques puis de façon détaillée les principaux critères quantitatifs et qualitatifs

de mes activités d'enseignement, de recherche puis de projets de valorisation ou de transfert.

La seconde partie (chapitre 3) développe dans le détail l'ensemble des activités de recherche. Les résultats scientifiques présentent de façon structurée l'ensemble de mes contributions centrées sur l'étude d'environnements d'assistance pour la conduite de la conception collaborative. J'y présente la démarche de recherche qui est à la base de mes travaux et je développe ces résultats suivant trois axes complémentaires : un axe dédié à la conduite de la conception, un axe dédié à l'étude de la collaboration entre acteurs, et enfin un axe fédérateur dédié aux environnements d'assistance. Est exposée ensuite la cohérence d'ensemble de mes travaux scientifiques et leur synergie avec les principaux projets, outils et enseignements réalisés, avant de définir les orientations thématiques prévues des recherches qui sont engagées aujourd'hui et pour les prochaines années.

Il se termine par la liste complète de mes publications.

Cette partie est complétée par la bibliographie évoquée lors de la description de mes résultats de recherche.

SOMMAIRE

1. CURRICULUM VITAE 13

1.1. ETAT CIVIL 13
1.2. TITRES ET DIPLOMES 14
1.3. FONCTIONS OCCUPEES DANS LE CADRE DE L'ENSEIGNEMENT ET DE LA RECHERCHE 15
1.4. AXES DE RECHERCHE ET ACTIVITES DE COORDINATION 16

2. BILAN DETAILLE DE MES ACTIVITES 17

2.1. ACTIVITES D'ENSEIGNEMENT 17
2.1.1. Bilan quantitatif des activités d'enseignement 17
2.1.2. Domaines d'enseignement personnels et filières 18
2.1.3. Principales responsabilités pédagogiques et administratives 21
2.1.4. Autres missions et activités d'animation pédagogiques 23
2.2. ACTIVITES DE RECHERCHE 33
2.2.1. Bilan quantitatif des actions de recherche 33
2.2.2. Encadrements scientifiques 37
2.2.3. Animation scientifique 43
2.2.4. Les activités internationales 50
2.2.5. Production d'outils logiciels 53
2.3. ACTIVITES DE VALORISATION ET DE TRANSFERT SCIENTIFIQUE 55
2.3.1. Bilan quantitatif pour la valorisation et le transfert 55
2.3.2. Les projets à vocation scientifique 56
2.3.3. Les collaborations industrielles de transfert de technologie 61
2.3.3.1. Collaborations depuis 2000 (ESTIA Recherche) 61
2.3.3.2. Collaborations antérieures à 2000 (ESTIA Innovation) 63

3. SYSTEMES D'INFORMATION SUPPORTS AUX ACTEURS DE LA CONCEPTION 65

3.1. CONTEXTE ET PROBLEMATIQUE 67
3.1.1. De la conduite des systèmes à la thématique de recherche 67
3.1.2. La méthodologie de recherche suivie 69
3.1.3. Les principales contributions 71
3.2. AXE SYSTEME : LA METHODOLOGIE GRAI INGENIERIE POUR LA CONDUITE DE LA CONCEPTION 77
3.2.1. Contexte initial : Représentation du système de conception 78
3.2.2. Contribution : Méthode GRAI Ingénierie 80
3.2.3. Contribution : Modélisation des connaissances pour la conduite 83
3.2.4. Contribution collective : Mise en œuvre de la conduite 86
3.3. AXE ACTEURS : L'ETUDE DES COLLABORATIONS ENTRE ACTEURS 91
3.3.1. Contribution : Méthode d'analyse des mécanismes collaboratifs 92
3.3.2. Contribution : Un modèle pour l'analyse de la collaboration 94
3.3.3. Contribution : Un outil support, CoCa 97
3.3.4. Synthèse : Coordination et collaboration, 2 concepts liés 101
3.4. AXE ENVIRONNEMENTS D'ASSISTANCE : LA PROPOSITION DE SYSTEMES D'INFORMATION POUR LA CONDUITE ET LES ACTEURS 103
3.4.1. Contribution : Méthode pour la spécification conceptuelle d'environnements d'assistance 104
3.4.2. Contributions : Des environnements d'assistance pour la conduite 108
3.4.3. Contributions : Des environnements d'assistance pour le PLM 116
3.4.4. Contribution collective : Déploiement de solutions logicielles en entreprise 125
3.5. SYNTHESE ET PERSPECTIVES 133
3.5.1. L'affirmation d'un schéma de recherche 133
3.5.2. Perspectives : vers des environnements d'assistance interopérables 134

4. DETAILS DES PUBLICATIONS 139

5. BIBLIOGRAPHIE 149

6. ANNEXES 155

Liste des figures

Figure 1. Evolution des publications dans des revues internationales *34*
Figure 2. Evolution des publications dans des conférences internationales *35*
Figure 3. Liens entre stratégie et action *68*
Figure 4. Mes trois axes de recherche et leurs connexions *69*
Figure 5. Démarche scientifique de ré-ingénierie *70*
Figure 6. Les cinq étapes de la méthodologie de recherche *70*
Figure 7. Contributions scientifiques relatives aux 3 axes de recherche *72*
Figure 8. Axe « système », domaines de recherche supports, bilan des contributions et résultats *73*
Figure 9. Axe « système », domaines de recherche supports, bilan des contributions et résultats *74*
Figure 10. Axe « système », domaines de recherche supports, bilan des contributions et résultats *75*
Figure 11. Cartographie des principaux travaux de recherche *76*
Figure 12. Axe « système », domaines de recherche supports, bilan des contributions et résultats *78*
Figure 13. Le système de conception *78*
Figure 14. Décomposition du système de conception *79*
Figure 15. Les différentes étapes de la méthode GRAI Ingénierie *81*
Figure 16. Modèle intégré IPPOP – Intégration des modèles Produit, Processus et Organisation *87*
Figure 17. Démarche effective de conduite de la conception *88*
Figure 18. Démarche de caractérisation et de mise en œuvre effective de la conduite de la conception *89*
Figure 19. Axe « acteurs », domaines de recherche supports, bilan des contributions et résultats *91*
Figure 20. Coordination et analyse de la collaboration pour la gestion de projet *93*
Figure 21. Modèle de collaboration en conception *95*
Figure 22. Contexte du projet AGV7 ..... *98*
Figure 23. Critères collaboratifs de l'évènement "definition besoin", projet AGV7 ..... *99*
Figure 24. Analyse de l'évènement "definition besoin", projet AGV7 ..... *100*
Figure 25. Types de préconisations possibles pour améliorer la coordination *101*
Figure 26. Cartographie de mes apports scientifiques *102*
Figure 27. Axe « environnements d'assistance », domaines de recherche supports, bilan des contributions et résultats *104*
Figure 28. Diagrammes UML et démarche proposée illustrée pour la méthode GRAI Ingénierie *106*
Figure 29. Diagrammes UML et démarche de spécification conceptuelle *107*
Figure 30. Diagramme des composants *109*
Figure 31. Exemple d'une interface graphique pour un acteur d'un centre de décision *110*
Figure 32. Exemple d'IHM du prototype IPPOP : création de tâche *110*
Figure 33. IHM initiale du prototype ATLAS : page récapitulative des projets / tâches *111*
Figure 34. Interactions entre l'environnement d'assistance et un acteur de la décision *114*
Figure 35. Interactions entre un concepteur et l'agent produit associé *115*
Figure 36. Cycle de vie du produit *117*
Figure 37. Arborescence produit multi-vues après personnalisation de Windchill *118*
Figure 38. Mécanisme de gestion de processus multi-niveaux flexibles *120*
Figure 39. Décomposition de l'usage selon le triptyque Produit, Utilisateur et Environnement *123*
Figure 40. Architecture du prototype ULM *124*
Figure 41. Ecran d'accueil du prototype ULM *124*
Figure 42. Diagramme de cas d'utilisation et besoins fonctionnels des acteurs *126*
Figure 43. Diagramme de classe de la structure produit et spécification de processus *127*
Figure 44. Diagramme état-transition de la classe « Document » *127*
Figure 45. Diagramme d'activités d'un processus de conception d'une pale *128*
Figure 46. Worflow, implémenté avec Windchill, du processus de conception d'une pale *128*
Figure 47. Méthode de déploiement d'outils PLM en PME *130*
Figure 48. Axe mise en œuvre d'environnements d'assistance et couplage des 3 axes de recherche *131*
Figure 49. Evolution des axes de recherche *138*

Liste des tableaux

Tableau 1. Détail des enseignements en méthodes et outils pour la conception *19*
Tableau 2. Détail des enseignements en gestion de projets *20*
Tableau 3. Détail des enseignements en ingénierie logicielle *21*
Tableau 4. Classification globale des connaissances en conduite de la conception *86*

Glossaire

AMDEC :	Analyse des Modes de Défaillances, de leurs Effets et de leur Criticité
BPR :	Business Process Reengineering
CAD :	Computer Aided Design
CAM :	Computer Aided Manufacturing
CAE :	Computer Aided Engineering
CAO :	Conception Assistée par Ordinateur
CFAO :	Conception et Fabrication Assistée par Ordinateur
CGP :	Conception Généralisée de Produit, l'une des 3 options du diplôme d'ingénieur ESTIA
CRM :	Customer Relationship Management
CRT :	Centre de Ressources Technologiques
CSCW :	Computer Supported Cooperative Work
EDI :	Electronic Data Interchange
ERP :	Enterprise Resource Planning
FAO :	Fabrication Assistée par Ordinateur
FUI :	Fonds Unique Interministériel
GED :	Gestion Electronique de Documents
IHM :	Interface Homme-Machine
KBE :	Knowledge Based Engineering
MDA :	Model Driven Architecture
MDI :	Model Driven Interoperability
MOCN :	Machine Outil à Commande Numérique
MPA :	Maitrise des Procédés Automatisés, l'une des 3 options du diplôme d'ingénieur ESTIA
OGI :	Organisation et Gestion Industrielle, l'une des 3 options du diplôme d'ingénieur ESTIA
PDM :	Product Data Management, SGDT en français
PLM :	Product Lifecycle Management, ie Gestion du Cycle de Vie du Produit
PPO :	Produit Processus Organisation
RDM :	Résistance des matériaux SGDT
SADT :	Structured Analysis and design Technics
SART :	Structured Analysis for Real Time software
SGDT :	Système de Gestion de Données Techniques
SIG :	Système d'Information Géographique
TIC :	Technologies de Information et de la Communication
UE :	Unité d'Enseignement, spécifique au diplôme d'ingénieur ESTIA
ULM :	Usage Lifecycle Management
UML :	Unified Modelling Language

1. CURRICULUM VITAE

1.1. ETAT CIVIL

Nom et prénom : MERLO Christophe

Date et lieu de naissance : 7 aout 1966 à Bordeaux (Caudéran)

Situation Familiale : Marié - 3 enfants

Statut professionnel actuel :

Enseignant-chercheur à l'**Ecole d'ingénieur ESTIA, Bidart (64)**
Statutaire de la Chambre de Commerce et d'Industrie de Bayonne Pays Basque

Etablissement Public de l'Etat sous tutelle de la Chambre de Commerce et d'Industrie de Bayonne Pays Basque
Etablissement habilité par la Commission des Titres d'Ingénieurs
Ecole sous le régime de l'Article 43 avec L'Université Bordeaux 1 et l'UPPA, paru au J.O. en décembre 2005

Statut universitaire actuel :

Chercheur au sein de l'IMS, Département LAPS-GRAI, UMR CNRS 5218
Université Bordeaux 1 – UFR de Physique
Thématique « Ingénierie de la Conception »,
animée par Philippe Girard, Professeur
depuis le 1er janvier 2007

Adresse professionnelle : ESTIA, Technopole Izarbel, 64210 Bidart

Téléphone : 05.59.43.84.33
Télécopie : 05.59.43.84.01
E-mail : christophe.merlo@laps.ims-bordeaux.fr
c.merlo@estia.fr

1.2. TITRES ET DIPLOMES

2004 **Qualifié** au grade de Maître de Conférences, 61e section, n°04261137216

2003 **Doctorat** de l'Université de Bordeaux 1 - Spécialité Productique
Laboratoire LAP/GRAI, Bordeaux 1
Soutenu le 5 novembre 2003
Mention très honorable

Titre : ***Modélisation des connaissances en conduite de l'ingénierie - Mise en œuvre d'un environnement d'assistance aux acteurs de la conception***

Directeur de thèse :
Guy DOUMEINGTS, Professeur, Université de Bordeaux 1
Co-Directeur de thèse :
Philippe GIRARD, Maître de conférences, Université de Bordeaux 1

Rapporteurs :
Michel Tollenaere, Professeur, INPG, Grenoble
Michel Gourgand, Professeur, Univ. Blaise Pascal, Clermont-Ferrand
Jury :
Michel Tollenaere, Professeur, INPG, Grenoble (Président)
Michel Gourgand, Professeur, U. Blaise Pascal, Clt-Ferrand, Rapporteur
Guy Doumeingts, Professeur, Univ. de Bordeaux 1, Examinateur
Philippe Girard, Maître de conférences, Univ. de Bordeaux 1, Examinateur
Mikel Sorli, Docteur, Centre de Recherche Labein, Bilbao, Espagne, Examinateur
Claude Houellebecq, Responsable du Service Ingénierie, Renault, Billancourt, Examinateur

1999 **D.E.A.** Automatique Productique de l'Université de Bordeaux 1
Mention Bien
Laboratoire LAP/GRAI, Université de Bordeaux 1

1989 **D.E.S.S.** de Mathématiques Appliquées à l'Informatique
Mention Assez Bien
Université de Pau et des Pays de l'Adour (UPPA), Pau

1988 **Maitrise** de Mathématiques Appliquées à l'Informatique
Mention Bien
Université de Pau et des Pays de l'Adour (UPPA), Pau

1986 **D.E.U.G.** M.M.P.I.
Mention Assez Bien
Université de Pau et des Pays de l'Adour (UPPA), Pau

1984 **Baccalauréat série C**
Mention Passable
Lycée Saint Louis Villa Pia, Bayonne

1.3. FONCTIONS OCCUPEES DANS LE CADRE DE L'ENSEIGNEMENT ET DE LA RECHERCHE

Depuis Décembre 03 **Enseignant - Chercheur** à l'ESTIA
http://www.estia.fr/

Missions :
- Enseignements en CAO, PLM, gestion de projets, UML, modélisation de processus, méthodes de conception
- Responsable de l'Unité d'Enseignement (UE) Entreprise - Méthodes - Projets
- Responsable des Projets étudiants de 2e et 3e année
- Responsable pédagogique de l'option CGP (Conception Généralisée de Produit)

Mars 00 à Décembre 03 **Ingénieur - Chercheur** à l'ESTIA

Missions :
- Enseignements en CAO, SGDT, gestion de projets, UML
- Responsable de la plateforme CFAO / SGDT de l'ESTIA
- Réalisation de la thèse de doctorat sous convention Fongecif

Novembre 89 à Mars 00 **Consultant - Enseignant** au sein du Centre de Ressources Technologiques « Innovation-Logiciel-Systèmes », C.R.T. I.L.S.,
dénommé à présent C.R.T. ESTIA Innovation, Bidart (64).

Missions :
- Responsable de la plateforme CAO/FAO du CRT ILS
- Consultant spécialisé en Organisation et Outils de la Conception (CFAO, SGDT, calcul…) :
  environ 40% de mon activité
- Enseignements à l'ESTIA sur ces mêmes disciplines, Unix et les méthodes de développement de logiciels :
  50% de mon activité

1.4. AXES DE RECHERCHE ET ACTIVITES DE COORDINATION

Ma thématique de recherche se situe en **Productique** et porte principalement sur **l'étude et la mise en œuvre d'environnements d'assistance pour les acteurs de la conception, dans un contexte de conduite de la conception**.

J'ai développé cette thématique selon trois axes complémentaires :

- l'axe « **système** », centré sur le système de conception dans son ensemble, de la modélisation des organisations et des processus à la mise en œuvre effective de la conduite dans les projets de développement de produits ;
- l'axe « **environnements d'assistance** », afin de proposer des systèmes d'information destinés à accompagner la conduite et à assister les acteurs de la conception, concepteurs et chefs de projet, et propose des méthodes de spécifications et de déploiement dans un contexte PLM ;
- l'axe des « **acteurs** », destiné à l'étude des mécanismes collaboratifs entre les acteurs de la conception, en vue de compléter l'axe « système » par une approche ascendante et l'axe « environnements d'assistance » par la caractérisation de fonctionnalités collaboratives pour les acteurs.

En développant ces axes de recherche, j'ai progressivement assumé de multiples activités de coordination, aussi bien en recherche que dans les activités projets, pédagogiques et d'enseignement.

En recherche, j'ai directement supervisé 2 thèses de doctorat et plusieurs stages de DEA et Master 2. J'ai coordonné plusieurs activités scientifiques au sein de projets RNTL, ANR et FUI ainsi que lors d'actions de valorisation industrielles. J'ai animé un thème de recherche pendant 3 ans au sein du GT IS3C du GDR MACS et des actions en PLM au sein du réseau AIP-PRIMECA. J'anime actuellement des collaborations internationales avec le Mexique, le Pérou et la Colombie. Ces éléments sont détaillés ultérieurement dans ce rapport.

En enseignement, j'ai assumé la charge de porter des innovations pédagogiques au sein de mon établissement et de coordonner des actions d'amélioration continue.

2. BILAN DETAILLE DE MES ACTIVITES

Le bilan d'activité présenté dans ce chapitre comporte trois sections. La première section est centrée sur les **activités d'enseignement**. Elle comprend la description des enseignements réalisés au cours de ma carrière puis la description des **activités administratives et des responsabilités associées**, qui sont liées à la vie du Campus ESTIA. La seconde section développe mes **activités de recherche**. Néanmoins la liste exhaustive des publications et des travaux d'encadrement est reportée au chapitre 4 pour ne pas alourdir la présentation de ce bilan. La troisième section concerne la **valorisation des résultats scientifiques** à travers les projets de **recherche** ou de **transfert**, pour la plupart en collaboration avec des partenaires industriels.

Chacune des sections consacrées à l'enseignement, la recherche puis la valorisation débute en rappelant le bilan synthétique déjà présenté et donnant une vue globale et quantitative des activités réalisées.

2.1. ACTIVITES D'ENSEIGNEMENT

Après un rapide bilan quantitatif, le lecteur trouvera dans la deuxième sous-section la liste exhaustive des enseignements effectués actuellement mais aussi des enseignements que j'ai assurés par le passé en tant que consultant-enseignant à ESTIA Innovation. A cette époque les activités liées à l'enseignement représentaient déjà 40% de mon emploi du temps, en y incluant le travail de préparation, d'encadrement et administratif qui s'y rapporte.

Dans les sous-sections suivantes, les différentes responsabilités actuelles ou passées seront précisées, tant au niveau pédagogique qu'au niveau administratif, puis seront décrites plusieurs actions engagées sur le plan pédagogique pour améliorer l'enseignement au sein d'ESTIA.

2.1.1. Bilan quantitatif des activités d'enseignement

• Nombre d'enseignements assurés	15
• Nombre d'enseignements sous responsabilité directe	11
• Nombre d'heures d'enseignements annuelles	200 h éq.TD
• Nombre de projets encadrés depuis 2003	18
• Nombre de responsabilités pédagogiques et administratives assumées	4
• Nombre de missions et activités pédagogiques assumées	10
• Nombre de logiciels produits	6

2.1.2. Domaines d'enseignement personnels et filières

Historiquement les enseignements dont j'assume la charge concernent l'utilisation d'outils informatiques pour la conception (outils de CAO), ce qui correspond à ma première activité au sein du C.R.T. I.L.S. Avec la création du diplôme d'ingénieurs au sein de l'ESTIA et en particulier de son option CGP (Conception Généralisée de Produits), les aspects méthodologiques ont pris de l'importance puisque l'objectif principal de cette option est de former des concepteurs susceptibles de devenir des chefs de projets ou des responsables techniques au sein des entreprises industrielles.

Par affinité avec ma formation initiale (analyse numérique et informatique), j'ai également pris en charge les enseignements portant sur les systèmes d'informations destinés à gérer l'ensemble du cycle de vie du produit : les Systèmes de Gestion de Données Techniques (SGDT) et leur exploitation dans le cadre du PLM (Product Lifecycle Management). L'enseignement de ces concepts et systèmes concernent l'ensemble des filières de l'ESTIA : l'option CGP mais aussi les options MPA (Maîtrise des Procédés Automatisés) et OGI (Organisation et Gestion Industrielle). Cette dimension est d'ailleurs en corrélation directe avec les activités de recherche car l'étude des systèmes d'information fait partie intégrante des environnements que je souhaite mettre en œuvre pour assurer la conduite des systèmes de conception, thème développé lors de ma thèse de doctorat et poursuivi depuis.

Enfin je suis impliqué dans les enseignements liés à la « gestion de projets » et à l'organisation de l'entreprise, dans la mesure où cela est indissociable de la gestion des processus de conception et de leur conduite. Là encore ces enseignements sont en corrélation avec mes activités de recherche au sein de l'IMS - LAPS, centrées sur la conduite de la conception : l'organisation des hommes, le pilotage du processus de conception, le management des projets et des hommes…

Aujourd'hui les enseignements que j'assume de façon récurrente peuvent donc être regroupés selon trois domaines majeurs :

1. **les méthodes et outils pour la conception,**
2. **les méthodes et outils pour la gestion de projets et l'organisation,**
3. **l'ingénierie logicielle.**

Les méthodes et outils pour la conception concernent principalement aujourd'hui les outils de CAO et les outils du PLM et les méthodes de travail préconisées pour une meilleure intégration ou utilisation en entreprise. Par le passé j'ai également eu à assurer des enseignements sur les outils de FAO ou de RDM. Le tableau suivant décline le détail des enseignements dans les différentes filières concernées pour ce domaine.

Tableau 1. Détail des enseignements en méthodes et outils pour la conception

Méthodes et outils pour la conception	Filières	Contenus	Outils utilisés
Initiation à la CAO	ESTIA filière ingénieur, 1e année Master 2 Pro SPIA (U.Bx1) Master 2 Pro Ingénierie des Sports de Glisse (U.Bx2)	Découverte de la modélisation 3D solide paramétrée	Pro Engineer (PTC)
Modélisation CAO Avancée	ESTIA filière ingénieur, 2e année CGP/MPA	Apprentissage de méthodologies de modélisation collaborative de produit	Pro Engineer (PTC)
Maquette numérique	ESTIA filière ingénieur, 2e année CGP/MPA	Découverte de la maquette numérique et des outils de revues de projets	Product View (PTC)
Modélisation CAO surfacique	ESTIA filière ingénieur, 3e année CGP	Découverte des techniques de modélisation de formes complexes	Catia (Dassault Systèmes)
Les Systèmes de Gestion de Données Techniques	ESTIA filière ingénieur, 3e année CGP, MPA et OGI Master 2 Pro Mécanique et Ingénieries Master 2 Recherche IPPSI Ecole des Mines d'Albi-Carmaux	Description de ces systèmes d'information pour la conception, enjeux, intérêts, fonctionnalités	Windchill (PTC)
Le PLM (Product Lifecycle Management)	ESTIA filière ingénieur, 3e année CGP	Introduction au concept PLM, configuration d'un tel système d'information, environnement collaboratif pour la conception, déploiement en entreprise	Windchill (PTC)
Enseignements abandonnés			
Initiation à la FAO et à la génération de programmes pour MOCN	Master of Science CAD/CAM/CAE, U. de Cranfield		
Initiation à la RDM	Master of Science CAD/CAM/CAE, U. de Cranfield		
Initiation au dessin technique	Master of Science CAD/CAM/CAE, U. de Cranfield DESS SPIA (U.Bx1)		
Administration d'un SGDT	Master of Science CAD/CAM/CAE, U. de Cranfield		

Dans le domaine de la gestion de projet et de l'organisation (cf tableau 2), plusieurs types d'enseignements sont abordés : des enseignements classiques comme le management des projets de conception ou la capitalisation des connaissances en conception par exemple ; mais aussi des enseignements couplés à la pédagogie projet qui est développée à l'ESTIA comme par exemple la démarche de projet et les séances applicatives. Cette pédagogie est développée dans la section 2.1.2.

Tableau 2. Détail des enseignements en gestion de projets

Méthodes et outils pour la gestion de projet et l'organisation	Filières	Contenus	Outils utilisés
Industrialisation du cahier des charges	ESTIA filière ingénieur, 1e année	Comment définir un cahier des charges	
Démarche de projet	ESTIA filière ingénieur, 2e année CGP/MPA et OGI	Planification de tâches, gestion des ressources, élaboration d'un plan de développement et d'un plan qualité	MS Project (Microsoft)
Management des projets en conception	ESTIA filière ingénieur, 3e année CGP Master 1 Pro de l'IAE de Pau	Management de projet, organisation des entreprises et management des équipes, approche GRAI Ingénierie en conception, indicateurs de performance	Pegase (IMS - LAPS)
Gestion des connaissances	ESTIA filière ingénieur, 3e année CGP	Initiation à la gestion des connaissances, les différentes approches et systèmes informatiques, les problèmes de capitalisation et de retour d'expérience.	SIREP (Drupal)
Séances applicatives de projets	ESTIA filière ingénieur, 2e année CGP/MPA et 3e année CGP et MPA	Cahier des charges Planification et prévision de charges et de ressources, indicateurs de suivi	
Modélisation de processus	ESTIA filière ingénieur, 3e année OGI	SADT	Visio (Microsoft)
Modélisation d'entreprise	ESTIA filière ingénieur, 3e année OGI	Approche GRAI	

Enfin le dernier domaine (tableau 3) concerne l'ingénierie logicielle où sont regroupés des enseignements de génie logiciel mais aussi des enseignements appliqués aux problématiques de la conception.

Tableau 3. Détail des enseignements en ingénierie logicielle

Ingénierie logicielle	Filières	Contenus	Outils utilisés
Génie logiciel	ESTIA filière ingénieur, 1e année	Initiation aux techniques d'analyse pour la conception d'environnements informatiques	SART
Aide au choix d'outils pour la conception	ESTIA filière ingénieur, 2e année CGP/MPA	Démarche pour le choix puis le déploiement d'outils informatiques (CAO-SGDT)	
Enseignements abandonnés			
Initiation programmation C	DESS SPIA (U.Bx1)		
Initiation à l'administration Unix	DESS SPIA (U.Bx1) Master of Science CAD/CAM/CAE, U. de Cranfield		
Administration d'un site CAO sous Unix	Master of Science CAD/CAM/CAE, U. de Cranfield		

2.1.3. Principales responsabilités pédagogiques et administratives

Depuis 2003 j'ai pu assumer plusieurs responsabilités pédagogiques au sein de la filière ingénieur de l'ESTIA. Mon rôle au sein de l'ESTIA s'est donc progressivement renforcé pour passer d'un statut de simple enseignant à un statut d'enseignant-chercheur confirmé en charge de plusieurs responsabilités. Ces responsabilités sont soit des responsabilités opérationnelles permettant d'assurer le bon fonctionnement des activités de formation, comme les responsabilités d'Unité d'Enseignement, de Projets annuels, soit des responsabilités à plus long terme, pédagogique comme la responsabilité pédagogique d'option, ou plus collective, comme mon implication en tant que représentant du personnel auprès de la CCI.

Dans cette section, le lecteur trouvera le compte-rendu de mes activités comme :

- Responsable pédagogique de l'option Conception Généralisée de Produits
- Responsable de l'Unité d'Enseignement « Entreprises - Méthodes - Projet »
- Responsable des Projets annuels
- Représentant du personnel

Responsable pédagogique *de l'option Conception Généralisée de Produits*

J'ai exercé cette responsabilité à part entière depuis la rentrée 2004. De 2000 à 2003, j'ai été l'adjoint de Philippe Girard, professeur au sein de l'IMS – LAPS, qui a été le responsable pédagogique de cette option depuis sa création en 1995 jusqu'en 2003.

Auparavant j'avais participé en 1994 et 1995 à la définition du programme de la filière ingénieur et en particulier de cette option. En effet, cette option a été construite à partir des préconisations de Philippe Girard et de l'expérience acquise depuis 1989 avec la mise en œuvre du Master of Science CAD/CAM/CAE de l'Université de Cranfield au sein de l'ESTIA. Cela explique ma participation de part mes compétences au sein d'ESTIA Innovation, les enseignements que j'exerçais déjà depuis 1990 dans ce Master of Science et ma responsabilité dans la gestion de la plateforme logicielle CAO/FAO commune à ESTIA Innovation et au Master of Science CAD/CAM/CAE.

Responsable *de l'Unité d'Enseignement « Entreprises - Méthodes - Projet »*

L'ensemble des enseignements de l'ESTIA sont répartis en 6 Unités d'Enseignement : Mécanique / Technologie mécanique, Electronique / Automatique, Mathématiques / Informatique, Entreprises / Méthodes / Projet, Langues et enfin Missions de fin d'année ou d'études.

Cette responsabilité consiste à superviser les évolutions du programme des enseignements d'une année à l'autre, ainsi que de prévoir l'ordonnancement de ces enseignements et le suivi de cet ordonnancement durant l'année scolaire.

Cette Unité d'Enseignement rassemble le plus grand nombre d'enseignements de par sa nature très hétérogène, par essence très hétérogènes. Cela m'amène à superviser un nombre important de vacataires et requiert des compétences transversales et synthétiques importantes, dans la mesure où cette Unité d'Enseignement couvre les 3 années de la filière ingénieur ainsi que les 3 options.

Responsable *des Projets annuels étudiants de la filière ingénieur*

Responsabilité assurée de 2003 à 2006 pour la filière ingénieurs de 3e année, options Conception Généralisée de Produits et Maîtrise des Procédés Automatisés.

La démarche projet est un élément essentiel de la pédagogie ESTIA. Cette responsabilité implique la réalisation d'actions spécifiques tout au long de l'année scolaire afin que les étudiants puissent accomplir un projet annuel de conception / réalisation d'un produit ou d'un système.

La période avant la rentrée est une période de recherche et de qualification de sujets de projet donnés par des entreprises partenaires et adaptés aux options et niveaux des étudiants. A la rentrée, il faut associer à chaque sujet un groupe d'étudiants ainsi qu'un tuteur et un expert technique chargés de les accompagner tout au long de l'année. Enfin durant l'année, il s'agit de préparer les jurys d'évaluation et de gérer l'évaluation des livrables produits.

Représentant du personnel

Je suis fortement impliqué dans la vie collective du Campus ESTIA et en particulier je suis élu représentant du personnel depuis janvier 2004. J'ai donc été amené à animer des réunions du personnel, établir des bilans et des synthèses discutées ensuite avec la direction de l'ESTIA comme de la Chambre de Commerce de Bayonne et du Pays Basque.

Actuellement je suis impliqué dans deux dossiers importants pour le personnel :

- l'intégration éventuelle de l'ESTIA au sein d'un Institut Polytechnique de Bordeaux regroupant plusieurs écoles d'ingénieur, pour laquelle il faut étudier l'évolution des statuts des différentes catégories de personnel ;
- la réactualisation de la grille des emplois et des salaires de la CCI BPB, qui nécessite l'évaluation de près de quarante métiers-types existants, de leur classement en niveaux avec affectation d'un nouveau barème de points.

2.1.4. Autres missions et activités d'animation pédagogiques

Dans cette dernière section sont listées mes autres activités relevant de la formation des étudiants ingénieurs, activités qui ne relèvent pas d'une responsabilité particulière reconnue mais qui illustrent mon implication dans la vie de la structure ESTIA, dans sa reconnaissance au niveau régional ou national, et dans sa capacité à évoluer et à innover dans ses pratiques. C'est ainsi que vont être développés mes implications dans la constitution de l'AIP-PRIMECA Aquitaine, dans la gestion des plateformes CFAO et PLM de l'ESTIA, dans la démarche qualité de l'ESTIA, dans l'amélioration de la démarche projet dans les enseignements, dans l'innovation des pratiques via l'utilisation des TIC, et enfin dans la supervision du développement d'outils logiciels pour l'enseignement.

Dans cette section, le lecteur trouvera le compte-rendu de mes activités comme :

- Correspondant de l'ESTIA pour la création d'un AIP-PRIMECA Aquitaine
- Animateur de la démarche projet à l'ESTIA
- Acteur et coordinateur d'actions d'amélioration des programmes de formation
- Animateur en TIC et e-learning pour l'innovation pédagogique :
  - *Acteur dans le projet européen Minerva*
  - *Acteur puis promoteur du projet pilote e-portfolio*
  - *Participant au suivi des étudiants et des apprentis-ingénieurs*
  - *Responsable de la mise en place de TP collaboratifs avec l'UPS*
- Administrateur des plateformes CFAO et SGDT du Campus ESTIA
- Responsable de la production de plusieurs outils logiciels
- Acteur dans la démarche qualité du Campus ESTIA

Correspondant *de l'ESTIA pour la création d'un AIP-PRIMECA Aquitaine*

Depuis 2003 je suis correspondant pour l'ESTIA avec l'un de mes collègues Xavier Fischer au sein de l'équipe projet multi-établissements en charge de la création d'un centre AIP-PRIMECA à Bordeaux et en Aquitaine. Cette équipe comprend plusieurs correspondants enseignants-chercheurs issus de l'Université de Bordeaux 1 (incluant l'IUT de Génie Mécanique et l'IUT QLIO d'Agen) et de l'ENSAM.

J'ai personnellement participé à la rédaction du dossier de constitution de l'AIP-PRIMECA Aquitaine et j'ai pris l'initiative du lancement d'activités pilotes pour la mise en commun de ressources pédagogiques, de façon à démontrer les synergies entre les différents établissements précédemment cités et à apporter des justifications concrètes à ce dossier.

Parmi ces actions pilotes, j'ai personnellement supervisé la mise en oeuvre durant deux années d'un projet distribué entre plusieurs équipes d'étudiants des 3 établissements. Ce projet portait sur la conception et la réalisation d'un drone répondant aux caractéristiques de l'ONERA et de la DGA : autonomie d'une vingtaine de minutes, capacité à faire du vol stationnaire et à se repérer en vol par exemple. La première année a consisté à étudier le problème et à proposer différents solutions matérielles envisageables, puis la seconde année à étudier de façon plus détaillée l'une des architectures retenues. Pour faciliter la collaboration entre les étudiants situés sur des sites distants, une plateforme de partage de données techniques a été mise en œuvre sur la base du SGDT Windchill, dont j'assurais l'administration à l'ESTIA. Chaque année j'ai assuré la formation des équipes projet étudiantes à cette plateforme.

J'ai mené une seconde action pilote qui a consisté à mettre en place une sensibilisation aux SGDT et aux problématiques du PLM auprès des étudiants de Master 2 Pro Mécanique et Ingénieries de l'Université de Bordeaux 1. Cette formation est pérennisée depuis 2005.

Enfin, j'ai initié la réalisation d'une initiation au prototypage rapide pour les étudiants de l'ESTIA de 3e année en option CGP, en les amenant sur le site de l'ENSAM. Toutefois les problèmes de logistique que cela posait n'a pas permis de pérenniser cette initiative.

Le dossier AIP-PRIMECA est depuis 2007 en sommeil du fait de contraintes budgétaires liées au financement par le ministère.

Animateur *de la démarche projet à l'ESTIA*

Depuis la création de la filière ingénieurs en 1995, la pédagogie par projets est l'un des piliers de l'enseignement à l'ESTIA. Ces projets poursuivent un double objectif vis-à-vis des étudiants : mettre en œuvre dans un contexte proche de la réalité industrielle les compétences « techniques et fondamentales » apprises durant l'année ; et maîtriser par la pratique une démarche de gestion et de pilotage des projets. Ces projets se déroulent tout au long de l'année scolaire et ont pour but de concevoir et de réaliser un produit, un système ou un logiciel, dont le sujet est donné par un client, soit interne (un enseignant) soit externe (une entreprise géographiquement proche).

A l'origine les projets étaient réalisés durant chacune des 3 années de formation à l'ESTIA, les différences d'une année à l'autre portent théoriquement sur la difficulté technique des projets. J'ai pris la **responsabilité des projets** en 2003 (cf §2.1.3) et j'ai mené immédiatement une première réforme importante de la pédagogie projet, en accord avec le Directeur des Etudes et les autres responsables d'Unités d'Enseignement.

Tout d'abord j'ai préconisé la redéfinition des objectifs des projets sur les 3 années de façon à mettre en place une pédagogie plus différenciée. En 1e année, nous avons ainsi remplacé le projet annuel par la mise en place de 3 projets de taille réduite avec un objectif restreint et centré sur la mise en œuvre de compétences techniques. Ces 3 projets sont associés aux trois principales thématiques techniques enseignées : mécanique, électronique et informatique.

En 2e année, les objectifs et l'encadrement des projets annuels a été revu pour favoriser l'apprentissage d'une démarche de projet globale. Le projet est découpé en plusieurs phases types : la définition des besoins, la recherche de solutions, la conception puis la réalisation. A chaque étape sont associés des livrables et des séances applicatives pour faciliter l'application des enseignements par chaque équipe d'étudiants avec l'aide des enseignants adaptés. En plus de cette assistance, chaque équipe d'étudiants est suivie par un tuteur dont le rôle est de les aider à respecter la démarche préconisée et à gérer leur planning correctement. Enfin chaque équipe dispose d'un expert technique chargé d'évaluer les solutions apportées en fin d'année.

En 3e année, le déroulement des projets est similaire mais l'accent est davantage mis sur la réalisation technique. Les étudiants sont considérés comme davantage autonomes et le rôle de tuteur disparaît. Le rôle de l'expert est par contre renforcé pour évaluer le projet des étudiants d'un point de vue technique plusieurs fois dans l'année.

Cette réforme a été mise en œuvre dès 2003 mais des ajustements ont été amenés durant les années suivantes pour tenir compte des retours d'expérience effectués chaque année. Il va sans dire que ce type de démarche entraîne un travail important de gestion des sujets, des clients, des enseignants, des tuteurs et des experts, ainsi que des jurys d'évaluation.

D'un point de vue opérationnel, j'ai moi-même été impliqué en tant que **tuteur, expert, enseignant** dans des séances applicatives, et même **client**. Afin d'illustrer le type de projets qui est confié aux étudiants et que j'ai suivi, en voici quelques exemples sur les 3 dernières années.

En tant que tuteur, j'ai par exemple assuré le suivi des projets suivants :

- 2006, 3e année MPA : Etude d'un robot mobile pour la coupe robotique E=M6, projet pédagogique ;
- 2005, 3e année CGP : Eco-conception d'une planche de surf, projet industriel.

En tant qu'expert, voici quelques uns des projets que j'ai contrôlés :

- 2007, 3e année CGP : Identification d'un procédé de fabrication semi-industrielle de catamarans légers et robustes, projet industriel ;

- 2007, 3e année CGP : Réalisation d'un forum pour les anciens élèves, projet pédagogique ;
- 2006, 3e année CGP : Evaluation du logiciel de gestion des idées pour l'innovation produit ID^2, projet de recherche ;
- 2006, 2e année : Etude d'un système de fermeture électrique déporté, projet industriel ;
- 2005, 2e année : Démonstration de la chaîne du CRT ESTIA Innovation « Numérisation-CAO-FAO-Usinage », projet industriel.

Comme enseignant, j'assure chaque année les séances applicatives suivantes :

- « Cahier des charges » : il s'agit d'établir la correspondance entre le sujet d'une équipe projet et le contenu préconisé d'un cahier des charges, tout en les aidant à appliquer les outils d'analyse fonctionnelle (ou d'analyse informatique pour le cas d'un logiciel) permettant d'élaborer ce cahier des charges).
- « Planification et suivi du projet » : il s'agit ici d'appliquer les cours de démarche de projet pour qu'à partir du travail à mener dans leur projet, les étudiants puissent identifier les phases de leur projet, les livrables qui leur sont nécessaires et la planification qui les amènera à remplir leurs objectifs.

Enfin comme client, j'ai élaboré puis suivi les sujets suivants :

- 2007, 3e année CGP : Evaluation d'un système de management de projet de conception (Pegase), conjointement avec Vincent Robin (IMS – LAPS), projet de recherche ;
- 2007, 3e année CGP : Etude et réalisation d'un Système d'Information pour le Retour d'Expériences en Projets (SIREP), projet pédagogique ;
- 2006, 3e année CGP : Conception de l'architecture mécanique d'un drone quadri-hélices, en collaboration avec l'Ensam et l'Université de Bordeaux 1 (projet pilote AIP-Priméca Aquitaine), projet pédagogique collaboratif ;
- 2006, 3e année CGP : Constitution d'une maquette numérique et de scénarios d'utilisation au sein du système PLM Windchill, projet pédagogique ;
- 2005, 3e année CGP : Etude des architectures possibles pour concevoir un drone autonome, en collaboration avec l'Ensam et l'Université de Bordeaux 1 (projet pilote AIP-Priméca Aquitaine), projet pédagogique collaboratif.

Acteur et coordinateur *d'actions d'amélioration des programmes ESTIA*

En complément de mes responsabilités comme responsable de l'option CGP, et responsable l'Unité d'enseignement « Entreprises – Méthodes – Projet », je suis intervenu dans la définition d'un référentiel pédagogique spécifique à la filière ingénieur de l'ESTIA.

Ce fut en tant que simple acteur lors de la création de cette filière (1995) : j'ai participé à l'élaboration des programmes à partir de mes compétences en conception, en outils pour la conception et en méthodes pour le développement logiciel.

Puis en 2003 j'ai eu comme mission de coordonner la mise à jour du référentiel pédagogique à destination des enseignants et des étudiants. Ce fut l'occasion de réviser les objectifs et les compétences attenues d'un ingénieur issu de l'ESTIA, et de vérifier leurs déclinaisons à travers les différentes options, années et matières enseignées. Ce référentiel a été complété par une description complète de l'ensemble des matières enseignées avec leurs objectifs et leur descriptif rapide.

Enfin, cette année, je prends en charge avec le responsable des études la mise à jour de ce référentiel une nouvelle fois. L'objectif prioritaire actuel est de réévaluer les objectifs en fonction de l'évolution des métiers auxquels se destinent nos jeunes ingénieurs, et d'approfondir la définition des compétences en la généralisant depuis les métiers jusqu'aux différentes matières. Il s'agit donc d'une reformulation complète des descriptifs de matières en termes de compétences à acquérir.

Animateur *en TIC et e-learning pour l'innovation pédagogique*

Dans le cadre de mes activités pédagogiques, je suis attentif aux pratiques pédagogiques innovantes en vue d'améliorer la qualité des enseignements à l'ESTIA. Dès l'origine l'une des particularités de l'ESTIA est de pratiquer une pédagogie par la pratique, complémentaire aux enseignements théoriques, et fortement utilisatrice des technologies informatiques. La pédagogie par projets en est l'un des éléments les plus marquants et opérationnels. Sur un plan plus prospectif, l'analyse des pratiques pédagogiques par le benchmarking et l'expérimentation constituent l'une de mes activités annexes mais à fort potentiel pour l'évolution des pratiques à l'ESTIA.

Voici quelques exemples significatifs de cette démarche d'amélioration continue :

– **Acteur *dans le projet Minerva :***

Ce projet européen (2002 – 2005) en partenariat avec l'Université de Cranfield (UK), de Linköping (Suède) et de Porto (Portugal) est un projet qui a permis d'expérimenter et d'évaluer des solutions de e-learning permettant de réaliser des enseignements combinant enseignement traditionnel en présentiel et enseignement à distance.

L'équipe ESTIA était composée de 3 enseignants chercheurs dont moi-même. Assistés par une experte en pédagogie, nous avons construit chacun un module de formation avec une pédagogie progressive constituée d'étapes successives, chacune introduisant une partie théorique, une partie pratique et une partie évaluation afin de vérifier l'état des connaissances apprises par l'apprenant. Chaque partie pouvait être en présentiel ou à distance ou combiner les deux stratégies.

Un système de e-learning accessible par Internet a été mis en œuvre de façon à ce que la totalité des ressources pédagogiques utiles à l'ensemble des étapes soit accessible à l'apprenant. Ces ressources recouvrent différentes formes : des documents (de type bureautique : Word, Power Point, Pdf…) mais aussi des images, des animations flash, des vidéos simples ou combinées avec des séquences de diapositives, pour les parties théoriques ou pratiques. Pour les parties évaluation était également disponibles des outils de QCM (Questionnaire à Choix Multiple) avec correction automatique, ou avec transmission des réponses à l'enseignant pour correction. Enfin un outil de forum permettait des échanges synchrones entre l'apprenant et l'enseignant.

Cette expérience a permis d'évaluer l'intérêt pédagogique fort de cette approche : une partie des enseignements peut ainsi être délocalisé sur des sites distants mais aussi désynchronisé dans le temps. Autre point fort pour l'apprenant, son parcours est complètement individualisé puisqu'il peut avancer à son rythme et revoir autant de fois qu'il le souhaite une partie, et éventuellement réaliser plusieurs exercices optionnels jusqu'à obtenir des évaluations positives.

Par contre l'expérience nous a démontré que ce type d'enseignement est très gourmand en temps de préparation puisqu'il suppose une reformulation par objectifs du contenu d'un programme et la création d'un cheminement d'apprentissage différent et plus complexe. De plus, si l'on souhaite utiliser des techniques spécialisées comme les animations flash ou la vidéo, ce sont le temps de préparation et les compétences techniques qui deviennent des contraintes pour l'enseignant. L'assistance d'un technicien rompu à ces outils devient indispensable. Se pose également le problème de la reconnaissance du temps passé par l'enseignant pour assurer le suivi individualisé des étudiants. Ce suivi se révèle plus important qu'en présentiel car individualisé, mais comme il se fait de façon délocalisée et parfois de façon asynchrone, il ne peut être comptabilisé facilement ni comme Cours magistral, ni comme TD, ni comme TP.

Ces difficultés nous ont amené à ne pas transformer cette expérience en mode opératoire opérationnel pour l'ESTIA. Toutefois nous avons conservé la mise à disposition de ressources pédagogiques traditionnelles sur un serveur centralisé pour les étudiants.

– **Acteur puis promoteur *du projet pilote e-portfolio :***

Ce projet (2005-2008) avait pour objectif d'expérimenter la mise en œuvre de l'outil e-portfolio auprès des étudiants ingénieurs. Un portfolio est un outil qui permet de formaliser et de synthétiser les compétences d'une personne avec comme objectif de les présenter à des interlocuteurs potentiels. Pour atteindre cet objectif, le portfolio rassemble un ensemble d'informations récapitulant les connaissances acquises et les expériences pratiques vécues, sous la forme de documents multimédias. Dans le cas de l'e-portfolio, ces documents sont mis en ligne sur Internet pour une consultation facilitée et à distance.

La démarche mise en œuvre durant ce projet pilote vise à apprendre aux étudiants à construire un e-portfolio tout en évaluant l'intérêt de cette démarche pour la recherche d'emploi des ingénieurs sortants. L'équipe en charge du projet a ainsi construit une démarche progressive sur les 3 ans de la scolarité. En 1e année, l'accent est mis sur la construction de l'architecture informatique de l'e-portfolio ainsi que sur son ergonomie. En 2e année le développement informatique de l'e-portfolio est poursuivi et achevé, et le contenu de l'e-portfolio est alors approfondi. Des entretiens en cours d'année permettent d'évaluer ce contenu tout en aidant l'étudiant à mener une réflexion sur lui-même et sur les compétences qu'il a acquises. Enfin en 3e année l'e-portfolio est orienté vers la recherche d'emploi et est évalué en conséquence par de nouveaux entretiens.

Dans ce projet je n'ai été que l'un des participants à l'évaluation des e-portfolios de 2e et 3e année. Par contre durant l'année 2008, c'est-à-dire à la fin de ce projet pilote, mon rôle en tant que responsable de l'Unité d'Enseignement « Entreprises - Méthodes - Projet » a été de participer à l'évaluation de cette expérience et de **promouvoir** une solution permettant d'intégrer cette démarche dans les enseignements de façon pérenne. Un travail de

convergence entre l'e-portfolio et les enseignements visant à accompagner les étudiants dans la formalisation d'un projet professionnel - savoir constituer des CV et des lettres de motivation, savoir effectuer des recherches d'entreprises et établir un dialogue avec des responsables techniques ou de recrutement - a donc été mené et j'ai personnellement supervisé les réunions de travail entre les enseignants concernés. Aujourd'hui la démarche e-portfolio est donc complètement banalisée et fait partie intégrante des enseignements ESTIA. Un projet est en cours de constitution pour transférer l'expérience acquise auprès d'établissements espagnols dans le cadre des appels à projets INTERREG.

– **Participant *au suivi des étudiants et des apprentis-ingénieurs :***

L'un des principes fondateurs de l'ESTIA reposait sur le suivi des étudiants et des apprentis durant leurs périodes de projets en entreprise. Toutefois avec l'accroissement des effectifs étudiants, il n'a pas été possible de poursuivre ce principe, toutefois il revient aux enseignants volontaires d'évaluer l'intérêt de suivre plus précisément certains étudiants ou apprentis en fonction du type de sujet traité ou de la nature de l'entreprise concernée.

Personnellement je procède chaque année à environ une dizaine de visites d'étudiants de l'option CGP ou d'apprentis de l'option OGI. Parfois ces visites restent de simples visites, parfois une assistance particulière est réalisée auprès des étudiants, parfois encore des contacts plus importants sont initiés avec l'entreprise pour déboucher sur des projets à orientation pédagogique ou scientifique.

– **Responsable *de la mise en place de TP collaboratifs avec l'UPS :***

En 2005, lors des journées consacrées au PLM, nous avons initié un début de collaboration avec A. Péré, de l'UPS (Université Paul Sabatier de Toulouse), répondant à des problématiques communes quant à l'enseignement de la conception collaborative, liée à l'exploitation avancée des outils CAO et au besoin d'initier les étudiants aux outils de type PLM. Mon besoin concernait des étudiants de 2e année à l'ESTIA, s'orientant vers l'option CGP (conception) et celui d'A. Péré concernait des étudiants entrant dans une nouvelle Licence Professionnelle dédiée à la conception collaborative.

Nous avons mis au point chacun un module de formation interconnecté : nous avons défini un support commun (la conception d'un stylo) ainsi qu'une méthodologie partagée. L'idée était de considérer les étudiants de l'ESTIA comme les designers et concepteurs d'un stylo et les étudiants de l'UPS comme des partenaires concevant l'emballage plastique associé. Ces deux « produits » complémentaires permettaient à chacun de nous de cristalliser les problèmes méthodologiques de modélisation que nous avions l'habitude d'enseigner. Toutefois, pour mettre les étudiants en situation de conception, nous avons pris le parti de demander aux étudiants de l'ESTIA de formaliser un « cahier des charges » technique via des contraintes géométriques de construction saisies dans un assemblage CAO à l'aide d'un formalisme rigoureux. A partir de cet assemblage initial chaque équipe de l'ESTIA et chaque étudiant de l'UPS conçoit complètement son produit « en situation » et en respectant les contraintes précédentes. L'assemblage initial puis les assemblages finaux sont stockés via une plateforme PLM Windchill accessible aux deux parties, afin que chacun puisse récupérer les données qui le concernent. La conclusion de cette démarche est la récupération des assemblages de chaque partie et de vérifier par un calcul de collision que le stylo et son emballage sont correctement modélisés et positionnés grâce au respect des contraintes initiales.

Ces TP collaboratifs ont été à la fois appréciés par les étudiants, mieux à même de comprendre en quoi une collaboration à distance peut être compliquée à mettre en œuvre, et instructive pour nous enseignants parce-que justement il a fallu découvrir et résoudre tous ces problèmes techniques et méthodologiques liées à la distance et à la conception collaborative. Cette collaboration se poursuit toujours. Elle a fait l'objet de présentations à travers les journées REX-PLM ou les colloques de l'AIP PRIMECA à La Plagne.

Administrateur *des plateformes CFAO et SGDT du Campus ESTIA*

Depuis sa création en 1990, je suis responsable de l'administration de la plateforme CFAO partagée par ESTIA et par ESTIA Innovation, puis depuis 2000 de la plateforme SGDT. Ces responsabilités impliquent pour moi les missions suivantes :

- être formé aux différents logiciels présents sur la plateforme et maintenir un niveau de compétence suffisant de façon à pouvoir assurer des présentations à des industriels et des formations aux étudiants de l'ESTIA ou d'autres établissements ;
- gérer les partenariats avec les éditeurs des logiciels présents et ponctuellement organiser des manifestations avec eux : tests techniques, séminaires de sensibilisation, témoignages aux étudiants…
- évaluer la pertinence des logiciels présents par rapport à l'évolution des besoins des utilisateurs industriels et à l'évolution des enseignements et effectuer des choix pour de nouvelles acquisitions, retirer des outils devenus obsolètes…
- administrer la plateforme et en assurer la maintenance, du moins tant que celle-ci s'est appuyée sur du matériel Unix, c'est-à-dire jusqu'en 2002, année où la totalité de la plateforme a basculé sur des environnements Windows.

C'est ainsi que j'ai eu à gérer au début les logiciels de CAO Unigraphics (McDonnellDouglas, devenu ensuite Unigraphics Solutions), ME10/ME30 (Hewlett-Packard), Microstation, Autocad, Euclid 3 (MDTV) pour aboutir aujourd'hui à Catia (Dassault Systèmes), Pro Engineer (PTC) et Ideas (Unigraphics Solutions). Pour la plateforme SGDT, Windchill (PTC) est le logiciel principal, mais sont également présents TeamCenter (Unigraphics Solutions) et Smarteam (Dassault Systèmes).

L'évolution de cette plateforme m'a également conduit à m'impliquer dans la constitution de la plateforme pédagogique mise en œuvre par Pascal Morenton (Ecole Centrale de Paris), bâtie autour du logiciel Windchill, avec également Nadège Troussier de l'UTC. J'ai utilisé mes compétences acquises sur Windchill pour aider Pascal dans ses prises de décision, pour lancer les premières Journées REX PLM organisées chaque année en mars, pour apporter mes supports pédagogiques sur cette plateforme. Cette action est décrite dans le §2.2.3. J'ai également pris l'initiative de stopper l'administration du serveur Windchill de l'ESTIA pour utiliser celui de la plateforme collaborative, ce qui représente une économie de ressources humaines (plus d'administration à assurer) et une amélioration des performances (robustesse et fiabilité de la plateforme) qu'il était difficile d'assurer par moi-même.

Responsable *de la production d'outils logiciels*

Dans le cadre de mes activités d'enseignement et d'encadrement de projets impliquant des étudiants de l'ESTIA, j'ai supervisé le développement de plusieurs applications logicielles.

En voici les principaux :

– ***Système d'Information pour le Retour d'Expérience Projet (SIREP) : 2007***

Dans le cadre de la démarche projets existant au sein de l'ESTIA, réalisation d'un logiciel de capitalisation puis de réutilisation des expériences vécues par les étudiants lors de la réalisation de leurs projets.

– ***Outil d'auto-apprentissage à la CAO : 2000***

Logiciel d'assistance à l'auto-formation du logiciel de CAO Euclid3, intégrant la définition d'un parcours pédagogique.

– ***Export/import de données Catia V4 : 1997***

Outil automatisant les procédures d'export / import entre plusieurs sites Catia V4, dans le cadre des échanges entre Dassault Aviation Biarritz et ses sous-traitants en Pays Basque.

– ***Outil de DAO/FAO pour la découpe de pièces par oxycoupage : 1997***

Logiciel permettant de dessiner des pièces de tôle en 2 dimensions, puis de programmer la trajectoire de la buse à jet d'eau découpant une plaque de tôle.

– ***Interface Dxf - COSMOS : 1994***

Logiciel de conversion d'un fichier au format Dxf vers le format texte d'importation du logiciel de calcul de structure Cosmos.

– ***Analyse automatique de fichiers IGES / STEP : 1992***

Outil d'analyse permettant d'analyser la conformité d'un fichier aux formats IGES ou STEP par rapport à la normalisation correspondante. En sortie le logiciel établit un diagnostic des erreurs et des alertes liées à la syntaxe et à des éléments sémantiques simples.

Acteur *dans la démarche qualité du Campus ESTIA*

Depuis 2007, le Campus ESTIA est engagé dans une démarche qualité visant à obtenir le label de la norme ISO 9000. Dans le cadre de cette démarche je fais partie de deux groupes de travail : le Groupe de Travail « Concevoir et actualiser un programme de formation » et le Groupe de Travail « Accompagner les entreprises dans leur quête d'innovation et de compétitivité (y compris les activités commerciales et de contractualisation) ».

Ces groupes de travail ont pour but de modéliser le processus dans son ensemble, de décrire les procédures détaillées qu'il pilote et de formaliser les informations et les outils supports de ces procédures.

2.2. ACTIVITES DE RECHERCHE

Cette section récapitule mes activités de recherche les plus significatives relatives à **l'étude et la mise en œuvre d'environnements d'assistance pour les acteurs de la conception, dans un contexte de conduite de la conception**. En premier lieu un bilan quantitatif précise les principaux résultats. Ensuite ces activités sont développées selon trois points de vue complémentaires :

- mes principaux encadrements de doctorants, post-doctorants et étudiants en DEA / Master ;
- ma participation à des groupes de recherche français, européens ou internationaux;
- et enfin les activités d'animation scientifique liées à mon investissement au sein de l'ESTIA et des différents réseaux auxquels je collabore.

2.2.1. Bilan quantitatif des actions de recherche

Bilan sur les actions d'encadrement de travaux de recherche

Thèses de doctorat :

• Guillaume Pol, thèse soutenue en octobre 2007 Univ. De Cranfield (UK) - vacataire	70%
• Livier Serna, thèse soutenue en décembre 2007 ECN et Univ. De Nantes – en recherche d'emploi	30 %
• Mickaël Romain, thèse en cours 2008 - 2011 Univ. de Bordeaux 1, IMS/LAPS	50 %
• Stéphanie Mahut, thèse en cours 2008 - 2011 Univ. Technologique de Compiègne, Laboratoire Roberval	50 %

Post-doctorants :

• Jérémy Legardeur	2002/2003

DEA / Masters :

• Quentin Houéry 2008, Raphael Michel 2006, Aurélien Odinot et Luc Kopacz 2005, Laeticia Girouard 2004	5 étudiants

Bilan sur les actions de dissémination scientifique (publications)

• **Articles dans des revues avec comités de lecture** :	
o Revues internationales	**11**
o Revues nationales	5
• **Ouvrages** :	
o Coordination d'ouvrages	1
o Chapitres d'ouvrages	**3**
• **Communications dans des colloques avec comités de lecture :**	
o Colloques internationaux	**35**
o Colloques nationaux	16
• Communications dans des colloques sans comités de lecture	10
• Conférences invitées	5
• Jurys de thèse	3
• Jurys de Master	32
• Séminaires internes	4
• Rapports de recherche (issus de contrats / groupes de recherche)	30
• Articles de vulgarisation	5

Le détail des publications est donné dans la notice bibliographique. Il est intéressant d'analyser cette production scientifique dans le temps au regard des périodes d'encadrement des doctorants. La figure suivante montre la répartition des publications dans des revues internationales : la première publication intervient en 2004, après une soumission réalisée en 2003, année de soutenance de ma thèse de doctorat. Puis elle se poursuit régulièrement avec une publication en 2005 et 2006 suivie de plusieurs publications en 2007. Les délais de publication n'ont pas permis de publier en 2008 mais 3 revues sont programmées pour 2009.

Figure 1. Evolution des publications dans des revues internationales

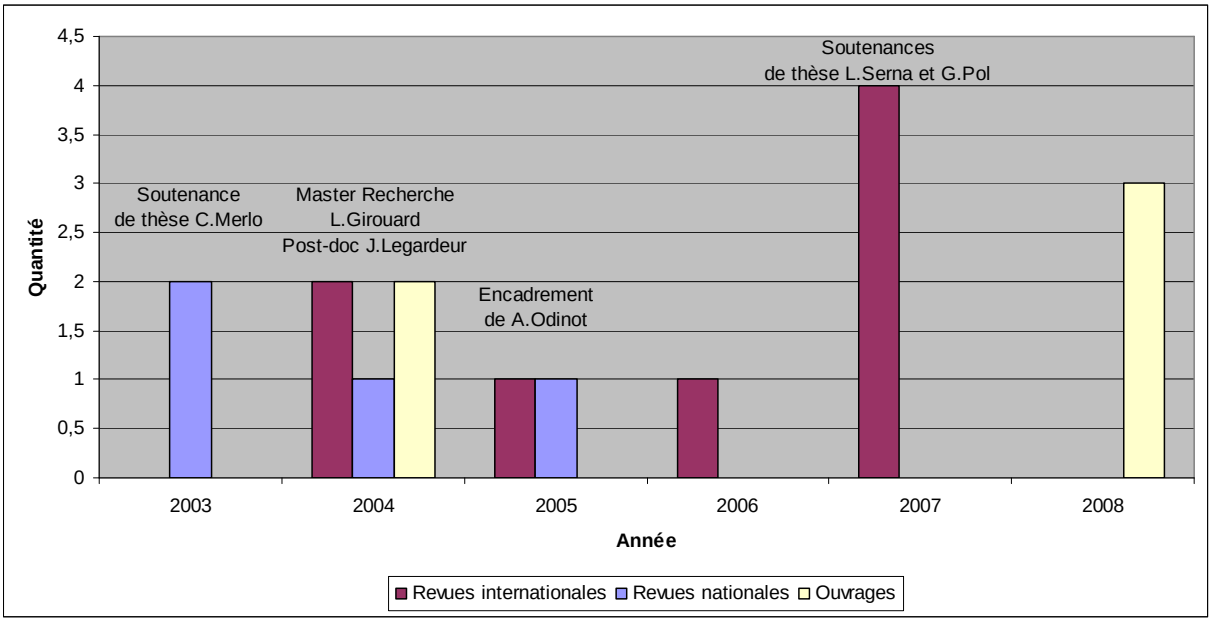
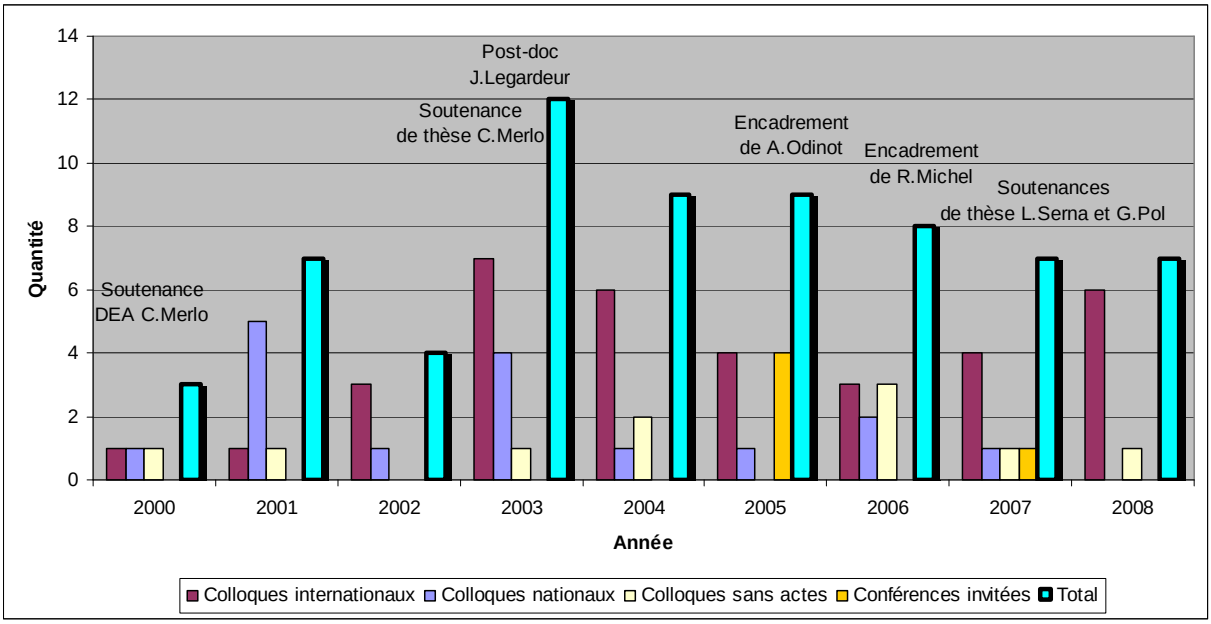


Figure 2. Evolution des publications dans des conférences internationales



De la même façon le cumul des publications dans des colloques internationaux ou nationaux montre également une régularité au cours des ans avec un démarrage lors de ma première année de doctorat et une période plus importante à l'issue de ma thèse, relayée par les publications liées aux travaux des doctorants encadrés.

Bilan sur les actions d'animation scientifique

• Participation à des groupes de recherche o **Pole INTEROP Grand Sud Ouest** (PGSO) : Correspondant de l'ESTIA, membre fondateur du PGSO o **GDR MACS/STP** : ▪ **Animateur** du thème « systèmes d'information » dans le GT IS3C, depuis 2005 ▪ **Coordinateur** et **acteur** de l'école d'automne « Décision en conception », GDR MACS/AIP-PRIMECA, 2006 o **AIP-PRIMECA** : **Acteur** dans les manifestations du réseau et **co-organisateur** d'actions en PLM, école d'automne, IDMME	
• Actions d'animation scientifique	
o Collaborations scientifiques	7
o Organisation de colloques	3
o Participation à des comités scientifiques (1 revue et 7 conférences)	8
o Relecture d'articles (pour 6 revues et 6 conférences)	13
o Expertises pour le RNTL en 2002 et 2003	4

Bilan sur les collaborations internationales à long terme

Sont récapitulés ici l'ensemble des collaborations internationales menées depuis mon intégration à l'équipe ESTIA Recherche (2000).

• Nombre de collaborations engagées • Nombre de projets mis en œuvre o Universités UNMSM / Pérou et UdA / Colombie, depuis 2007 o Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey / Mexique, depuis 2003 o Université de Cranfield / Royaume Uni, depuis 1989 o Collaborations de type projets avec 6 Centres techniques d'Euskadi, Espagne, 2003 à 2007	10 11

Ces actions sont détaillées dans la section suivante.

Production d'outils logiciels

• Prototypes logiciels dont logiciels en exploitation	5 3

2.2.2. Encadrements scientifiques

Co-encadrements de thèses de doctorat :

POL Guillaume *Pourcentage de co-encadrement : 70%*

Titre : « ***Improving design coordination in computer supported environment in SME: implementation of a tool for capturing and analysing collaboration between actors*** »

« **Amélioration du système d'information pour la conduite de la conception en PME : mise en œuvre d'un outil pour la capture et l'analyse de la collaboration entre les acteurs** »

PhD thesis (Doctor of Philosophy), Université de Cranfield, Ecole des Sciences Appliquées, UK, octobre 2007

Examinateurs et jury : Chris McMAHON (Pr., Université de Bath, UK) et Peter SHERAR (« Reader », Université de Cranfield, UK)

Directeurs de thèse : Pr. Graham JARED, « Reader », Université de Cranfield, Christophe Merlo, ESTIA

Résumé des travaux :

La collaboration entre acteurs a un impact important sur la performance du processus de conception et sa prise en compte par les responsables de la conduite est une source d'améliorations essentielle de ce processus. L'objectif était ici de proposer un support pour les responsables de projet basé sur la capture des événements collaboratifs et de leurs évaluations tout au long d'un projet de conception de produit. L'analyse qui en découle permet d'identifier les bonnes pratiques et les points à améliorer selon plusieurs points de vue : organisation du projet et des hommes, formalisation du processus, configuration des systèmes d'information collaboratifs. Un outil logiciel, CoCa, et une méthodologie d'analyse ont été développés et expérimentés au sein d'une PME via la configuration d'un outil PLM.

Financement : Bourse CaBAB (Communauté d'agglomération Bayonne-Anglet-Biarritz) et monitorat ESTIA.

Situation actuelle : Enseignant CFA.

Publications : Cet encadrement a permis la publication de 15 articles dont 1 revue internationale et 1 revue nationale.

NB : G.Pol a réalisé son PhD presque entièrement à l'ESTIA, avec 4 déplacements d'environ 2 mois à l'Université de Cranfield.

SERNA Livier *Pourcentage de co-encadrement : 30%*

Titre : « ***Modélisation de préférences et exploration virtuelle en conception interactive*** »

Thèse de Doctorat, Spécialité Génie Mécanique, Ecole Centrale de Nantes et Université de Nantes, décembre 2007

Jury :

Rapporteurs : Dominique DENEUX, Pr., ENSIAME

Jean Pierre NADEAU, Pr., ENSAM

Examinateurs : Fouad BENNIS, Pr., Ecole Centrale de Nantes

Xavier FISCHER, Maître de conférences, HDR, ESTIA

Christophe MERLO, Pr., ESTIA

Ricardo RAMIREZ, Pr., ITESM, Mexico

Patrick SEBASTIAN, Maître de conférences, HDR, Univ. Bordeaux 1

Directeur de thèse : Pr. Fouad BENNIS, Professeur à l'Ecole Centrale de Nantes.

Co-encadrants de proximité : X.Fischer et C.Merlo, ESTIA

Résumé des travaux :

Cette thèse consiste en la définition d'une méthodologie visant à rendre plus objectifs et plus consensuels certains choix de conception portant sur la notion des préférences utilisateurs. Mon apport a porté sur la modélisation de ces préférences puis sur l'impact de cette méthodologie sur le processus de conception, alors que Xavier Fischer s'est concentré sur la recherche de solutions appropriées à partir de l'exploration et de la réduction progressive de l'espace de recherche.

Financement : Co-financement franco-mexicain.

Situation actuelle : Professeure à l'ITESM (Instituto Technologico de Estudios Superiores de Monterrey) Monterrey (Mexique)

Publications : Cet encadrement a donné lieu à 1 article en cours d'évaluation.

Mickael ROMAIN Pourcentage de co-encadrement : 50%

Titre : « **Interopérabilité des Systèmes PLM : structuration d'une méthodologie générique et application au cas des échanges entre sous-traitants aéronautiques** »

Thèse de Doctorat, Spécialité Productique, Université de Bordeaux 1

Démarrage en novembre 2008

Directeur de thèse : Pr. Philippe GIRARD, Professeur à l'Université de Bordeaux 1, IMS/LAPS.

Co-encadrants de proximité : Christophe MERLO, ESTIA

Travaux en cours :

Le projet ISTA3 fournit le cadre applicatif de ces travaux de recherche. Il a pour but d'étudier et de prototyper des interfaces de nouvelle génération, basées sur les dernières recherches en interopérabilité, permettant à des ST1 et ST2 de collaborer pour concevoir et réaliser des sous-ensembles d'avion, avec des outils CAO et PLM différents.

Nous sommes donc dans un contexte de conception et de fabrication collaboratives, au sein d'environnements PLM hétérogènes. L'interopérabilité est envisagée ici à différents niveaux conceptuels : celui des données pour permettre l'échange d'informations sur la configuration des produits et sur la géométrie des modèles CAO (norme STEP) ; celui des fonctions d'échanges qui devront être établies en application des principes d'architecture génériques basées sur les modèles MDA ; et celui des organisations en interaction lors de ces échanges. Les travaux de recherche porteront donc sur la définition d'une méthodologie globale permettant de rendre des environnements logiciels PLM interopérables. On abordera plusieurs domaines tels que l'organisation de l'entreprise (approche GRAI), la modélisation d'architectures indépendantes des outils et la gestion des connaissances (construction d'ontologies notamment).

Ces travaux devant être aussitôt mis en œuvre auprès des industriels par les partenaires développeurs sous la forme d'interfaces de nouvelle génération, cette méthodologie devra prévoir la production de spécifications techniques pour ces développements logiciels en intégrant les particularités des différents systèmes PLM considérés et la réaliser de scénarios d'expérimentation.

Financement : Thèse financée via le Pole Unique Interministériel (FUI), dans le cadre du projet ISTA3, labellisé par les pôles de compétitivité AESE et EMC2.

Stéphanie MAHUT *Pourcentage de co-encadrement prévu : 50%*

Titre : « **Définition d'une démarche de déploiement et d'appropriation d'outils méthodologiques pour la conception et l'ingénierie système** »

Thèse de Doctorat, Spécialité Mécanique, Université de Technologie de Compiègne

Démarrage en décembre 2008

Directeur de thèse envisagé : Benoit Eynard, HDR à l'Université de Technologie de Compiègne, UMR CNRS 6253 Roberval.

Co-encadrants de proximité : Christophe MERLO, ESTIA

Travaux en cours :

Dans le contexte industriel actuel de forte compétitivité, les entreprises se doivent de concevoir plus rapidement, mieux et moins cher. Pour mener efficacement les phases amont de la conception des produits, elles ont à leur disposition de multiples outils et méthodes. Aujourd'hui, ces outils sont de plus en plus déployés dans les organisations de manière exogène. Les entreprises s'ouvrent donc à l'extérieur. Les informations et outils méthodologiques proposés ne proviennent plus seulement du réseau d'acteurs internes qui leur sont propres mais aussi via des parties prenantes externes à l'organisation. L'intégration de ces solutions ne peut alors se faire sans une bonne connaissance de la structuration de l'entreprise, ni appropriation du processus de conception et de ses spécificités par les acteurs externes. Pour réussir ce déploiement, il s'agit de définir une démarche générique et personnalisable, ainsi que d'identifier les facteurs qui permettront aux futurs utilisateurs de s'approprier la solution qui leur est proposée.

Les phases de conception, pour être menées avec efficacité, peuvent faire appel à plusieurs méthodes dont l'utilité est avérée. Ces méthodes sont néanmoins bien souvent lourdes à mettre en place au sein des organisations. L'apport d'outils pour faciliter la traçabilité, la capitalisation et la cohérence méthodologique sera d'autant plus synonyme de performance que ces outils seront faciles à exploiter et les concepts sous jacents maîtrisés.

Le travail de thèse abordera les points suivants :

- Définir une démarche pour le déploiement d'une suite d'outils méthodologiques ;
- Proposer une stratégie adéquate pour favoriser l'appropriation des outils à intégrer dans une organisation ;
- Faciliter l'exploitation de la suite méthodologique par l'amélioration de l'utilisabilité des interfaces et des formations.

Financement : Financement Cifre auprès de l'entreprise TDC - Transfert De Connaissances, spécialisée dans le développement et la commercialisation d'outils méthodologiques pour l'aide à la conception (analyse fonctionnelle, AMDEC, créativité / TRIZ, …).

Encadrement de post-doctorants :

Jérémy Legardeur, 2002-2003 *Encadrement : 1 année*

Contexte : Après l'obtention de sa thèse de doctorat en mécanique au L3S, à Grenoble, sous la responsabilité de J.F. Boujut, Jérémy a été recruté par l'ESTIA en tant que post-doctorant. J'en ai assuré l'intégration et nous avons travaillé ensemble à la fois sur le plan scientifique (définition d'une thématique de recherche commune et publications) et sur le plan pédagogique (insertion dans les enseignements de technologie mécanique). Nous avons défini comme thème fédérateur principal de recherche la « **coopération et la coordination dans les processus de conception : étude, caractérisation et instrumentation ». L'axe « modélisation du processus de conception** » ainsi identifié s'articule autour de 3 points visant à améliorer ce processus : par la modélisation des connaissances, par l'étude socio-technique du processus de conception et des mécanismes de collaboration et de coordination qui s'y déroulent et par la proposition d'environnements d'assistance.

Cet effort de structuration s'est accompagné de premiers travaux conjoints matérialisés par 9 publications dont 1 revue internationale et 3 revues nationales.

Situation actuelle : Enseignant-chercheur à l'ESTIA.

Encadrement de DEA / Masters :

Quentin Houery, Master Recherche, 2008 *Encadrement : 4 mois*

Sujet : « **Gestion des connaissances en ingénierie navale** »

Contexte : Mettre en place une gestion des connaissances permettant de pallier au 'turn-over' important d'experts au sein d'un bureau d'ingénierie.

Ce travail s'effectue en collaboration avec le bureau d'ingénierie navale en charge de la conception et de la réalisation des trimarans 'Groupama'. Une démarche dérivée de la méthode KADS de capitalisation des connaissances est mise en œuvre pour établir une cartographie des différents métiers et des différentes connaissances qu'il sera utile de capitaliser. Cette première étape permettra ensuite de représenter les processus de conception et de caractériser à chaque étape les savoirs et savoirs faire des experts concernés. Au final une caractérisation sous forme de compétences des différents métiers repères sera formalisée pour permettre au responsable de mieux gérer ses ressources humaines et son turn-over. Le projet n'étant pas à terme, il n'y a pas de publications pour l'instant. L'étudiant se partage entre l'ESTIA et l'entreprise.

Situation actuelle : Etudiant en fin de cycle.

Aurélien Odinot, Master recherche, 2005 *Encadrement : 6 mois*

Sujet : « **Méthodologie de mise en œuvre des systèmes PLM en PMI/PME** »

Contexte : Collaboration avec le laboratoire LASMIS de l'Université de Technologie de Troyes en vue d'une thèse éventuelle de doctorat de type CIFRE.

Le sujet porte sur la problématique de déploiement d'un système PLM au sein d'une PME. En s'appuyant sur des travaux déjà menés sur la modélisation du processus de conception et des données techniques, l'étudiant a défini une succession de modèles permettant d'établir les spécifications d'un système PLM destiné à gérer ces données techniques tout au long du processus. Ces modèles, basés sur UML, sont indépendants d'un

formalisme propriétaire propre à un outil PLM donné. Le champ d'application de ces modèles a été réduit aux PME de façon à réduire la complexité initiale du problème.

Ce travail a donné lieu à 3 publications dont 1 revue internationale.

Situation actuelle : Consultant PLM.

Luc Kopacz, Master Pro, 2005 *Encadrement : 4 mois*

Sujet : « **Etude et développement de logiciels DAO/FAO pour la découpe jet d'eau** »

Contexte : réalisation d'une prestation technologique au sein de l'entreprise DCB (Toulouse) en vue d'accompagner un choix stratégique.

L'entreprise DCB conçoit et produit des machines de découpe à jet d'eau. Elle fournit également un ensemble de logiciels permettant de concevoir des pièces et de générer les programmes qui servent ensuite à piloter la Commande Numérique de cette machine. Venant d'être reprise après un dépôt de bilan, les nouveaux responsables ont souhaité évalué si ces logiciels, jusque là développés en interne, étaient toujours performant par rapport au marché, ou s'il était préférable de les abandonner au profit d'un partenariat avec un éditeur existant. Ce travail très opérationnel m'a toutefois permis d'expérimenter plusieurs mécanismes de modélisation pour la spécification de logiciels, qui ont été réutilisé par la suite, soit dans des encadrements de DEA (cf Aurélien Odinot ci-dessus) ou de thèses de doctorat (cf Guillaume Pol précédemment).

Situation actuelle : Ingénieur R&D.

Laeticia Girouard, Master Recherche, 2004 *Encadrement : 6 mois*

Sujet : « **Comparaison de la modélisation produit sur différents outils : CAO, SGDT et prototype IPPOP** »

Contexte : Collaboration avec le laboratoire LASMIS de l'Université de Technologie de Troyes, dans le cadre du projet RNTL IPPOP.

Le projet IPPOP visait à établir un modèle de conduit de projet intégrant 3 dimensions fondamentales : le produit, le processus et l'organisation, et de les mettre en œuvre à travers un prototype logiciel. Ce travail de recherche visait à évaluer l'apport du prototype IPPOP développé par rapport à des outils CAO (ici Catia, DS et Pro Engineer, PTC) et des outils de type SGDT (ici Windchill, PTC), en se focalisant uniquement sur la modélisation du produit. La modélisation du produit recouvrait simultanément les concepts « fonctionnels », « structurels » et leur interfaçage.

De ce travail est issu 1 publication dans une revue nationale.

Situation actuelle : Consultant PLM, PCO Technologies.

Raphael Michel, Thèse de doctorat, 2006 *Encadrement : 6 mois*

Sujet : « **Définition d'une méthodologie et d'un environnement pour le développement d'applications basées sur des architectures de composants** »

Contexte : Collaboration avec le laboratoire LIUPPA de l'UPPA.

Dans le cadre du projet IPPOP, j'ai fourni un cadre d'application à ce doctorant basé sur la spécification d'un système d'information pour la conception.

De ce travail est issu 1 publication dans une conférence internationale.

Situation actuelle : Consultant et formateur en simulation de flux.

2.2.3. Animation scientifique

Mon activité scientifique se situant principalement en Productique (modélisation d'entreprise, conduite de systèmes, systèmes d'information), j'ai donc naturellement intégré le GRP (Groupement de Recherche en Productique) puis poursuivi mon implication dans le GDR MACS (Modélisation, Analyse et Conduite des Systèmes dynamiques). Toutefois le domaine d'application de ma recherche se focalise principalement sur la conception de produits manufacturés et j'ai donc très vite participé aux activités du réseau AIP-PRIMECA (Pôle de Ressources Informatiques pour la MECAnique). Enfin plus récemment, ma filiation au sein de l'IMS/LAPS, la position de l'ESTIA en conception, et l'identification de problématiques relevant de l'interopérabilité entre systèmes, m'ont amené à participer à la création d'un pôle inter-régional sur la recherche en interopérabilité.

J'ai donc développé des activités d'animation scientifique dans ce contexte.

Dans cette section, le lecteur trouvera le compte-rendu de mes activités comme :

- Animateur du thème « systèmes d'information » dans le GT IS3C
- Coordinateur et acteur de l'école d'automne « Décision en conception »
- Organisateur de la conférence PLEDM
- Co-organisateur des journées REX-PLM
- Co-organisateur du séminaire S3P
- Co-animateur de la structuration d'une thématique de recherche
- Coordinateur du rattachement à l'IMS/LAPS
- Acteur principal de la collaboration ESTIA – UTT/UTC en PLM
- Premier animateur de la collaboration avec le GRAPHOS
- Membre de comités scientifiques
- Relecteur d'articles
- Expert scientifique pour le RNTL

Animateur du thème « systèmes d'information » dans le GT IS3C depuis 2005

Mon implication dans le GDR MACS s'effectue au sein du Groupe de Travail IS3C « Ingénierie des systèmes de conception et conduite du cycle de vie produit ». Ce Groupe de Travail (GT) s'intéresse au pilotage de la conception et en particulier aux aspects collaboratifs et gestion des connaissances. Je suis animateur depuis 2005 du thème « systèmes d'information » au sein d'IS3C et ai donc assumé plusieurs animations et présentations au cours des manifestations organisées par le GT IS3C.

Coordinateur et acteur de l'école d'automne « Décision en conception » 2006

J'ai participé de façon significative à la préparation et à la réalisation d'une école d'automne sur la décision en conception, puis à la rédaction d'ouvrages de vulgarisation publiés chez Hermès sur cette même thématique. Ce projet très important de part l'investissement en travail que cela représente et sa durée (plus de 2 ans entre 2005 et 2007) est issu de discussions au sein du GT IS3C qui ont fédéré une communauté de plus de 20 enseignants-chercheurs autour de Bernard Yannou, professeur à Centrale Paris.

L'école d'automne a eu lieu en septembre 2006 et j'avais la responsabilité de coordonner l'une des 9 sessions d'une demi-journée chacune relative aux « systèmes d'information et gestion des connaissances ». Pour cette sessions nous avons élaboré une série de cours / TD / TP à 5 enseignants-chercheurs. Je suis par ailleurs intervenu comme intervenant dans la session « pilotage des projets » coordonnée par Michel Bigand, de l'Ecole Centrale de Lille.

Suite à cette école il a été collectivement décidé que des ouvrages à destination d'étudiants en Master Recherche ou de doctorants seraient élaborés en s'appuyant sur les supports que nous avions réalisés pour l'école d'automne. Les 9 sessions ont été regroupées par 3 dans 3 tomes complémentaires. J'ai donc assumé la coordination des chapitres correspondant à ma session et participé à la rédaction de ma section et de la section supervisée par Michel Bigand.

Organisateur de la conférence PLEDM 2006

J'ai co-organisé la conférence PLEDM (Product Lifecycle and Engineering Design Management, ie Gestion du cycle de vie du produit et de l'ingénierie de conception) lors de Virtual Concept 2006 à Cancun, Mexique, avec le label du GDR MACS. Cette conférence a été co-organisée avec Philippe Girard, professeur à l'IMS/LAPS, Université de Bordeaux 1 et avec Benoit Eynard, Maître de Conférences au LASMIS/Université de technologie de Troyes) et s'est déroulée en novembre 2006. Elle a aussi obtenue le support de la Design Society dont le président Chris McMahon, professeur à l'Université de Bath, a accepté d'être président du Comité Scientifique de PLEDM.

Les orientations thématiques de PLEDM portent sur la gestion du cycle de vie du produit, l'ingénierie de la conception, la prise de décision et la performance en conception, la coordination de la conception, la modélisation du produit comme du processus de conception, enfin la conception collaborative et la co-conception en entreprise étendue.

50 propositions d'articles ont été déposées et 24 ont finalement été présentés lors de 4 sessions régulières et 2 sessions invitées. Ont également été organisées une session plénière et une session tutoriel sur le KBE (Knowledge Based Engineering) dont l'intervenant invité était le professeur Brian Prasad, Professeur au California Institute of Technology mais aussi Directeur de recherche au sein de Parker Aerospace. Environ la moitié de ces articles a été retenue pour des publications dans des numéros spéciaux des revues internationales CERA, IJPLM et IJPD.

Co-organisateur des journées REX-PLM depuis 2006

J'ai également co-participé avec Pascal Morenton de l'Ecole Centrale de Paris au lancement des journées REX-PLM (Retour d'Expérience en PLM), là encore avec le label GDR MACS mais aussi le label AIP-PRIMECA.

J'ai été impliqué dès le démarrage en 2005 dans l'action PLM menée par Pascal Morenton à Centrale Paris et basée sur le système Windchill (PTC) en vue de structurer une offre académique et d'instancier différentes utilisations. Cela a abouti à la mise en place d'une plateforme pédagogique basée sur ce système et accessible par tout établissement d'enseignement en France. Aujourd'hui plus de 20 établissements (lycées, écoles ou universités) l'utilisent dans leurs cursus. J'ai contribué directement en mettant à disposition différents supports de formation que j'avais constitués pour mes propres enseignements de Windchill depuis 2000. En complément nous avons co-organisés la journée d'échanges REX-PLM en 2006 puis en 2007. Cette journée rassemble différents enseignants intéressés par l'enseignement du PDM, qu'ils disposent ou non d'un système PDM, et quel que soit le système PDM quand ils en possèdent un dans leur établissement. Les éditeurs de logiciels PDM sont également présents à cette journée.

Les thèmes abordés concernent principalement le retour d'expérience sur l'utilisation de systèmes PDM / PLM dans le cadre de l'enseignement : témoignages sur la pédagogie, exemples de cours et travaux pratiques, démarche de déploiement au sein d'un établissement, aspects techniques de gestion et de configuration d'un système…

La première édition de REX-PLM a réuni environ 50 enseignants issus de lycées techniques, de filières universitaires ou d'écoles d'ingénieurs. Par la suite ces journées ont réuni à chaque fois une centaine de personnes.

Par ailleurs de nouvelles activités renforcent l'impact de cette initiative puisque aujourd'hui des séances de tutoriels complètent les journées REX-PLM. Des travaux spécifiques comme le développement d'outils d'intégration CAO-PDM ou la constitution de groupes de réflexion thématiques (configuration de produits, paramétrage de Windchill, …) permettent de fédérer la communauté des enseignants en PLM au sein de réseaux plus spécialisés et animés par des problématiques proches.

On peut rattacher à cette activité de réseau les actions menées au niveau aquitain pour constituer un AIP-PRIMECA aquitain.

Co-organisateur du séminaire S3P 2001

Outre l'organisation de la conférence PLEDM et des journées REX-PLM, déjà développées auparavant dans cette section, j'ai participé à l'organisation du séminaire S3P à l'ESTIA en novembre 2001. Le responsable de ce séminaire était Xavier Fischer, enseignant-chercheur à l'ESTIA, épaulé par Michel Tollenaere (ENSGI, Grenoble, AIP-PRIMECA Dauphiné-Savoie) et J.-L. Billoet (CNED, LMS, ENSAM). L'organisation en local a donc reposé sur Xavier Fischer et moi-même. Ce séminaire d'une journée a amené 46 personnes extérieures à l'ESTIA sur la thématique de la Simulation de Produits, de Procédés et de Processus industriels. Des actes sur CD-Rom ont été produits.

Co-animateur de la structuration d'une thématique de recherche depuis 2003

A l'issue de ma thèse de doctorat, et lors de l'encadrement de Jérémy Legardeur, titulaire d'un doctorat en mécanique au L3S - INPG, lors de son post-doc à l'ESTIA en 2003, j'ai travaillé avec ce dernier à la structuration d'une thématique de recherche qui nous soit spécifique, en combinant nos deux points de vue, nos approches et nos perspectives : pour Jérémy une approche basée sur la prise en compte de l'informel (informations tacites, collaborations émergentes…) dans les premières phases d'un projet de conception innovante ; et pour moi-même cette approche macro centrée sur l'étude de l'organisation de la conception et des mécanismes de coordination. Nous avons défini comme thème fédérateur principal de recherche la « coopération et la coordination dans les processus de conception : étude, caractérisation et instrumentation ». L'axe « modélisation du processus de conception » ainsi identifié s'articule autour de 3 points visant à améliorer ce processus : par la modélisation des connaissances, par l'étude socio-technique du processus de conception et des mécanismes de collaboration et de coordination qui s'y déroulent et par la proposition d'environnements d'assistance pour les acteurs de la conception.

Notre binôme est devenu un trinôme en 2004 avec l'arrivée de Stéphanie Minel, titulaire d'un doctorat en Génie Industriel, obtenu en 2003 au LCPI, ENSAM Paris. Notre thématique s'est enrichie en intégrant des expertises complémentaires de réingénierie des processus et d'accompagnement du changement organisationnel et j'ai personnellement intégré ses nouvelles compétences dans notre affichage scientifique. J'ai également supervisé l'intégration de Stéphanie au sein des enseignements dispensés par l'ESTIA dans ses filières ingénieur.

Coordinateur du rattachement à l'IMS/LAPS 2006

J'ai joué le rôle d'interface en vue du rattachement de notre petit groupe (J.Legardeur, S.Minel et moi-même) à l'IMS/LAPS, avec l'équipe ICO dirigée par Philippe Girard. Cela a abouti à une intégration effective au 1er janvier 2007.

J'ai pris l'initiative de reformuler la thématique affichée par notre trinôme pour mettre en avant nos complémentarités avec les orientations de l'équipe ICO qui sont identifiées par le mot-clé « Ingénierie de la Conception » et portent sur la « conduite des systèmes de conception ». Aux thématiques portant sur l'organisation de la conception, l'ingénierie des processus et des réseaux d'acteurs, et de la performance en conception, nous apportons nos propres points de vue. C'est ainsi que nous nous identifions par « Ingénierie des Processus et des Organisations en Conception de Produits et Innovation » et que nous collaborons avec nos collègues au sein de l'équipe ICO pour proposer des modèles, méthodes, et outils informatisés, pour concevoir, pour décider, et pour former les acteurs opérationnels sur des notions comme la créativité et les dispositifs informationnels ou d'organisation.

Acteur principal de la collaboration avec l'Université de Technologie de Troyes, puis l'Université de Technologie de Compiègne, en PLM depuis 1999

Dès l'arrivée de Benoit Eynard au sein du laboratoire LASMIS, à l'Université de Technologie de Troyes, nous avons développé des activités communes dans le domaine du PLM, tant au niveau pédagogique (échanges sur les enseignements PLM et la mise en œuvre d'outils logiciels) qu'au niveau scientifique.

Nous avons travaillé en recherche sur les problématiques de déploiement et de configuration de systèmes PLM. Depuis la première publication en 2001, ce sont pas moins de 7 publications que nous avons produites. J'ai également encadré deux stages de Master Recherche en collaboration avec le LASMIS, nous avons collaboré sur le projet RNTL IPPOP et nous avons initié le projet eTranet HOBBYHORSE (tous deux développés dans la section 2.3.2).

Enfin avec Nadège Troussier nous avons collaboré lors de la constitution de la plateforme pédagogique PLM de Pascal Morenton (Centrale Paris) basée sur l'outil PLM Windchill, et nous avons régulièrement des échanges au niveau scientifique.

Animateur de la collaboration avec le GRAPHOS 2000 à 2003

Le laboratoire GRAPHOS, laboratoire en sciences de gestion basé à Lyon, a détaché une équipe de recherche sous la responsabilité du Professeur Jean Michel Larrasquet au sein de l'ESTIA et travaille principalement sur la stratégie, le changement et la modernisation des activités et des organisations dans le domaine de la santé, des services et de l'industrie.

L'axe principal de recherche du GRAPHOS étant orienté vers l'amélioration de l'organisation, les thèmes de recherche développés par ce laboratoire s'articulent également autour des notions de changement organisationnel, d'apprentissage, de gestion de projet et d'approches processus, de système d'information et de gestion des connaissances.

A partir de l'an 2000, nous avons identifié des thématiques communes portant la capitalisation des connaissances et des compétences ainsi que sur le pilotage de projets. Nous avons mis en place des séminaires internes d'échanges scientifiques qui ont amené à des publications communes (3 pour ma part, près d'une dizaine au total). Enfin, j'ai participé en 2003-2004 avec le GRAPHOS à l'Action Spécifique TOPIK « Transformation des Organisations, Projets, production, Ingénierie, innovation : Knowledge management » (AS 199, TRP 47) dans le cadre du département STIC du CNRS. Cette action spécifique concerne les savoir-faire et les connaissances complexes liés à la conduite des groupes opérationnels (projets, production, conception…).

Membre de comités scientifiques depuis 2002

Depuis la fin de mon doctorat j'ai participé aux comités scientifiques suivants :

- Workshop EXPPAND, Bordeaux, France, 2008
  30 inscrits, 15 présentations
- Conférence internationale ICED, Paris, France, 2007.

300 inscrits, 160 présentations

- Colloque européen ERIMA, Biarritz, France, 2007.
  80 inscrits, 46 présentations
- Workshop C2EI « Capitalisation et Réutilisation des Connaissances Métier en conception de systèmes mécaniques », 2007
  20 inscrits, 12 présentations
- Conférence PLEDM, Cancun, Mexique, 2006.
  30 inscrits, 24 présentations
- Colloque international VIRTUAL CONCEPT, Cancun, Mexique, 2006.
  150 inscrits, 60 présentations
- Colloque international VIRTUAL CONCEPT, Biarritz, France, 2005.
  80 inscrits, dont 20% d'industriels et 22% de participants internationaux
  14 communications et 8 posters
  un salon industriel de 20 exposants
- Workshop VIA, Université de Technologie de Compiègne, France, 2004
- Colloque international VIRTUAL CONCEPT, Biarritz, France, 2003.
  près de 300 inscrits, 27 pays représentés
  52 communications et 8 posters, 2 débats et 3 tutoriels
  un salon industriel de 20 exposants
- Colloque international VIRTUAL CONCEPT, Biarritz, France, 2002.
  80 inscrits, dont 20% d'industriels et 22% de participants internationaux
  14 communications et 8 posters
  un salon industriel de 20 exposants
- Revue IJIDEM, Springer-Verlag, soutenue par AIP-PRIMECA.

Relecteur d'articles depuis 2002

J'ai contribué à l'évaluation d'articles pour les conférences précédemment citées, mais aussi à d'autres conférences et à des revues internationales :

- 1 article pour le congrès DETC, ASME, 3-6 aout 2008.
- 1 article pour la revue IJPD International Journal of Product Development, Inderscience, pour un numéro spécial destiné à publier une sélection d'articles issus de la conférence TMCE2008.
- 2 articles pour la revue JED Journal of Engineering Design, Taylor & Francis en 2007 et 2008.
- 2 articles (évalués chacun 2 fois : l'original puis sa révision) pour la revue CAD Computer-Aided Design, Elsevier, en 2008.
- 1 article pour EXPPAND 2008.
- 2 articles pour CERA Journal, Biren Prasad Ed., en 2007.
- 1 article pour la revue IJPLM, International Journal of Product Lifecycle Management, Inderscience, 2007.
- 1 article pour le workshop C2EI, 2007.
- 6 articles pour la conférence ICED 2007.

- 6 articles pour la conférence ERIMA 2007.
- 8 articles pour la conférence PLEDM 2006.
- 1 article pour la session spéciale « Dynamic Engineering Process Management » du congrès DETC « Design Engineering Technical Conferences », ASME, Montreal, Octobre 2002.
- 10 articles pour les conférences VIRTUAL CONCEPT 2006-2005-2003-2002

Expert scientifique pour le RNTL 2002-2003

J'ai été expert pour le Réseau National des technologies Logicielles (RNTL) en 2002 et en 2003. En 2001 puis 2002, j'ai tout d'abord participé aux groupes de travail qui ont permis d'identifier les thématiques de recherche clefs pour les appels à projet annuels. Puis en 2002 et en 2003 j'ai directement participé à l'évaluation de 4 soumissions de projet.

2.2.4. Les activités internationales

Chef de projet : *UNMSM / Pérou et UdA / Colombie (Bilimeri)*
Collaboration démarrée en 2007

L'Universidad Nacional Mayor San Marcos à Lima est la plus ancienne université du Pérou et sa faculté en informatique (la FISI) souhaite renforcer ses formations de « maestrias » (équivalents des Master 1 et 2) en les alignant sur les référentiels européens. Il en est de même pour l'Universidad de Antioquia à Medellin et sa faculté en ingénierie des systèmes, qui est la plus importante de Colombie dans ce domaine.

Un premier séminaire de travail a été réalisé en mars 2007 suite à un contact initié par IBM entre ces universités et l'ESTIA. Une conférence invitée a eu lieu sur le thème de la modélisation des connaissances et un projet a été élaboré à cette occasion.

Ce projet de type PREFALC (Programme REgional France - Amérique Latine - Caraïbe) a été labellisé en novembre 2007 et prévoit l'envoi d'enseignants français dans ces 2 universités pour la réalisation de 9 modules de 40 heures. Des travaux seront menés pour développer des collaborations futures dans les domaines de la recherche, du transfert de technologie et de l'innovation.

Le projet BILIMERI est développé à la section 2.3.2.

Acteur: *Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey / Mexique*
Collaboration démarrée en 2003

Les relations avec cet institut d'études supérieures a démarré en 2003 lors de la venue d'enseignants à la conférence internationale Virtual Concept à Biarritz, France.

Suite à de nombreux échanges scientifiques sur la réalité virtuelle en conception, un séminaire a été réalisé en novembre 2005 portant sur la modélisation des connaissances en conception de produit. Plusieurs conférences invitées ont ainsi été réalisées.

Depuis des projets de recherche ont été menés avec ESTIA Recherche. En particulier la création de la conférence internationale PLEDM en collaboration, à Cancun, Mexico, 2006. Mais aussi l'initiation d'une collaboration scientifique qui s'est traduite à mon avis par la participation à l'encadrement de la thèse de doctorat de Livier Serna, étudiante issue de cet établissement.

Coordinateur et acteur : *Université de Cranfield / Royaume Uni*
Collaboration démarrée en 1989

L'Université Technologique de Cranfield est un partenaire historique de l'ESTIA. Cette collaboration a démarrée en 1989, avec la création d'une filière Bac+6 à l'ESTIA permettant de délivrer le Master of Science CAD/CAM/CAE. C'est à ce moment là que j'ai été recruté et j'ai commencé à nouer des relations étroites avec les enseignants britanniques.

Avec la constitution d'une équipe composée d'enseignants chercheurs à l'ESTIA la collaboration avec Cranfield, jusque là orientée vers l'enseignement (comme le projet Ecubed décrit à la section 2.3.2) a évolué vers des aspects plus scientifiques.

De par ma position et mon ancienneté, j'ai été chargé de mener cette nouvelle orientation. En 2004 la collaboration a permis la mise en œuvre d'un PhD dont le doctorant a été basé à l'ESTIA. J'en ai assuré l'encadrement de proximité, sous la supervision à distance de Graham Jared, « reader » à Cranfield. Plus de 10 articles communs sont issus de cette collaboration, le Phd ayant été obtenu en 2007.

Un projet de numéro spécial dans une revue est en préparation et de nouvelles actions devraient bientôt voir le jour.

Organisateur et Créateur *de la conférence PLEDM à Cancun, Mexico* 2006

J'ai organisé la conférence PLEDM (Product Lifecycle and Engineering Design Management, ie Gestion du cycle de vie du produit et de l'ingénierie de conception) lors de Virtual Concept 2006 à Cancun, Mexique, avec le label du GDR MACS. Cette conférence a été co-organisée avec Philippe Girard, professeur à l'IMS/LAPS, Université de Bordeaux 1 et avec Benoit Eynard, Maître de Conférences au LASMIS/Université de technologie de Troyes) et s'est déroulée en novembre 2006. Elle a aussi obtenue le support de la Design Society dont le président Chris McMahon, professeur à l'Université de Bath, a accepté d'être président du Comité Scientifique de PLEDM.

Les orientations thématiques de PLEDM portent sur la gestion du cycle de vie du produit, l'ingénierie de la conception, la prise de décision et la performance en conception, la coordination de la conception, la modélisation du produit comme du processus de conception, enfin la conception collaborative et la co-conception en entreprise étendue.

50 propositions d'articles ont été déposées et 24 ont finalement été présentés lors de 4 sessions régulières et 2 sessions invitées. Ont également été organisées une session plénière et une session tutoriel sur le KBE (Knowledge Based Engineering) dont l'intervenant invité était le professeur Brian Prasad, Professeur au California Institute of Technology mais aussi Directeur de recherche au sein de Parker Aerospace. Environ la moitié de ces articles a été retenue pour des publications dans des numéros spéciaux des revues internationales CERA, IJPLM et IJPD.

Titres des sessions régulières :

Collaborative Design

Product Lifecycle Management: Industrial and Educational Issues

PLM Tools and Engineering Knowledge

Product and Process Modelling Applications

Titres des sessions invitées :

Product Development Tools

Co-design of Product, Processes and Networks of firms

Model and Tools for Collaborative Design

Titre de la session pleinière : Knowledge-based Engineering (KBE) approach to Product System Realization

Titre du Tutoriel: Knowledge based Engineering and PLM

Acteur et/ou chef de projets *développés avec des Centres techniques d'Euskadi, Espagne* 2002 à 2007

L'ESTIA a toujours développé des partenariats avec les centres techniques situés de l'autre côté de la frontière. J'ai donc développé plusieurs collaborations avec des centres tels que :

– MIK à Mondragon :

Spécialisé dans la gestion des connaissances et de l'innovation à un niveau stratégique, plusieurs projets ont été développés et je suis personnellement impliqué dans le projet européen eTranet MOBYTEAM depuis 2007, après avoir été acteur dans le projet de R&D PICOOP en 2002 et 2003.

– ISEA à Mondragon :

De cette collaboration engagée en 2006 est sorti le projet européen de R&D eTranet HOBBYHORSE encore en cours d'instruction.

– Labein à Bilbao :

Deux dossiers européens de type intégré ont été déposés en 2004 et en 2007, mais n'ont malheureusement pas aboutis. Mikel Sorli, mon correspondant dans ce grand centre technique, a été membre de mon jury de thèse.

– Tekniker à Bilbao :

La collaboration fut ici ponctuelle mais a donné lieu à un projet transfrontalier Aquitaine-Euskadi sur les EDI en 1999.

– L'Université Polytechnique de Mondragon :

Connus depuis de nombreuses années, nous avons proposé un projet transfrontalier Aquitaine Euskadi en 2002 sur la gestion des risques mais qui n'a malheureusement pas été labellisé. Auparavant nous en avions réalisé un sur les échanges CAO Calcul en 1994.

– Ikerlan à Mondragon :

Ce fut la première collaboration concrétisée par un projet européen de R&D SPRINT de 1990 à 1992. Ce projet portait sur les problèmes d'échanges de données techniques en CAO.

L'ensemble de ces projets est développé à la section 2.3.2.

2.2.5. Production d'outils logiciels

Au cours de mes activités de recherche j'ai supervisé le développement de plusieurs outils logiciels et procédé à l'adaptation de plusieurs applications dans le domaine du PLM.

CoCa ***2006***

Ce logiciel a été développé dans la cadre de la thèse de G.Pol. L'objectif de cet outil est de permettre à un expert analyste en conception collaborative de tracer les évènements collaboratifs apparaissant au sein d'équipes de concepteurs engagées dans un même projet. Ces évènements peuvent être formels et planifiés, comme des réunions de travail, mais aussi informels comme une discussion téléphonique à la machine à café. L'outil permet ensuite d'évaluer la collaboration à partir de critères quantitatifs et qualitatifs proposés à travers un modèle de collaboration. Enfin, l'expert peut analyser chaque évènement, mais aussi relier entre eux plusieurs évènements par des liens temporels, causaux… afin de déterminer les bonnes pratiques et les améliorations possibles du processus de conception, afin que le chef de projet puisse améliorer son pilotage à l'avenir.

Ce logiciel a représenté 3 h.m d'analyse et de développement.

Maquettes Windchill ***2002 à 2005***

Toujours dans le cadre de la thèse de G.Pol, mais aussi lors de l'encadrement d'étudiants en DEA, plusieurs maquettes ont été élaborées à l'aide du système PLM Windchill. Il s'est agi à la fois d'un travail de modélisation, de spécification, de configuration et de personnalisation à vocation R&D.

Une maquette peut prendre de quelques jours à quelques semaines de travail.

PEGASE ***2005***

Ce logiciel a été développé dans le cadre d'une thèse de doctorat au sein de l'IMS/LAPS, par V.Robin, corrélée au projet IPPOP. Je ne suis pas intervenu sur ce développement, même si mes propres travaux de thèse au sein de l'IMS/LAPS ont permis de spécifier un système d'information pour la conduite qui a inspiré fortement PEGASE. Mon action se situe à l'issue de ce développement pour expérimenter et évaluer cet outil en vue d'une utilisation opérationnelle pédagogique et industrielle.

Un ensemble de tests et des scénarios ont été établis et mis en œuvre auprès d'échantillons représentatifs d'utilisateurs afin d'évaluer l'interface utilisateur, les fonctionnalités et l'écart entre les concepts scientifiques et ceux mis en œuvre dans le logiciel. Les résultats sont aujourd'hui en cours d'analyse pour établir des spécifications techniques d'amélioration. Il est prévu de mettre en œuvre une version 2 du logiciel dans le cadre du projet international BILIMERI.

Ce logiciel a représenté 4 h.m de développement et son expérimentation s'est étalée sur 5 mois.

IPPOP *2004*

Ce projet RNTL, décrit à la section 2.3.2, a produit un prototype logiciel permettant de manipuler un modèle intégré produit - processus - organisation. J'ai supervisé l'ensemble des spécifications techniques de ce prototype en faisant l'interface entre le modèle intégré élaboré par les partenaires académiques et les développeurs. J'ai donc été amené à établir des modèles opérationnels et à mettre en place une démarche de spécifications mixte associant une approche de modélisation basée sur UML et une approche orientée sur l'utilisateur à base de scénarios et de séquences d'écrans logiciels simulés.

Ce logiciel a représenté plus de 12 h.m d'analyse et de prototypage et pas mois de 10 h.m de développement.

Agent produit *2000*

Dans le cadre de mon stage de DEA, portant sur la mise en œuvre de la conduite de la conception à travers un environnement logiciel, j'avais proposé un système d'information couplé à un système multi-agent dont les agents venaient assister les acteurs de la conception sur un ensemble de tâches à faible valeur ajoutée comme la gestion de la cohérence de la connaissance produit, susceptible d'évoluer de façon simultanément par plusieurs acteurs, ou comme la traçabilité des activités des acteurs. J'ai supervisé la mise en œuvre d'agents produit (gestion de la cohérence des évolutions du modèle de produit en contexte multi-utilisateur) afin de prouver la faisabilité de cette proposition de système d'information et agents.

Ce logiciel a représenté 3 h.m d'analyse et de développement.

2.3. ACTIVITES DE VALORISATION ET DE TRANSFERT SCIENTIFIQUE

L'ESTIA possédant une culture marquée de collaboration industrielle, c'est tout naturellement que je me suis impliqué dans ce type d'activités dès mon DEA. Cette implication s'est poursuivie tout au long de ma thèse et par la suite, y compris après mon intégration au sein de l'IMS/LAPS. Durant la réalisation de ma thèse de doctorat j'ai progressivement basculé de projets à dominante industrielle à des projets essentiellement scientifiques et de R&D.

De ce fait, les activités sont présentées en deux parties distinctes : tout d'abord les activités de valorisation et de transfert scientifiques réalisées à travers des projets internationaux, européens, nationaux ou régionaux ; et ensuite les activités de transfert de technologie réalisées à travers des programmes industriels. La présentation de ces projets sépare ceux réalisés depuis 2000 (début de ma thèse de doctorat) et avant 2000 (consultant et enseignant au CRT ESTIA Innovation).

2.3.1. Bilan quantitatif pour la valorisation et le transfert

Bilan sur les projets à vocation scientifique (depuis 2000)

10 projets réalisés ou en cours de réalisation dont :

Dimension du projet :	
• Projets internationaux	1
• Projets européens	4
• Projets nationaux	3
• Projet régional	2
• Dont projets à finalité industrielle	4
Nature du projet :	
• Projets à but pédagogique	2
• Projets de recherche	5
• Projets de R&D	2
Mon rôle dans le projet :	
• Chef de projet	3
• Responsable de lots et/ou pour l'ESTIA	3
• Acteur ou expert	4

Bilan sur les collaborations industrielles de transfert (depuis 2000)

7 projets réalisés dont 4 comme chef de projet :

• Projets collectifs	1
• Projet mixte recherche - transfert	1
• Contrats de transfert de technologie	3
• Contrats à but pédagogique	2

Bilan sur les collaborations industrielles de transfert (avant 2000)

20 projets réalisés comme acteur et chef de projet

- Projets collectifs régionaux ou européens 7
- Contrats de transfert de technologie 13

2.3.2. Les projets à vocation scientifique

Chef de projet pour l'ESTIA : *ISTA3 (Interopérabilité de 3e génération pour la Sous-Traitance dans l'Aéronautique)*

Projet national de recherche Démarrage prévu en septembre 2008 pour 3 ans
Budget total prévu : 3.3 M euros
Financement par le FUI, accord du projet en juillet 2008

Ce projet a pour but de mettre en œuvre les recherches menées en interopérabilité dans un contexte aéronautique d'échanges de données techniques CAO et PLM entre sous-traitants de rang à n. Il a reçu le label des pôles de compétitivité AESE (AerospaceValley) et EMC2 (Ensembles Métalliques Composites Complexes).

En aéronautique, la stratégie des principaux Avionneurs est de sous-traiter de plus en plus de sous-ensembles. De ce fait, les Sous-traitants de rang 1 (STR1) développent des relations plus complexes avec les avionneurs et avec leurs propres sous-traitants (STR2). Elles s'appuient sur les outils de Conception et de PLM. L'Interopérabilité des Applications informatiques d'Entreprise (ISAE) devient un enjeu majeur pour assurer des échanges fiables, flexibles et économiques. L'ISAE a pour but de développer des produits intégrées et flexibles (logiciels, méthodes, services) pour implanter une ingénierie collaborative efficace depuis l'avionneur jusqu'au STRn. Le but est de réduire les coûts d'acquisition de produits logiciels et d'interfaçage informatique spécifique, de les mettre en œuvre et de les maintenir, tout en optimisant l'organisation en interne du STR1 et ses relations avec les sous-traitants. Par extension, cela permet de réduire les cycles de développement des avions et d'étendre les marchés potentiels pour les STRs.

Les objectifs liés au projet ISTA3 sont :

- Améliorer la compétitivité des Sous-Traitants de l'Aéronautique,
- Développer des solutions originales permettant d'aller vers l'excellence, tester ces solutions et évaluer leur
- Valeur ajoutée industrielle pour combattre les menaces potentielles sur les sous-traitants,
- Renforcer la synergie et la communication entre les acteurs de la Sous-Traitance et avec l'Avionneur,
- Favoriser la réduction du cycle de développement d'un avion,

- Développer une offre formation de qualité,
- Développer des produits logiciels dans l'environnement libre (open source)

Partenaires : GFI Adelior (Chef de projet), EBM Websourcing (développement logiciel), Université de Bordeaux 1, Ecole Centrale de Nantes, Université de Nantes, ESTIA, ENI de Tarbes (académiques), CNAM Pays de Loire (centre de formation), HP Composites, JTT et Sysméca (industriels utilisateurs).

Acteur expert : *ATLAS (Aides et assisTances pour la conception, la conduite et leur coupLage par les connAissanceS)*
Chef de projet ESTIA en remplacement d'un partenaire, prévu mi-2009

Projet national de recherche de 3 ans Janvier 2008 à janvier 2011
Budget : 3 M€, dont financement 2 M€
Part ESTIA : 1,2 M€, dont financement 70 k€
Projet labellisé par l'ANR, de type exploratoire en 2007

Développement d'un prototype de système d'information collaboratif couplant la conception du produit et la conception du projet. Projet exploratoire labellisé par le RNTL - MENRT.

Partenaires : Académiques : IMS/LAPS (U. Bordeaux-1), LATTIS (INSA, Toulouse), LAAS (CNRS, Toulouse), LGP (ENI Tarbes), CGI (EMAC, Albi)

Industriels : Sigma Plus (Toulouse), Anyware Technologies (Toulouse), Pulsar Innovation (Toulouse)

ESTIA n'était pas un partenaire direct au départ mais C.Merlo, chercheur à IMS/LAPS, a été impliqué dans ce projet pour assurer le transfert de connaissances du projet IPPOP et comme expert pour les spécifications logicielles. L'un des éditeurs partenaires étant sorti du consortium fin 2008, ESTIA a alors intégrée le consortium en juin 2009. ESTIA aura en charge le développement de la base de données.

Chef de projet ESTIA et responsable des liens avec les partenaires espagnols :
MOBYTEAM (Mobile software solutions for new forms of team work)

Projet européen de R&D Mai 2008 - fin 2010
Budget total : 1,2 M€ (projet accepté en décembre 2007)
dont financement 780 k€, ESTIA est sous-traitante de SIG-Image et Copelec.
Projet européen de type eTranet, géré en France par OSEO.

Le but du projet est de concevoir et développer de nouvelles solutions mobiles pour les secteurs de la construction et des travaux publics. Les solutions développées en France concernent le domaine des Systèmes d'Information Géographiques et en particulier le travail collaboratif entre les différents intervenants dans un projet de travaux publics.

Partenaires : SIG IMAGE (intégrateur de solutions SIG, France), COPELEC (entreprise utilisatrice d'électrification, France), ESTIA (sous-traitance systèmes d'information, France),

IPARBIT (intégrateur de solutions mobiles, Espagne), LANIK (entreprise utilisatrice en construction de bâtiments, Espagne), MIK (centre technologique, Espagne).

Acteur *dans le projet HOBBYHORSE*

Projet européen de R&D Mai 2008 - fin 2010
Budget total : 1,3 M€ (projet accepté en décembre 2007)
dont financement 460 k€, ESTIA est sous-traitante de l'UTT
Projet européen de type eTranet, géré en France par OSEO.

Le but du projet est le développement d'outils méthodologiques et d'une plateforme logicielle pour la gestion intégrée du co-développement (co-design) basé sur la relation client. Cette plateforme partagera les concepts issus des outils de CRM (Customer Relationship Management) et des outils du PLM.

Partenaires : UTT (Troyes, Fr), PI3C (Chalons, Fr), Knowllence (Goux les Usiers, Fr), LKS (Bilbao, Es), ISEA (Mondragon, Es) et Orbea (Mallabia, Es).

Chef de projet : *BILIMERI (Bidart – Lima – Medellin Red Internacional)*

Projet international à but pédagogique Janvier 2008 – Décembre 2009
Budget total : 26 k euros
Projet de type PREFALC, destiné à financer des projets de formation initiale de niveau Master en Amérique Latine par des enseignants français. Ces collaborations doivent permettre de développer de nouvelles actions dans le domaine de la recherche scientifique et du transfert de technologie.

Ce projet a pour but de proposer des enseignements de Master 1 et 2 dans les filières informatiques. ESTIA est le partenaire contractant qui assume la coordination du projet.

Partenaires : ESTIA et UPPA (France), Universidad Nacional Mayor San Marcos, faculté d'informatique (UNMSM, Lima, Pérou) et Universidad de Antioquia, faculté d'informatique (Medellin, Colombie).

Chef de projet : *« Etude et élaboration d'un environnement collaboratif pour la conduite de la conception de systèmes complexes dans un contexte d'ingénierie simultanée »*

Projet de recherche Fin 2007 à fin 2009
Budget : 8k€ dont financement 5 k€
Financé par le Conseil Régional Aquitaine

Projet dont seul le volet investissement a été accepté en 2007.

Chef de projet : *Ederena Concept*

Projet de recherche finalisée Avril 2005 - octobre 2006
Budget : 37 k€ dont financement ESTIA 18 k€
Financé par le Conseil Régional Aquitaine (EITICA).

Maîtrise de l'organisation et des processus de développement de produits en PME : en partenariat avec la société Ederena Concept. Projet co-financé par l'entreprise et le Pôle EITICA, qui vise à accompagner Ederena Concept dans l'amélioration de ses processus de conception/industrialisation et du système d'information associé, tout en étudiant les mécanismes collaboratifs et leur pilotage par le chef de projet.

Acteur *du projet E3 (Ecubed, Electronically Enhanced Education in Engineering)*

Projet européen à but pédagogique, Octobre 2002 - Mars 2005
Budget ESTIA : 79 k€, dont financement ESTIA 43€
Projet européen de e-learning 'Electronically Enhanced Education in Engineering' financé par une Action Minerva du programme européen EC-SOCRATES

Mise en œuvre de nouvelles techniques pédagogiques, intégrant de l'enseignement à distance et en face à face. Ma participation se traduit par l'élaboration d'un module de e-learning portant sur l'apprentissage des SGDT.

Partenaires : Cranfield University (UK), porteur du projet, Université de Porto (Portugal), Université de Linköping (Suède) et ESTIA.

Chef de projet pour ESTIA : *IPPOP - Intégration Produit-Processus-Organisation pour l'amélioration de la Performance en ingénierie*

Projet national de recherche, financement ANR Décembre 2001 à juin 2005
Budget : 3 M€, dont financement 2 M€
Part ESTIA : 0,5 M€, dont financement 210 k€
Projet labellisé RNTL de type exploratoire

Concevoir et prototyper un système d'information collaboratif pour l'ensemble des acteurs de la conception, synthétisant les trois dimensions produit, processus et organisation.

Partenaires :

Académiques : LAP/GRAI et LMP de Bordeaux 1 ; LASMIS, UTT de Troyes ; L3S de Grenoble ; CRAN de Nancy

Industriels : ESTIA Innovation et OpenCascade pour l'élaboration du système d'information ; Alstom Moteurs et EADS-CCR comme utilisateurs finaux ; GOSET pour la promotion auprès de la norme internationale STEP

J'interviens au titre du LIPSI comme chef de projet « scientifique » et correspondant pour les spécifications techniques entre le CRT ESTIA Innovation, en charge du développement des IHM, et les partenaires académiques qui réalisent l'intégration des différents travaux de recherche.

Acteur *du projet PICOOP*

Projet transfrontalier de recherche Septembre 2002 – août 2003
Budget : 15 k€
Financé par le Conseil Régional Aquitaine

Projet transfrontalier Aquitaine-Euskadi destiné à promouvoir les échanges scientifiques entre ESTIA Recherche et le centre de recherche MIK, sur les thèmes de la gestion des connaissances et du management de l'entreprise étendue et communicante par les connaissances.

Partenaires : ESTIA Recherche et MIK, Espagne.

2.3.3. Les collaborations industrielles de transfert de technologie

2.3.3.1. Collaborations depuis 2000 (ESTIA Recherche)

Acteur et expert scientifique : *Opération collective PLM en aquitaine*

Projet de transfert Nov. 2003 – nov. 2007
Budget : 840 k€, financement DRIRE 420 k€

Participation au montage et au lancement d'une opération collective portée par le CRT ESTIA Innovation, soutenue par la DRIRE Aquitaine, visant à la promotion des technologies PLM au sein des PMI/PME d'aquitaine. J'interviens en tant qu'expert-support pour le CRT ESTIA Innovation afin de transmettre mes compétences à l'équipe mise en place. L'un des membres de cette équipe est un étudiant en thèse CIFRE avec le LASMIS/UTT dont j'assure l'encadrement de proximité. A ce titre nous prévoyons également de collaborer sur certains projets industriels ayant une problématique susceptible d'être exploitée à un niveau recherche. C'est déjà le cas avec l'entreprise EDERENA, concevant et commercialisant des produits à base de panneaux en nids d'abeille. Ce programme a démarré en novembre 2003 pour 2 ans, avant d'être prolongé de 2 ans supplémentaires.

Acteur et responsable technique : *ISGA*

Projet de transfert : 45 k€ Décembre 2005 – sept. 2006
Financement par l'entreprise destinataire de la prestation

Etude, modélisation et diagnostic du processus de gestion des affaires nouvelles dans le domaine des services avec une perspective d'ingénierie simultanée. Je suis intervenu dans le cadre d'une équipe multi-disciplinaire mixte ESTIA-Graphos.

Chef de projet : *DCB*

Projet de transfert : 9.6 k€ Mai - septembre 2005
Financement du Pole ACTION via une Prestation Technologique Réseau)

Appui technique pour l'analyse et l'accompagnement technique à la mise en place d'un projet de développement de logiciels DAO et de commande numérique pour des machines de découpe jet d'eau. ESTIA Recherche encadre des étudiants chargés de mener l'audit actuel de l'entreprise sur ces domaines techniques en vue de la définition des orientations stratégiques de la société.

Chef de projet : *Ederena Concept*

Projet de transfert : 2 k€ Avril - juin 2004
Financement par l'entreprise destinataire de la prestation

Partenariat entre l'entreprise Ederena Concept et ESTIA, intitulée « Assistance à l'analyse et à l'amélioration du système d'information de l'entreprise pour le développement de produits ». Mission de 3 mois destinée à analyser l'organisation de l'entreprise et son fonctionnement relativement aux processus de développement de produits, afin de soumettre des propositions d'amélioration.

Chef de projet : *TURBOMECA*

Projet de transfert à finalité pédagogique : 20 k€ Mars à Septembre 2003.
Financement par l'entreprise destinataire de la prestation

Réalisation de la formation à l'outil de maquette numérique Product View dans le cadre de la formation continue, au personnel de Turboméca lors du déploiement du SGDT Windchill.

Chef de projet : *SCHLUMBERGER SEMA*

Projet de transfert à finalité pédagogique : 1.8 k€ 2002 - 2003
Financement par l'entreprise destinataire de la prestation

Elaboration du programme de formation et des supports associés pour les services de R&D et les sites de production de cartes à puce de la filiale Schlumberger Sema Cards, spécialisée dans la conception-production de cartes à puce, dans le cadre du déploiement du SGDT Windchill.

Acteur et expert scientifique : *MMP (sous-traitance aéronautique)*

Projet mixte recherche – transfert : 48 k€ (FRATT) Janvier à Septembre 2002
Financement par l'entreprise destinataire de la prestation

Modélisation des systèmes de production et de conception de l'entreprise à l'aide des modèles GRAI, dans le cadre d'un schéma directeur réalisé par le CRT ESTIA Innovation. Ce contrat a constitué l'un des cas d'étude de ma thèse de doctorat.

2.3.3.2. Collaborations antérieures à 2000 (ESTIA Innovation)

Contrats industriels de 1990 à 2000 :
Consultant et chef de projet sur les projets multi-partenaires

Moule Développement : 9 k€ (procédure Atout Logic) 1999
Entreprise de production de moules pour fonderie. Audit du bureau d'études et choix des applications CAO et FAO.

GERPRO : 25 k€ FRATT (Fonds Régional d'Aide au Transfert de Technologie) 1999
Accompagner cette entreprise à basculer d'une activité de gravure à plat à une activité de maquettage 3D en acquérant de nouveaux moyens de CFAO, de prototypage rapide et de production de maquettes et une nouvelle méthode de travail.

MOD8 : 4 k€ (FRAC, Fonds Régional d'Aide au Conseil) 1998
Entreprise de fabrication de chaussures. Audit de l'entreprise et choix des applications CFAO.

SAT : 1 k€ 1996
Fabrication de cartes électroniques, modems… Formation à l'administration de stations Unix.

PCC France : 2.5 k€ 1995-1996
Entreprise de fonderie à cire perdue. Aide au choix de la CAO.

OLABERRIA : 6 k€ (procédure Logic Intégration) 1995-1996
Entreprise de moules. Audit de l'entreprise et évaluation des applications CAO et FAO, ainsi que des capacités d'échanges de données avec les clients.

SOMOCAP : 4 k€ (PTR Prestation Technologique Réseau ACTION) 1995-1996
Entreprise d'injection plastique. Audit du service conception/industrialisation et choix d'un outil CAO.

Lecomble & Schmitt : 5 k€ (procédure Logic Intégration) 1995
Entreprise développement des équipements pour les bateaux de plaisance. Audit du bureau d'études et choix d'une application CAO.

SUDEC : 4 k€ (procédure Logic Intégration) 1994
Entreprise de fabrication de barres métalliques. Aide au choix d'un outil CFAO.

ESKULANAK : 3 k€ (PTR) 1994
Entreprise de tôlerie industrielle pour l'aéronautique. Mise au point des mécanismes de conversion automatisés entre des modèles Catia 3D et l'outil 2D de l'entreprise.

BABY RELAX : 8 k€ 1994
Entreprise concevant, produisant et commercialisant des produits de grande puériculture (poussettes, landaus, sièges auto…). Aide au choix d'un nouvel outil CAO.

CDI ADOUR : 24 k€ (FRATT) 1993-1995
Projet d'accompagnement lors de la création d'un centre collectif de découpe du cuir et des textiles, pour le choix des outils CFAO permettant de piloter les machines de coupe.

COPELEC : 10 k€ (FRATT) 1993-1994
Entreprise d'électrification de lignes. Schéma directeur informatique et choix d'une solution de CAO / SIG.

Projets de coopération ou Opérations collectives (de 1990 à 2000) :
Consultant et chef de projet sur les projets multi-partenaires

Collaboration avec Tekniker sur les EDI : 15 k€ 1999
Projet transfrontalier Aquitaine-Euskadi avec le centre technique Tekniker

Développement d'un prototype logiciel de simulation des échanges commerciaux et administratifs normalisés par EDI.

EPRA puis DEPRA : 40 k€ 1994-1996 puis 1998-2000
Opérations collectives financées par la DRIRE aquitaine

A destination des PMI/PME d'aquitaine, actions d'études et de sensibilisation aux technologies de prototypage rapide et de stéréolithographie. Plusieurs dizaines d'entreprises visitées, sensibilisées ou ayant expérimenté ces technologies. Partenaires : BDE Adour (gestionnaire projet) et ENSAM Bordeaux (état de l'art technologique).

ARECIBO : 35 k€ 1996-1997
Opération collective financée par la DRIRE aquitaine

A destination des sous-traitants aéronautiques aquitains (10 PME) de Dassault Aviation, études en vue de rationaliser les flux d'échanges de données techniques de type CAO entre ces entreprises.

Les PME impliquées : SEPS (bureau d'études, Serres-Castets, 64), Figeac Aéro (sous-traitance aéro, Figeac, 47), Eskulanak (tôlerie industrielle, Ayherre, 64), BEAT (bureau d'études, Ste Foix d'Aigrefeuille, 31), CEMA (Bureau d'études, Tarnos, 40), MAP (sous-traitance mécanique, Pau, 64), PRECIMECAN (mécanique de précision, Biarritz, 64), SEIV (bureau d'études, Bordeaux, 33), STAERO (usinage de pièces mécaniques, Bayonne, 64), Potez aéronautique (sous-traitance aéro, Aire sur Adour, 40).

Collaboration avec l'Ecole Polytechnique de Mondragon : 15 k€ 1994
Projet transfrontalier Aquitaine-Euskadi

Etude de l'intégration des données entre systèmes hétérogènes CFAO-Calcul et développement d'une interface logicielle entre la CAO Unigraphics et le logiciel de calcul Cosmos.

Opération collective « Etude d'opportunité CAO » : 19 k€ 1993-1994
Programme LEADER en Soule : Feder + FRAC

Opération collective menée auprès d'entreprises de Soule souhaitant évaluer l'apport d'outils CAO dans leurs métiers : chaussure (DON QUICHOSSE), fonderie (Bertoni, Etchandy), électromécanique (DAL, EBL, EMECA, SEMS) et tissage (Tissages du Saison) et charpente métallique (ALKAR).

Programme « Echanges de données techniques » : 20 k€ 1990-1992
Programme européen SPRINT

En partenariat avec le Centre de R&D Ikerlan (Espagne) et avec le CADDETC, Centre Technique basé à Leeds (UK), étude des problèmes d'échanges de données CAO entre donneurs d'ordre et sous-traitants à travers les standards IGES et SET. Les entreprises impliquées dans les tests ont été notamment CEMA (Bureau d'études, Tarnos, 40), STAERO (usinage de pièces mécaniques, Bayonne, 64), PRECIMECAN (mécanique de précision, Biarritz, 64), CHARRITON (tolerie, Ayherre, 64), Creuzet (sous-traitance aéro, Marmande), Potez aéronautique (sous-traitance aéro, Aire sur Adour, 40).

3. SYSTEMES D'INFORMATION SUPPORTS AUX ACTEURS DE LA CONCEPTION

Mon parcours professionnel m'a dès l'origine entraîné vers l'enseignement avant de s'orienter par la suite vers la recherche. Toutefois mes études ne m'avaient pas destiné à une telle issue. Mon parcours est donc atypique dans la mesure où après une dizaine d'années comme consultant en entreprise et enseignant dans des filières de 3e cycle, j'ai passé un DEA puis une thèse de doctorat au sein du laboratoire LAPS de l'Université de Bordeaux 1, thèse obtenue en 2003.

Mon positionnement s'est tout d'abord construit sur les bases de l'expérience acquise comme consultant au CRT ILS, à travers des problématiques d'implantation de nouveaux systèmes informatiques pour le développement de produits en entreprises et en particulier en PME. Ce furent le plus souvent des outils de type CAO, mais aussi des outils FAO ou de calcul numérique, avant l'arrivée des SGDT. Les secteurs d'activités de mes interventions ont été très étendus puisque j'ai travaillé avec des entreprises de mécanique mais aussi des entreprises de chaussure, de découpe de tissus, de design, de structures métalliques, d'électrification… J'ai eu également à gérer des problématiques industrielles collectives dans le domaine des échanges de données techniques et de l'implantation de nouvelles technologies comme le prototypage rapide ou la numérisation de formes.

Avec l'expérience acquise année après année, il m'est apparu que les solutions qu'il était possible de proposer aux entreprises étaient insuffisantes pour véritablement faire progresser les entreprises. L'offre du marché me paraissait répondre à des besoins partiels et à court terme et manquait de vision globale sur ce qui pouvait rendre plus performante l'entreprise dans sa globalité. Cette insatisfaction m'a conduit à m'intéresser aux activités de recherche : pouvoir appréhender les problèmes industriels avec un recul et une vision d'ensemble m'ont semblé nécessaires pour apporter des solutions globales visant à améliorer durablement les performances de l'entreprise. Mon DEA puis ma thèse m'ont alors permis de passer une étape supplémentaire au cours de laquelle l'approche GRAI pour la conception a fourni un cadre conceptuel et méthodologique servant de levier pour intégrer différents points de vue essentiels pour maîtriser les processus de conception :

- **la prise en compte du facteur humain et les mécanismes collaboratifs ;**
- **la coordination des projets et la prise en compte de la performance ;**
- **la caractérisation d'environnements d'assistance proactifs construits par une approche de capitalisation des connaissances ;**
- **le déploiement de solutions en entreprise, comme l'étude des systèmes PLM.**

La thématique de recherche que j'ai alors développée, « **l'étude et la mise en œuvre d'environnements d'assistance pour les acteurs de la conception, dans un contexte de conduite de la conception** », se trouve à la croisée de différents domaines comme la modélisation d'entreprise, le management de projets, la conception de systèmes d'information ou l'étude des facteurs humains. Dans une première section je poserai donc les éléments sur lesquels reposent mes travaux de recherche et je préciserai la démarche

scientifique sur laquelle je m'appuie avant d'introduire brièvement mes différentes contributions.

La seconde section de ce chapitre abordera de façon détaillée les différents axes de mes travaux et contributions :

- **l'axe « système »** qui traitera de la conduite de la conception et de la méthodologie GRAI Ingénierie ;
- **l'axe « environnements d'assistance »** qui se focalisera sur la proposition de systèmes d'information pour la conduite et pour les acteurs de la conception ;
- et enfin **l'axe « acteurs »** qui traite du facteur humain et aborde l'étude des mécanismes collaboratifs entre les acteurs de la conception.

Tout au long des résultats présentés, je tenterai de montrer comment ces différentes contributions sont complémentaires et s'articulent pour répondre à une seule et même problématique, celle de proposer des environnements informatiques qui vont permettre simultanément d'améliorer la conduite des systèmes de conception et de favoriser la collaboration entre les acteurs dans leurs activités métiers.

La troisième section viendra synthétiser ces éléments pour rappeler le schéma de recherche global poursuivi et ouvrir sur les perspectives de nouveaux travaux qui viendront compléter ce schéma de référence.

Enfin, dans cette première section où la problématique est posée, de nombreuses références sont mentionnées chaque fois qu'est évoqué un élément développé soit dans les sections scientifiques de ce chapitre, soit dans la liste détaillée de mes activités du chapitre précédent.

3.1. CONTEXTE ET PROBLEMATIQUE

3.1.1. De la conduite des systèmes à la thématique de recherche

La conception est une phase essentielle du cycle de vie du produit [AFNOR 94]. De nombreux travaux ont ainsi mis en évidence l'influence de la conception sur l'industrialisation, les coûts et les délais de production [Clautrier 91] [Tichkiewitch et al. 93], les efforts de commercialisation et les activités de maintenance, de service après-vente ou de recyclage du produit en fin de vie. Selon [Baglin et al. 96], 75% des coûts du cycle de vie d'un produit sont prédéterminés à la fin de la phase de conception et sont directement imputables aux prises de décision qui ont eu lieu, et durant cette phase 40% d'économies peuvent être réalisées. Améliorer la performance de ce processus d'ingénierie, c'est donc avoir un impact important sur l'ensemble de l'entreprise. Pour cela, il faut pouvoir identifier les éléments qui contribuent à sa performance. Plusieurs vecteurs d'amélioration sont ainsi explorés tels que :

- à un niveau global : la rationalisation des processus eux-mêmes et l'organisation des projets et des hommes, en vue de répondre à des objectifs clairement définis, en s'appuyant sur des environnements informatiques supportant les flux d'information correspondants,
- à des niveaux plus opérationnels : la coordination des équipes de concepteurs, la prise en compte de leurs compétences et de leur évolution, le suivi de leurs activités et la mise en œuvre d'outils facilitant leur coopération pour la génération et la maîtrise de la connaissance nécessaire à la définition du produit.

Le pilotage de la conception est lié à cette recherche d'amélioration des processus suivant des objectifs identifiés. Il implique la mise en place de critères d'évaluation en fonction des points de vue adoptés vis-à-vis du processus. Mais si le pilotage se place au niveau du processus, la conduite de la conception [Girard 99] se situe au niveau du système de conception dans son ensemble et constitue une démarche globale d'amélioration continue de ce système.

La notion de conduite de la conception est une notion très récente, postérieure à celle de pilotage des systèmes de production et même de pilotage de la conception. L'élément fédérateur de cette intégration est l'homme : créateur, acteur et décideur. Il apparaît dans de nombreux travaux tels que ceux de [Lorino 96] où « *piloter, c'est définir et mettre en œuvre des méthodes qui permettent d'apprendre ensemble, d'agir ensemble de manière performante, d'agir de manière de plus en plus performante* ». C'est pourquoi notre réflexion sera centrée sur l'homme et cette dimension intégrée dans nos investigations. La conduite constituant une approche plus globale d'amélioration de la conception, le facteur humain est là aussi essentiel : assurer le succès de cette démarche c'est « *faire en sorte que chacun se sente concerné, qu'il y ait adéquation entre les actions, les comportements et les objectifs de l'entreprise* » [Girard 99]. Afin de déployer la stratégie de l'entreprise auprès des acteurs, il faut être capable d'évaluer la part de la valeur que devra atteindre le produit réalisé, et mettre en évidence les liens causes-effets qui engendrent un niveau de performance de façon à développer une capacité d'évaluation et de diagnostic (figure 1).

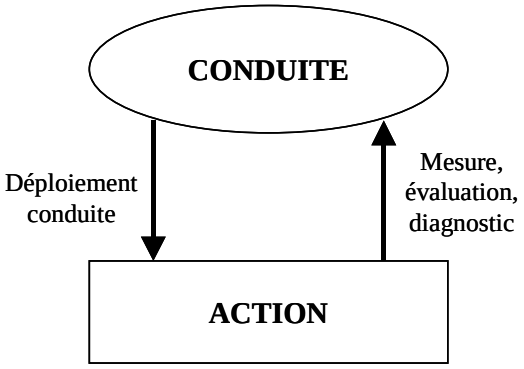


Figure 3. Liens entre stratégie et action

Dans ce cadre de conduite, il est indispensable pour les acteurs de la conduite de disposer d'un retour informationnel portant sur les activités de conception afin de contrôler le processus d'ingénierie [Eynard 99]. Toutefois ces acteurs doivent pouvoir considérer l'ensemble des vecteurs d'amélioration potentiels afin de prendre les mesures favorisant la performance du système de conception en fonction d'objectifs de conception clairement identifiés. Pour atteindre ces conditions, il est nécessaire de proposer aux acteurs une démarche opérationnelle qui les guide dans leurs activités de décision ainsi que les outils leur permettant d'assurer ces activités. Ainsi les flux d'information entre les acteurs supporteront le partage des informations pertinentes pour améliorer la performance du processus d'ingénierie.

En ce sens nous entendons la conduite comme une approche globale qui permet de mettre en évidence les éléments de la performance du système de conception dans son ensemble. La conduite englobe les mécanismes de pilotage qui à différents niveaux et avec plusieurs points de vue agissent sur ces éléments de performance [Lorino 96]. Proposer des mécanismes de conduite d'un système, c'est en premier lieu modéliser ce système pour savoir où porter le regard. C'est ensuite savoir décrire le fonctionnement du modèle afin de déterminer sur quels facteurs agir pour le faire évoluer. Enfin, c'est aussi mettre en place des outils méthodologiques et opérationnels capables d'exploiter le modèle en situation réelle.

Ma thématique de recherche s'intéresse à la mise en œuvre pratique de la conduite de la conception : je m'intéresse donc au facteur humain à double titre. L'homme est à la fois le moteur de la conception et doit être assisté par des outils lui permettant de remplir les objectifs qui lui sont confiés, et à la fois une ressource qu'il faut conduire et piloter. L'étude et la mise en œuvre d'environnements d'assistance pour les acteurs de la conception est donc un objectif scientifique qui correspond dans le même temps à l'une des activités des acteurs de la conduite de la conception. L'accent est donc mis sur l'étude sociotechnique des processus de conception et sur la prise en compte des multiples facteurs venant influencer les acteurs dans leurs activités.

Mon expérience industrielle passée m'a montré le besoin d'une approche globale et fédératrice, c'est pourquoi je distingue trois axes complémentaires (figure 2) pour étudier et proposer des environnements d'assistance :

– la prise en compte du système de conception dans son ensemble, de façon à étudier les organisations et leurs impacts sur la conception : c'est l'axe « **système** » qui fait

appel à la systémique et à la modélisation d'entreprise, mais aussi aux aspects socio-techniques liés aux relations entre les acteurs au sein d'équipes et de groupes et aux compétences individuelles et collectives ;

- la proposition d'outils informatiques répondant à des besoins particuliers de conception ou de systèmes d'information transverses destinés à accompagner la conduite, qui doivent dépasser leur rôle traditionnel d'outils pour devenir une réelle assistance à la conception : c'est l'axe « **environnements d'assistance** » ou outils ;
- l'étude des mécanismes collaboratifs entre les acteurs de la conception qui va permettre aussi bien de formaliser et modéliser des connaissances et besoins pour les autres axes mais aussi accompagner les acteurs dans leur intégration de nouveaux outils méthodologiques ou logiciels : c'est l'axe des « **acteurs** ».

Ces trois axes complémentaires participent à ma thématique de recherche, « **l'étude et la mise en œuvre d'environnements d'assistance pour les acteurs de la conception, dans un contexte de conduite de la conception** », et permettent de structurer les travaux poursuivis et les principales contributions qui en résultent.

Le premier axe et le troisième, étroitement liés, seront développés respectivement aux §1.2 et 1.3, alors que le second axe, qui s'appuie sur les résultats des deux premiers axes, sera traité dans le §1.4.

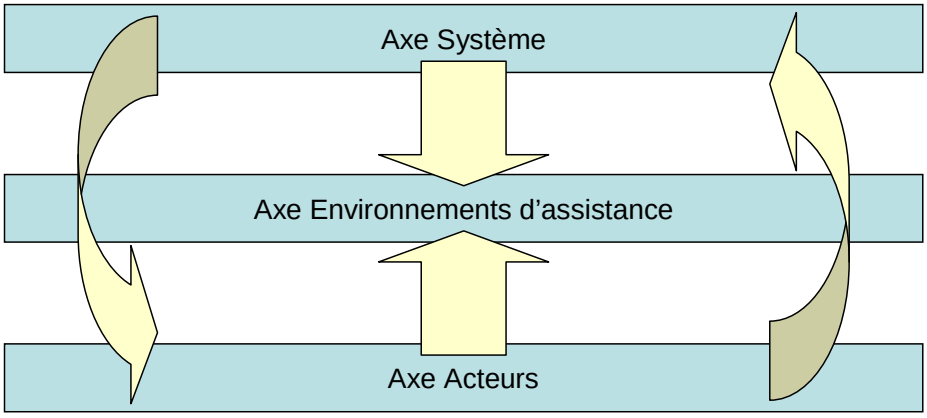


Figure 4. Mes trois axes de recherche et leurs connexions

3.1.2. La méthodologie de recherche suivie

Lors de ma thèse de doctorat j'ai intégré et appliqué la démarche de ré-ingénierie préconisée par mon directeur de thèse, qui visait à distinguer l'approche du consultant, à laquelle j'étais habitué, de l'approche du scientifique, que j'ai peu à peu acquise. Ce fut l'objet de mon étude de cas (projet MMP, §2.3.3.1). Résumée dans la figure 3, cette approche part du constat que la conduite de la conception relève de la recherche appliquée et que nous ne pouvons progresser dans nos travaux qu'en travaillant avec et pour les entreprises. Elle vise à étudier une problématique industrielle donnée non pas directement mais en la généralisant par une modélisation adéquate et à la résoudre à ce niveau générique avant d'appliquer les solutions dans le contexte spécifique de l'entreprise. Il faut

prévoir dans les solutions préconisées les mécanismes d'évaluation et d'évolution qui permettront de faire évoluer dans le temps le système étudié.

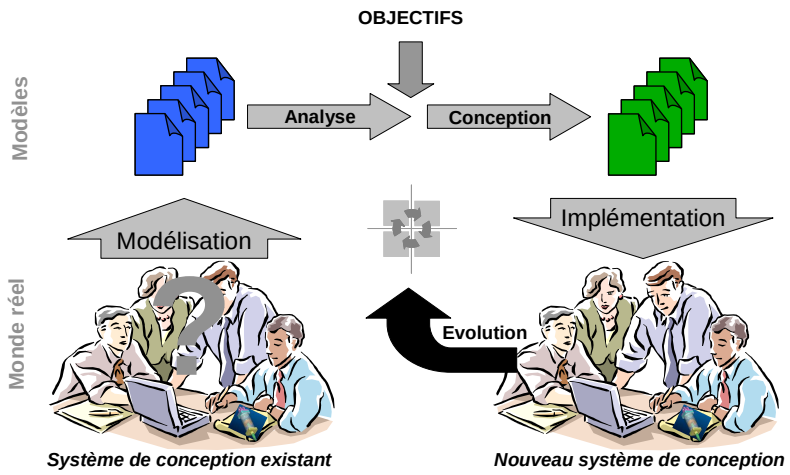


Figure 5. Démarche scientifique de ré-ingénierie

La collaboration engagée avec Jérémy Legardeur lors de son post-doctorat en 2003 a été l'occasion de réfléchir à cette approche à travers l'étude et la caractérisation de mécanismes de coordination et de coopération dans les processus de conception. C'est ainsi que nous avons formalisé une méthodologie plus précise. Notre démarche est basée sur l'observation participante et sur la recherche-action en terrain industriel [Boujut & Tiger 02], ce qui sous-entend une présence sur le terrain importante, auprès des acteurs de la conception. Elle se décompose en 5 étapes (figure 4) et a par exemple été mise en œuvre dans des projets de recherche (thèse de G.Pol, §2.2.2) comme dans des projets industriels (ISGA, §2.3.2) :

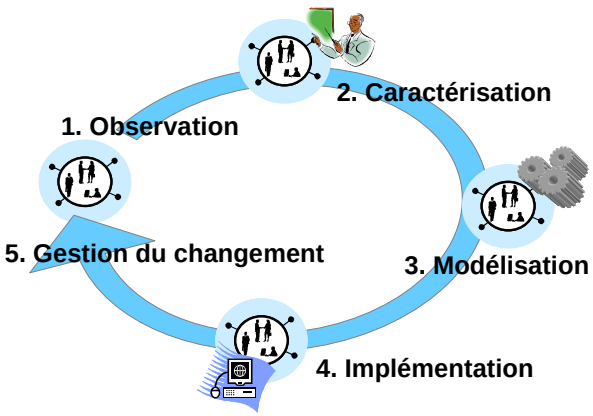


Figure 6. Les cinq étapes de la méthodologie de recherche

1. Observation des pratiques et des activités dans des situations effectives de conception en industrie, afin d'analyser les processus et de décrypter les mécanismes sociotechniques entre acteurs dans la dynamique complexe des projets de conception.
2. Caractérisation fine des processus de conception à partir des observations et en tenant compte des contextes dans lesquels ils se déploient. Il s'agit de mieux

comprendre la nature de l'action collective en conception et d'identifier les premiers paramètres et facteurs descriptifs des processus observés.

3. Formalisation des processus collaboratifs à l'aide de modèles qui décrivent les phénomènes observés, mais qui tiennent compte du caractère peu prédictible et donc peu stabilisé de l'activité des acteurs dans les organisations.
4. Instrumentation des processus collaboratifs en conception, sur la base des résultats issus des deux premières étapes de notre méthodologie. Cette étape vise à proposer de nouveaux dispositifs (outils, modèles, méthodes) afin d'améliorer les pratiques observées.
5. Test et retour sur l'usage des outils, modèles, méthodes et des pratiques améliorées. Cette mise en usage de nos propositions s'articule également autour d'une recherche de dispositifs d'accompagnement au changement de façon à les pérenniser.

Pour chacun des trois axes précédemment identifiés, les travaux menés se sont appuyés sur cette méthodologie et celle-ci guidera la présentation des principaux résultats. C'est cette démarche que je préconise aux personnes, étudiants, doctorants ou partenaires de projet, avec lesquelles je travaille et/ou que je supervise.

3.1.3. Les principales contributions

Avant de détailler les travaux menés, il est important de résumer brièvement les principales contributions que j'ai pu apporter afin de faciliter la lecture des sections suivantes. La figure suivante sera le support de ce résumé. Pour chaque axe, les contributions sont réparties en fonction des différentes phases de la démarche scientifique suivie. Les contributions les plus importantes sont indiquées sur fond grisé et les contributions partielles sur fond à double barre.

Les contributions sont présentées axe par axe, et une figure synthétique conclut chaque présentation d'axe.

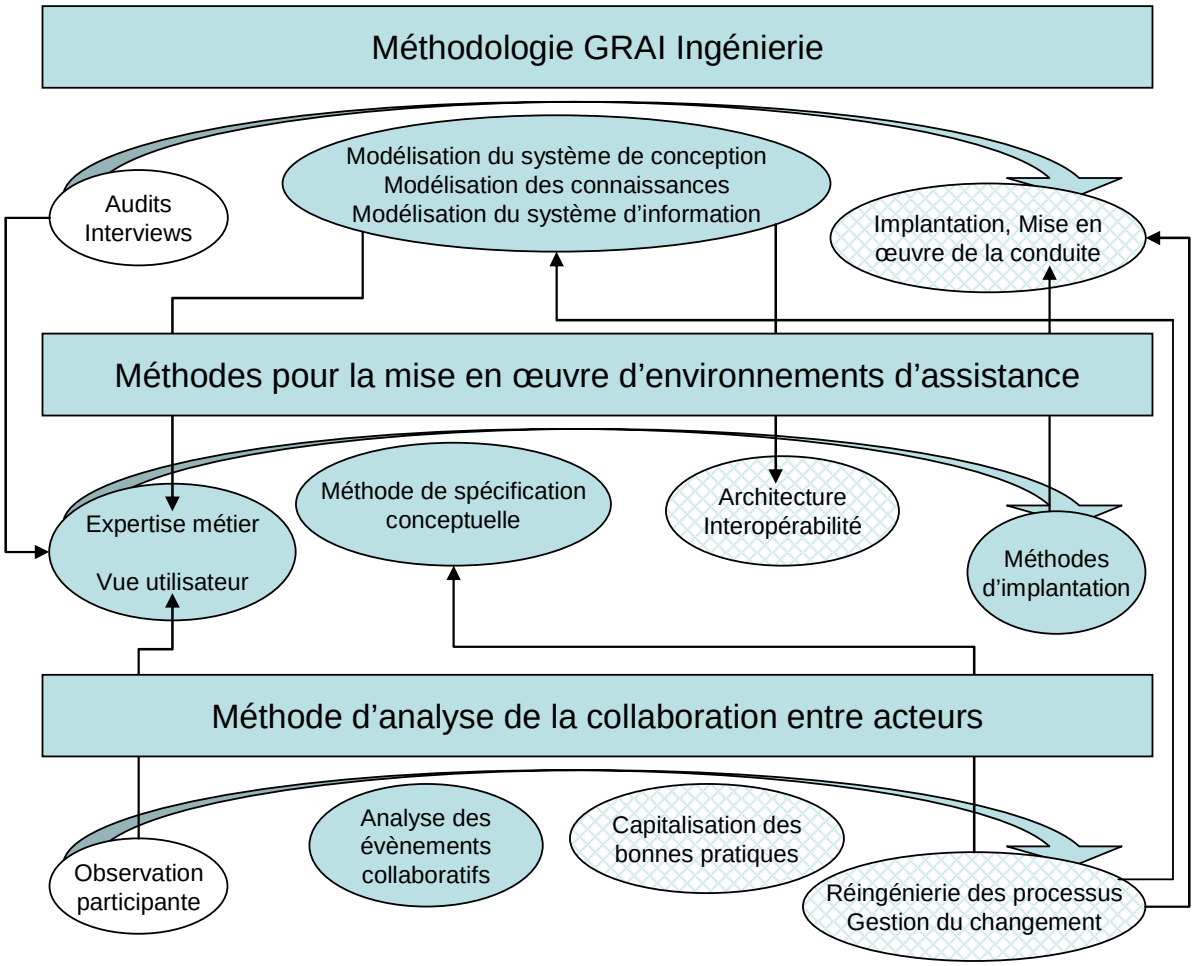


Figure 7. Contributions scientifiques relatives aux 3 axes de recherche

Contributions suivant l'axe « système » en conduite de la conception

La conduite de la conception [Girard 99] se situe au niveau du système de conception dans son ensemble et constitue une démarche globale d'amélioration continue de ce système. En ce sens elle englobe de nombreux aspects comme le pilotage du processus de conception [Lorino 96] et la coordination de la conception [Coates et al. 00]. Les travaux menés en conduite ont pour contexte la modélisation d'entreprise et la conduite des systèmes [Doumeingt 84] via la méthode GIM, et poursuivent les travaux engagés par [Girard 99] et [Eynard 99]. Les modèles élaborés par ces derniers posent les principes de la conduite d'un système de conception et la nécessité de modéliser non seulement son système décisionnel mais aussi son système technologique afin d'assurer la traçabilité des informations produit et processus.

Contributions : méthodologie GRAI Ingénierie ; modélisation des connaissances pour la conduite

Ma principale contribution porte sur la formalisation de la méthodologie GRAI Ingénierie (figure 6) qui permet de rendre opérationnels ces principes en proposant une méthode de déploiement de la conduite de la conception basée sur un ensemble de modèles. En particulier j'ai proposé un modèle des connaissances nécessaires pour la conduite, permettant aux acteurs de la conception et aux acteurs de la prise de décision d'appliquer les mécanismes de conduite. Ce modèle s'appuie sur une représentation par niveaux de

complexité de type KADS [xxx] croisée avec une approche métier [Zacklad & Grundstein 01]. Ces contributions ont été validées par un projet industriel (MMP, cf §2.3.3.1). Un prototype logiciel a également été mis au point pour étudier la faisabilité d'introduire des agents logiciels (§1.4.2 et §2.2.5) dont le but est d'automatiser la gestion des connaissances au sein d'un système d'information pour la conduite, permettant au système d'anticiper les besoins métiers des utilisateurs.

La méthodologie GRAI Ingénierie impliquant la mise en œuvre d'un système d'information adapté, elle s'est vue complétée par les travaux menés dans l'axe « environnements d'assistance ». Le projet RNTL IPPOP (§1.4.3 et 2.3.2) a permis de faire évoluer ces travaux : d'une part le modèle des connaissances a intégré les résultats des laboratoires L3S (Grenoble), LASMIS (UTT), CRAN (Nancy) et LMP (Bordeaux) pour définir un modèle intégré produit – processus – organisation ; d'autre part un prototype logiciel a été développé pour démontrer la pertinence de la conduite de la conception. Enfin une méthode opérationnelle de type « gestion de projet » a été définie pour utiliser le prototype IPPOP et permettre la conduite au quotidien.

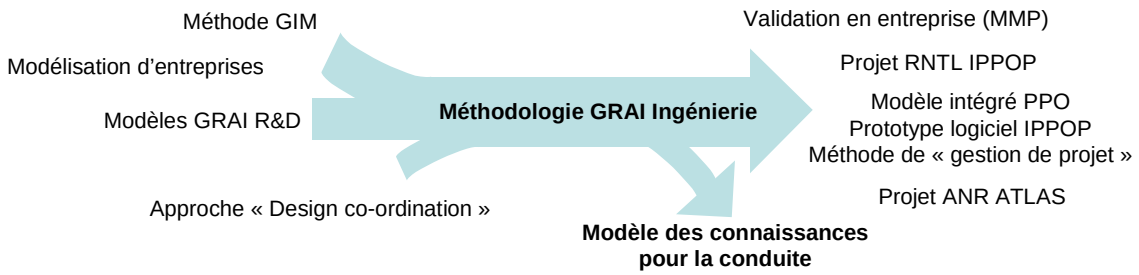


Figure 8. Axe « système », domaines de recherche supports, bilan des contributions et résultats

Contributions suivant l'axe « acteurs » pour l'étude de la collaboration

L'étude des mécanismes collaboratifs entre les acteurs de la conception a permis de développer plusieurs contributions. Cet axe est essentiel pour améliorer la mise en œuvre de la conduite. En effet la conduite affecte les activités d'acteurs humains qui ne sont pas de simples ressources : les gérer efficacement nécessite de bien comprendre et anticiper les facteurs humains venant modifier l'impact de la prise de décision.

Contributions : méthode d'analyse des mécanismes collaboratifs entre acteurs et de préconisations pour l'amélioration de la conduite ; modèles de collaboration et de coordination

Devant le constat qu'aucune démarche permettant la prise en compte du facteur humain n'existait, la principale contribution, élaborée dans le cadre de la thèse de G.Pol (rapport HDR, §2.2.2), consiste dans la formalisation d'une méthode d'analyse entre acteurs. Basée sur une approche socio-technique [Boujut & Tiger 02], elle vise à assurer la traçabilité des évènements collaboratifs de façon à mettre en évidence les bonnes pratiques et l'amélioration des dysfonctionnements constatés en vue d'accompagner le chef de projet dans sa prise de décision [McMahon et al. 04]. Ces améliorations portent par exemple sur le niveau de détail de représentation du processus de conception, sur la mise en évidence de critères de décision pour les chefs de projets et sur la spécification de fonctionnalités collaboratives pour les systèmes d'information de l'entreprise. Ces travaux ont été étendus grâce au projet industriel ISGA (§2.3.2), qui a permis d'étudier l'impact des réseaux informels d'acteurs sur la collaboration dans les projets.

Elaborée dans le cadre de la thèse de G.Pol (§2.2.2), cette méthode a été mise en œuvre dans le cadre de projets menés avec l'entreprise EDERENA. La contribution comporte la formalisation d'un modèle de la collaboration et d'un modèle pour la coordination, destinés à assurer la capture des mécanismes collaboratifs, leur analyse et la mise en œuvre des préconisations d'amélioration par les chefs de projet. Un logiciel, l'outil CoCa, a été développé (§1.3.3 et §2.2.5) pour permettre l'utilisation effective de ces modèles. Les résultats obtenus grâce à ces travaux ont été exploités dans les travaux de l'axe « environnements d'assistance » : spécifications de processus au sein d'outils PLM (§1.4.3), intégration de fonctionnalités collaboratives dans les prototypes logiciels pour la conduite de la conception, …

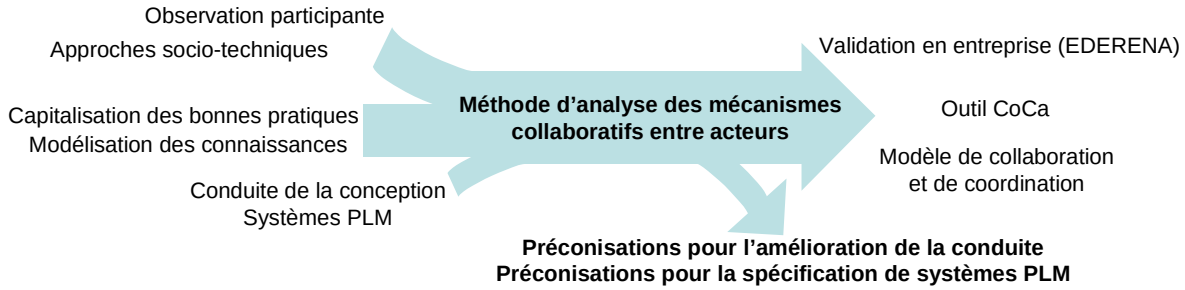


Figure 9. Axe « système », domaines de recherche supports, bilan des contributions et résultats

Contributions suivant l'axe « environnements d'assistance » supports à la conduite et à la collaboration en conception

L'axe « environnements d'assistance », qui exploite les travaux menés dans les autres axes, a donné lieu à plusieurs contributions. Les différents travaux engagés reposent sur l'exploitation de plusieurs types de résultats portant sur :

- les approches orientées-objets [Booch, Quatrani 00] et les systèmes d'information collaboratifs [Johansen 98] pour des travaux liés à la spécification d'outils ;
- les systèmes multi-agents [Ferber 97, Jennings et al. 98] pour des travaux faisant appel à la gestion dynamique et collective des connaissances ;
- et les systèmes PLM [CIMdata, 03, Liu et al., 01] pour l'étude de ces outils.

Contributions : méthode de spécification d'environnements d'assistance pour la conduite ; méthode de spécification et d'implémentation d'outils PLM

L'une des principales contributions, et à ce jour encore inachevée, porte sur la formalisation d'une méthode générique destinée à spécifier et mettre en œuvre un environnement d'assistance pour la conduite. Aujourd'hui n'a été formulée que la partie amont, présentée à la section §1.4.1 : une méthode de spécifications couplée à la méthodologie GRAI Ingénierie de façon à intégrer les besoins et modèles métiers issues de la conduite. Elle a été appliquée dans le cadre du projet IPPOP, mais également lors du développement du logiciel CoCa, du prototype logiciel impliquant des agents logiciels, et actuellement dans le projet ANR ATLAS (§1.4.2 et §2.3.2).

Cette méthode a également été appliquée pour la spécification d'outils PLM et a été couplée à la méthode d'analyse des mécanismes collaboratifs pour y intégrer les améliorations et préconisations issues de l'observation directe des acteurs (thèse de G.Pol,

§). Il s'agit d'une contribution originale qui se veut être une alternative aux approches de type « pattern » développées par exemple par [Gzara 05]. L'étude des systèmes PLM a permis notamment de démontrer leurs limites en matière de conduite de la conception, tant au niveau de la prise de décision et du pilotage du processus de conception, que des besoins métiers des acteurs de la conception.

Contributions : principe technologique pour l'implémentation de mécanismes de conduite dans les outils PLM ; modélisation des connaissances pour la prise en compte des préférences utilisateurs en conception collaborative ; intégration du concept ULM dans la gestion du cycle de vie produit

Suite à ce constat, plusieurs contributions venant compléter la méthode générique de spécification et de mise en œuvre ont été réalisées :

- la proposition d'un mécanisme basé sur la technologie des workflows pour gérer des processus multi-niveaux flexibles, en vue d'intégrer les mécanismes de pilotage au sein des outils PLM ;
- l'intégration de la dimension utilisateur dans les outils méthodologiques et logiciels des concepteurs par la modélisation de connaissances 'a priori' des préférences utilisateurs (thèse de Livier Serna, §2.2.2) ;
- la proposition d'outils de capitalisation des usages du produit pour une exploitation 'a posteriori' par les concepteurs : intégration du concept ULM (Usage Lifecycle Management), développé par Emilie Chapotot, dans le contexte PLM.

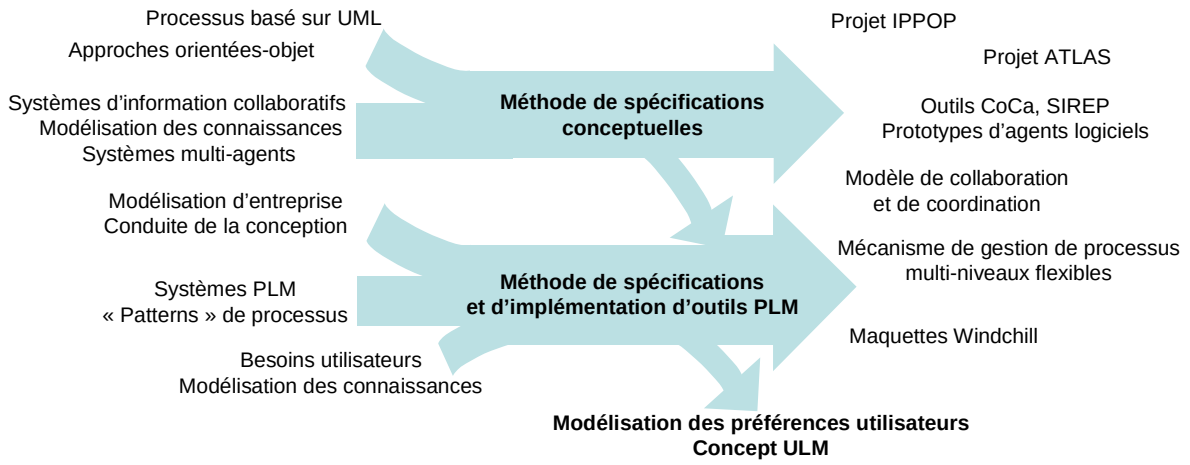


Figure 10. Axe « système », domaines de recherche supports, bilan des contributions et résultats

Cette dernière figure permet d'illustrer la convergence récente des aspects implémentation de systèmes d'information et l'étude des systèmes PLM, ce qui a entrainé la définition de perspectives de recherche nouvelles et fédératrices (§1.5).

Ces travaux scientifiques ont également un impact dans le domaine de l'enseignement. Plusieurs enseignements de dernière année (équivalant au Master 2) reprennent certaines contributions : la méthode GRAI avec les étudiants de l'option Organisation et Gestion Industrielle ; la conduite de la conception, les systèmes PLM et la modélisation des connaissances avec les étudiants de l'option Conception Généralisée de Produits. Enfin, un

logiciel destiné aux étudiants a été développé en appliquant les contributions de capitalisation des bonnes pratiques en conduite de la conception et de modélisation des connaissances : il s'agit de SIREP, Système d'Information pour le Retour d'Expériences en gestion de Projets.

La figure suivante résume l'ensemble des travaux menés : les thèses co-encadrées personnellement ; les projets ayant directement contribué à mes propositions scientifiques ou à leur validation (les projets dont j'avais la responsabilité entière ou d'un lot sont indiqués d'un astérisque) ; les logiciels dont j'ai supervisé les spécifications et/ou le développement.

Il est important de rappeler que ces trois axes présentés séparément sont complémentaires, les axes « systèmes » et « acteurs », bien que générateurs de contributions spécifiques, supportent l'axe « environnement d'assistance » afin d'apporter une réponse globale à ma problématique de recherche : « **l'étude et la mise en œuvre d'environnements d'assistance pour les acteurs de la conception, dans un contexte de conduite de la conception** ».

Apparaissent également dans cette figure les thèses démarrées récemment (M.Romain et S.Mahut, §2.2.2) ainsi que les projets FUI ISTA3, et européens Mobyteam et Hobbyhorse, qui seront évoqués en fin de chapitre dans les perspectives de recherche envisagées.

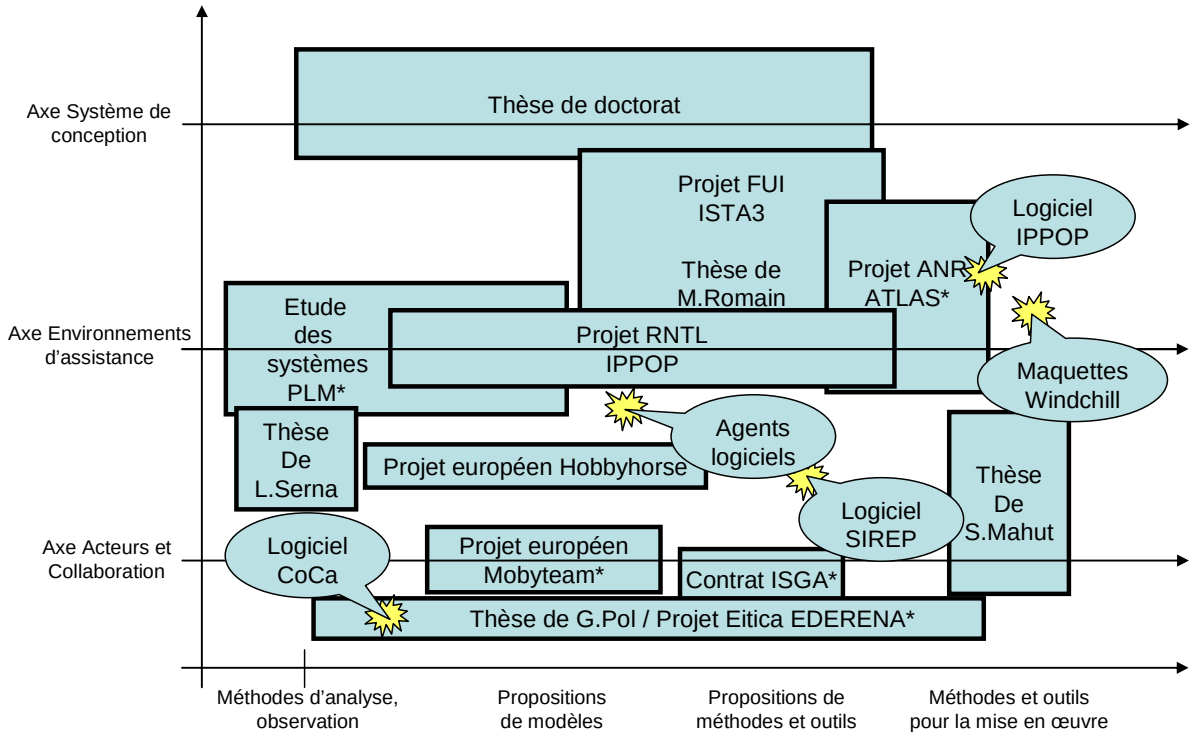


Figure 11. Cartographie des principaux travaux de recherche

Après avoir synthétisé les principales contributions et résultats de mes travaux, les sections suivantes développent successivement les 3 axes précédemment définis : l'axe « système » de conception, l'axe « environnements d'assistance » et l'axe « acteurs ».

3.2. AXE SYSTEME : LA METHODOLOGIE GRAI INGENIERIE POUR LA CONDUITE DE LA CONCEPTION

Mes travaux sur la conduite de la conception ont été menés en grande partie durant ma thèse de doctorat. Ils s'inscrivent dans le cadre de l'approche systémique développée historiquement au sein du groupe GRAI afin de modéliser les systèmes de production puis plus récemment de l'équipe ICO (Ingénierie de la COnception) de l'IMS - LAPS. Les modèles GRAI en conception [Girard 99] s'appliquent initialement au domaine de la conception coopérative de produits manufacturés. Ils fournissent un cadre conceptuel destiné à améliorer les performances de l'ingénierie et définissent un modèle de référence qui a pour but d'étudier la conduite des systèmes de conception en s'appuyant sur la modélisation des décisions et l'organisation du système opérant. Ce modèle du système de conception repose sur la théorie des systèmes [Simon 60] [Le Moigne 77], la théorie des organisations [Mintzberg 90] et la théorie des systèmes hiérarchisés [Mesarovic et al. 70]. Avant d'approfondir mes contributions ces modèles sont à présent rappelés brièvement.

Contributions : méthodologie GRAI Ingénierie ; modélisation des connaissances pour la conduite

Ma principale contribution porte sur la formalisation de la méthodologie GRAI Ingénierie qui permet de rendre opérationnels ces principes en proposant une méthode de déploiement de la conduite de la conception basée sur un ensemble de modèles. En particulier j'ai proposé un modèle des connaissances nécessaires pour la conduite, permettant aux acteurs de la conception et aux acteurs de la prise de décision d'appliquer les mécanismes de conduite. Ce modèle s'appuie sur une représentation par niveaux de complexité de type KADS [Schreiber et al. 94] croisée avec une approche métier [Zacklad & Grundstein 01]. Ces contributions ont été validées par un projet industriel (MMP). Un prototype logiciel a également été mis au point pour étudier la faisabilité d'introduire des agents logiciels dont le but est d'automatiser la gestion des connaissances au sein d'un système d'information pour la conduite, permettant au système d'anticiper les besoins métiers des utilisateurs.

La méthodologie GRAI Ingénierie impliquant la mise en œuvre d'un système d'information adapté, elle s'est vue complétée par les travaux menés dans l'axe « environnements d'assistance ». Le projet RNTL IPPOP a permis de faire évoluer ces travaux : d'une part le modèle des connaissances a intégré les résultats des laboratoires L3S (Grenoble), LASMIS (UTT), CRAN (Nancy) et LMP (Bordeaux) pour définir un modèle intégré produit – processus – organisation ; d'autre part un prototype logiciel a été développé pour démontrer la pertinence de la conduite de la conception. Enfin une méthode opérationnelle de type « gestion de projet » a été définie pour utiliser le prototype IPPOP et permettre la conduite au quotidien.

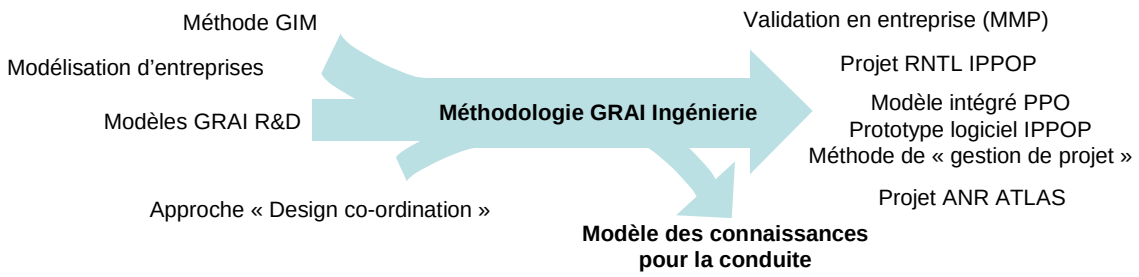


Figure 12. Axe « système », domaines de recherche supports, bilan des contributions et résultats

3.2.1. Contexte initial : Représentation du système de conception

Le système de conception est décomposé en trois sous-systèmes (figure 11) :

- le système technologique, composé des hommes, des savoir-faire, des machines, des logiciels et des flux d'information liée à la connaissance des produits. L'objectif est de transformer les besoins exprimés (externes et internes) en la définition des produits et de leurs procédés d'élaboration.
- le système décisionnel, en charge de la conduite de la conception, ayant pour rôle de piloter le système technologique pour qu'il atteigne les objectifs de performances fixés. Il a pour objectif d'élaborer les décisions fixant les ordres de gestion, appelés aussi informations de pilotage, transmises au système technologique.
- le sous-système d'information permet de transmettre, traiter et mémoriser les informations nécessaires. Il sert de liaison entre le système technologique et le système décisionnel.

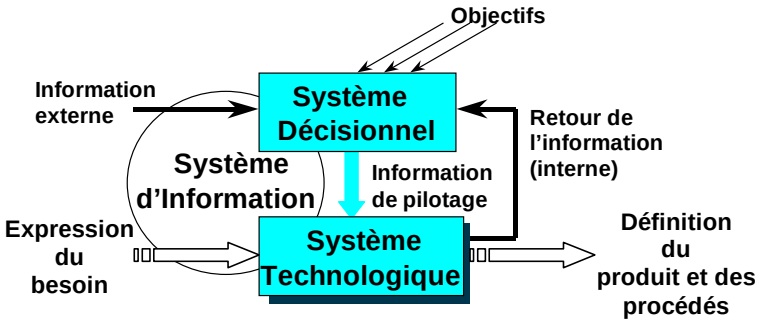


Figure 13. Le système de conception

Dans les systèmes de conception, les événements surviennent à un instant quelconque. Cependant, afin de maîtriser le flux transformé, il est nécessaire de scruter régulièrement son évolution voire de planifier au mieux les événements. Dans la méthodologie GRAI [Doumeingts 84], l'horizon H correspond à la durée de validité de la prise de décision et la période P permet de remettre à jour (réactualiser) les informations support à la décision. Suite à cette réactualisation, une remise en cause des décisions peut avoir lieu.

Ce concept d'horizon - période suggère une classification des décisions selon un premier critère d'ordre temporel. Les décisions prises peuvent être classées en trois catégories correspondant à trois niveaux temporels :

- les décisions stratégiques (long terme) concernent les politiques et les stratégies définies. Elles indiquent les orientations et les objectifs de la conception.
- les décisions tactiques (moyen terme) concernent l'organisation et les moyens que l'on va mettre en œuvre pour atteindre les objectifs.
- les décisions opérationnelles (court terme) concernent l'application, l'exécution des différentes activités.

Pour mieux ordonner les décisions et faciliter la compréhension du pilotage du système où s'opère la conception, un deuxième critère est nécessaire. Il correspond à la nature même de la décision c'est-à-dire à son objectif fonctionnel. Ceci permet de structurer les décisions à chaque niveau de décomposition temporel afin de satisfaire les objectifs de pilotage et donc de synchronisation. Trois objectifs fonctionnels doivent être pris en considération : les décisions liées à la gestion des flux d'informations, les décisions liées à la gestion des capacités de l'entreprise (ou des entreprises partenaires) et les décisions de synchronisation entre les flux et les capacités. On définit un centre de décision comme étant une prise de décision d'un niveau donné (H - P) pour un objectif fonctionnel donné.

D'autre part, on considère deux points de vue complémentaires pour exprimer ces différents objectifs fonctionnels : le point de vue « action » qui correspond à une démarche d'ingénierie (pilotage des ressources de l'entreprise) et qui regroupe les décisions relatives à la synchronisation de l'avancement des projets avec la disponibilité des ressources ; le point de vue « objet » qui concerne strictement le produit (pilotage de la connaissance du produit) et qui regroupe les décisions relatives à la synchronisation du déploiement des besoins avec la définition de la connaissance sur le produit. La décomposition du système décisionnel en centres de décision est représentée grâce à la structure GRAI R&D (figure 12).

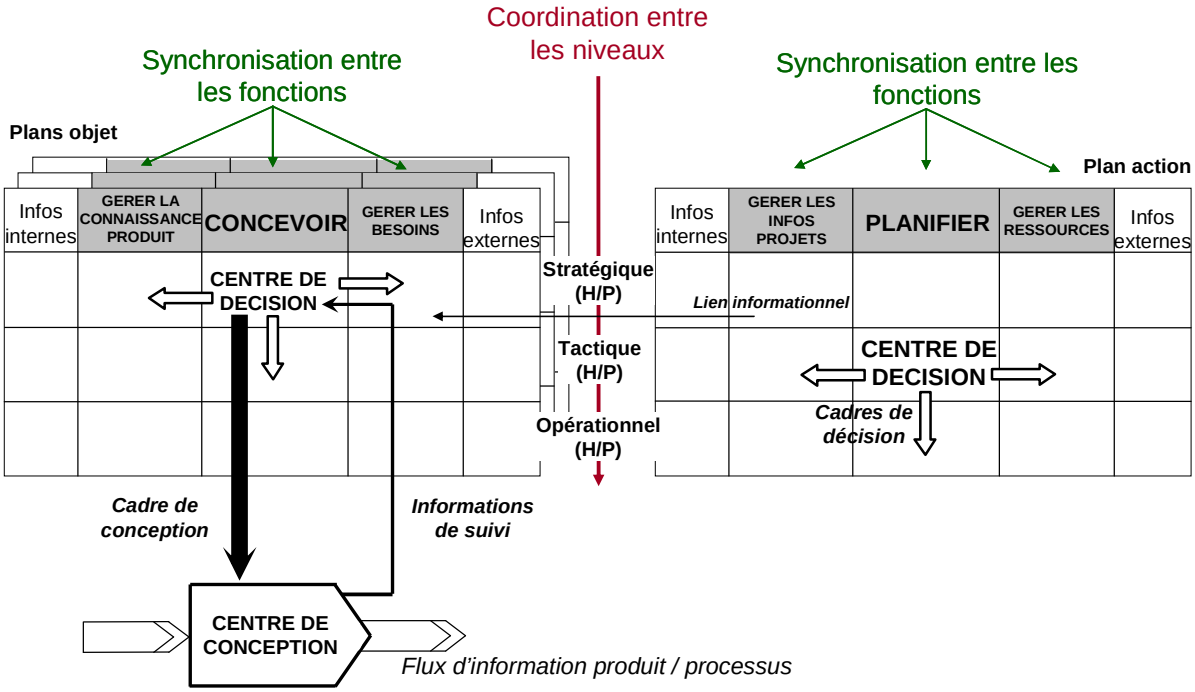


Figure 14. Décomposition du système de conception

La structure GRAI R&D permet d'identifier les différents niveaux décisionnels et leurs interdépendances, et sert de support à la structuration du système technologique en centres de conception. L'identification des centres de décision permet de décomposer le système technologique en sous-ensembles désignés comme des « centres de conception » autonomes selon des critères qui peuvent être d'ordre technique (exemple : décomposition structurelle du produit), organisationnel (exemple : découpage par projet, création de plateaux de conception) ou social (exemple : regroupement par compétence des acteurs). Un centre de conception est une organisation qui a pour objectif de transformer les besoins exprimés en la définition des produits et de leurs procédés d'élaboration. Ainsi, le système technologique est structuré de façon dynamique pour un pilotage de chaque centre quel que soit le niveau de granularité tout en assurant la coordination de l'ensemble.

[Eynard 99] démontre la nécessité pour les acteurs du système décisionnel d'exploiter des connaissances relatives au produit et au processus. Pour le premier il propose un modèle de produit dont l'objectif est de formaliser et de fédérer la connaissance relative au produit. Pour le second il développe un modèle de processus assurant la traçabilité des activités de la transformation de la connaissance produit réalisées par les acteurs du système technologique.

De l'étude de ces modèles ont émergé 3 différents apports :

- la méthode GRAI Ingénierie, visant à rendre opérationnelle la modélisation précédente, développée dans la section suivante,
- la modélisation des connaissances nécessaires pour la conduite,
- la conception d'un système d'information informatique destiné à supporter la conduite de la conception tout au long du processus de conception.

3.2.2. Contribution : Méthode GRAI Ingénierie

L'objectif principal de cette contribution réside dans l'opérationnalisation des modèles GRAI décrivant les principes de structuration et de conduite du système de conception pour en améliorer la performance. La méthode GRAI Ingénierie [Merlo & Girard 03] constitue une approche globale pour la modélisation des systèmes de conception et leur mise œuvre. Elle a pour objectif d'amener l'entreprise à maîtriser ses processus de conception pour en améliorer la performance. Cette méthode doit permettre d'élaborer les modèles de conduite et d'organisation des systèmes technologiques mais également de spécifier le système d'information afin de gérer les connaissances nécessaires à la conduite de l'ingénierie.

La méthode GIM (GRAI Integrated Method) [Zanettin 94] constitue le cadre initial à partir duquel la méthode GRAI Ingénierie a été développée. Pour cela, GIM a été appliquée dans deux cas d'étude industriels de façon à mettre en évidence ses points forts et ses points à améliorer et ainsi définir GRAI Ingénierie. Nous distinguons trois phases essentielles (figure 13) :

- une phase d'initialisation,
- une phase de modélisation du système existant,

– une phase de conception comportant une étape de conception orientée utilisateurs, puis une étape de conception orientée technique.

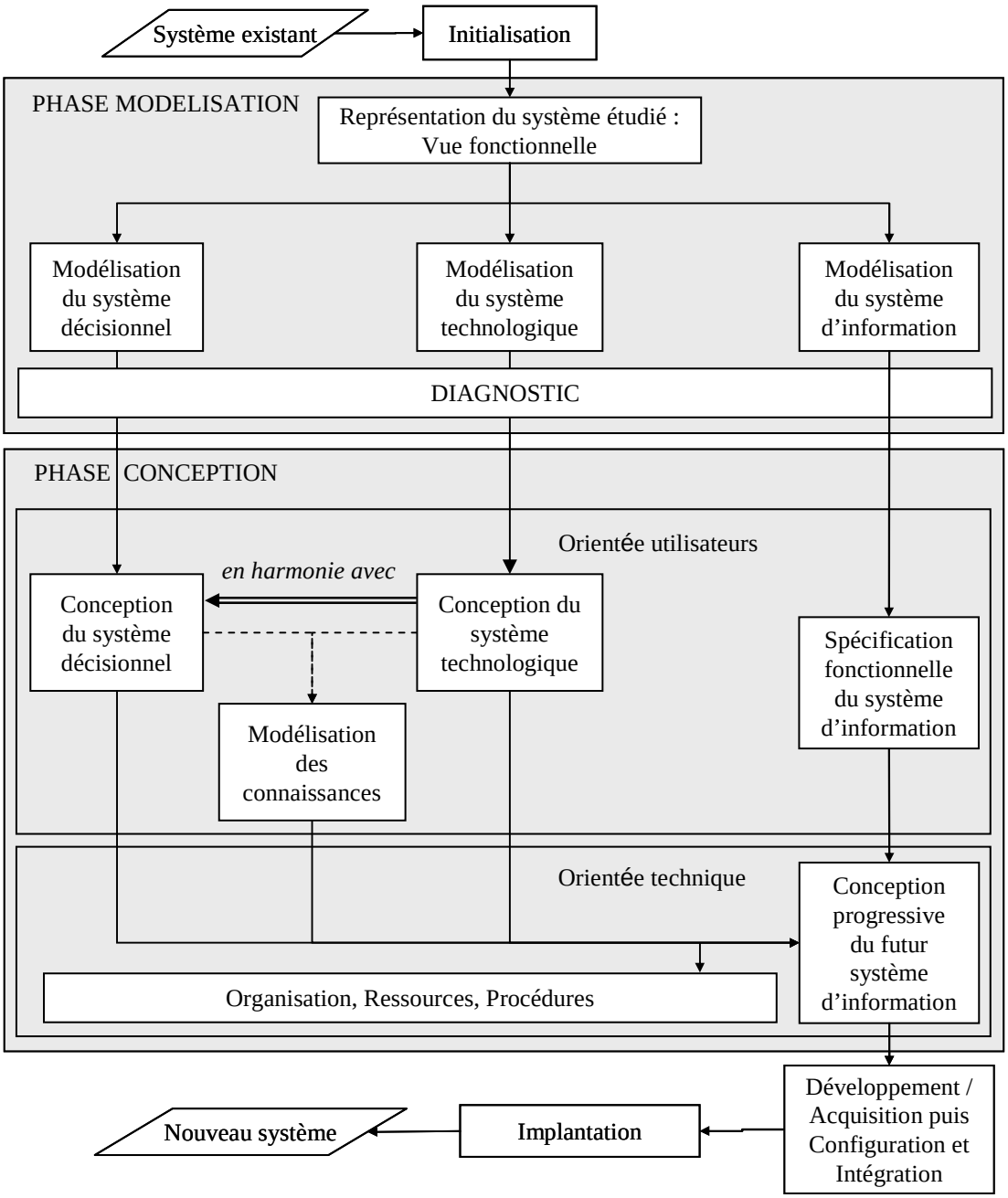


Figure 15. Les différentes étapes de la méthode GRAI Ingénierie

La **phase d'initialisation** implique les groupes de pilotage et de synthèse pour définir les limites du système de conception étudié et les conditions de mise en œuvre de la méthode.

La **phase de modélisation** aboutit à la modélisation du système de conception actuel et à son évaluation. L'organisation des projets et des hommes, les processus existants, les flux d'information sont quelques-uns des éléments étudiés. L'analyse, menée par le spécialiste GRAI en s'appuyant sur les modèles réalisés, porte sur le niveau de synchronisation et de coordination au sein du système, comme sur l'homogénéité des processus et la cohérence des flux d'information. Durant cette phase sont modélisés :

- la **vue fonctionnelle** du système de conception étudié. A l'aide du formalisme des *actigrammes* on représente l'organisation existant au sein de l'entreprise pour le développement des produits.
- le **système décisionnel** à l'aide de *structures GRAI R&D*. Plusieurs structures peuvent être élaborées en fonction des différents types de projet menés dans le système de conception. Chaque centre de décision est décrit via des *réseaux GRAI*.
- le **système technologique** à l'aide du formalisme des actigrammes étendus. Le processus de conception est modélisé en distinguant les flux de données relatives aux projets et les flux de données techniques relatives au produit. D'autre part les processus sont étudiés à différents niveaux de granularité de façon à faire apparaître le processus global de conception, les processus spécifiques à chaque projet, et les processus élémentaires et répétitifs, donc automatisables (comme un processus de validation, un processus de révision, un processus de suivi périodique, …).
- le **système d'information** à l'aide des modèles associés à l'approche informatique privilégiée par l'entreprise (par exemple une approche comme Merise, ou une approche objet basée sur UML).

Les modèles élaborés sont évalués par le groupe de synthèse et validés par le groupe de pilotage. Le diagnostic est préparé par le spécialiste GRAI et élaboré avec le groupe de synthèse. Il identifie les points forts et les points d'amélioration à apporter. Le groupe de pilotage corrige éventuellement les objectifs initiaux avant d'engager la phase suivante.

La **phase de conception** prend en compte les résultats de l'analyse de la phase de modélisation et les nouveaux objectifs assignés au système de conception afin de spécifier le futur système de conception. L'étape de **conception orientée utilisateurs** intègre :

- la modélisation du futur système décisionnel :
    - - la modélisation de *structures GRAI R&D* pour les différents types de projet de conception à prendre en compte (routinier, innovant, …), en fonction des objectifs relatifs aux orientations stratégiques de développement de produit.
    - - la modélisation de chaque centre de décision à l'aide des *réseaux GRAI*.
- la modélisation du système technologique. Elle est établie en harmonie avec la structuration du système décisionnel. En fonction de l'expérience acquise par l'entreprise à propos du développement de ses produits, et au regard des nouveaux objectifs assignés au système de conception, la pré-structuration du système technologique en centres de conception est définie. Celle-ci n'est que partielle puisqu'elle dépend directement de l'état d'avancement de la conception en cours de projet. Les liens informationnels entre les centres de conception sont décrits et lorsque cela est possible le déroulement de la conception au sein de chaque centre de conception à l'aide des *actigrammes* étendus. Les cadres de conception entre chaque centre de décision et les centres de conception qu'il pilote sont décrits.
- la modélisation *des connaissances* nécessaires pour que les acteurs du système de conception puissent mettre en œuvre les nouveaux modèles du système décisionnel et du système technologique. Compte tenu des principes induits par les modèles GRAI et de la difficulté de cette étape, il est nécessaire d'accompagner cette

modélisation des connaissances en proposant au spécialiste GRAI un modèle générique qu'il adapte au contexte industriel.

- la spécification du système d'information décrivant les fonctions à remplir par le système d'information pour que les utilisateurs puissent réaliser leurs activités. Le spécialiste GRAI s'appuie sur les autres modèles en cours d'élaboration pour procéder à cette spécification.

La **conception orientée technique** spécifie de façon détaillée le nouveau système d'information à partir de l'ensemble des spécifications issues de la conception orientée utilisateurs. A ce titre le système d'information répond tout à la fois :

- aux besoins fonctionnels des utilisateurs relativement aux mécanismes issus des modèles du système décisionnel et du système technologique, ce qui spécifie les fonctionnalités et les traitements à remplir,
- aux besoins en gestion des connaissances, ce qui spécifie les informations à exploiter et les traitements associés.

3.2.3. Contribution : Modélisation des connaissances pour la conduite

La méthode GRAI Ingénierie introduit le besoin de représenter les connaissances nécessaires pour la conduite afin de prendre en compte les besoins des acteurs, tant les concepteurs que les responsables, en matière de gestion et d'échanges d'information relatives à la conduite. Pour cela nous avons procédé à l'analyse des activités de ces acteurs pour identifier les connaissances mises en jeu [Baker 02, Ermine 01, Zacklad & Grundstein 01]. Puis pour les représenter nous avons élaboré une modélisation par niveaux de complexité. Enfin nous avons enrichi cette modélisation au cours de plusieurs projets consécutifs. Par connaissances, il faut considérer les connaissances explicites (savoir) et les connaissances implicites (savoir-faire).

Etude des activités des acteurs de la conception

Les centres de décision d'un même niveau décisionnel pilotent le système technologique structuré en centres de conception. La figure 6 décrit les échanges entre les acteurs d'un centre de décision et les acteurs d'un centre de conception [Girard 99], ce qui permet d'identifier les principaux flux d'information.

L'analyse des flux d'information pour la conduite amène à identifier deux rôles principaux pour les acteurs présents dans le système de conception l'un associé aux acteurs du système décisionnel, le rôle « coordonnateur » et l'autre associé aux acteurs du système technologique, le rôle « concepteur ». Ainsi [Poveda 01] distingue-t-il l'action du chef de projet qui ordonne et arbitre l'action des concepteurs.

Le premier rôle « coordonnateur » est relatif à la prise de décision qui a lieu au sein du système décisionnel. Ce rôle prend en charge les mécanismes liés à la conduite [Coates et al. 00], à savoir :

- « **coordonner** » les projets de conception du système technologique par l'élaboration de plans d'action visant à satisfaire les objectifs de conception. Cela se traduit par la structuration du système technologique en centres de conception, la définition des

ressources humaines, matérielles, logicielles et informationnelles et la définition de cadres de conception (objectifs de conception, contraintes, préconisations, planification éventuelle) les pilotant,

– « **assurer le suivi** » de la réalisation des activités au sein des centres de conception en vue d'en évaluer la performance, d'analyser les écarts avec les objectifs initiaux puis de réorienter si nécessaire les actions en modifiant les plans d'actions d'action et les cadres précédents.

Le second rôle « concepteur » est réservé aux acteurs impliqués dans un centre de conception. Ce rôle consiste à prendre connaissance des informations contenues dans le cadre de conception reçu et de réaliser les tâches nécessaires pour atteindre les objectifs mentionnés, c'est-à-dire de formaliser de nouvelles connaissances relatives au produit et à ses tâches pour en assurer la traçabilité. Un « concepteur » participe au suivi de ses tâches en renseignant périodiquement les indicateurs de performance qui lui sont spécifiques.

Modèle générique des connaissances proposé

Une connaissance peut être représentée par un ensemble d'informations contextualisées et objectivées [Link-Pezet 89]. Le « *contexte* » d'une information est donné par une série d'informations permettant à son utilisateur d'en comprendre la signification en vue de satisfaire les objectifs qui lui sont assignés. Une connaissance (pour un acteur) sera donc formalisée par un ensemble d'informations (formalisées oralement ou physiquement) la caractérisant et par les informations décrivant le contexte dans lequel elle a été générée et/ou dans lequel elle est destinée à être exploitée. Les connaissances pour la conduite regroupent plusieurs types de connaissances, aussi elles peuvent être exprimées à l'aide d'informations hiérarchisées en trois niveaux (opérationnel, tactique et stratégique) selon leur complexité :

– un premier niveau composé des connaissances élémentaires créées ou exploitées par les acteurs pour atteindre leurs objectifs. Il est désigné niveau des **connaissances élémentaires**, ayant un caractère opérationnel,

– un second niveau composé des connaissances qui expliquent comment les connaissances précédentes ont été obtenues, soit en détaillant leur évolution, soit en précisant les mécanismes mathématiques, logiques ou procéduraux appliqués. C'est le niveau des **connaissances de transformation**, ayant un caractère tactique,

– un troisième niveau correspondant aux connaissances qui spécifient les méthodologies et les principes à suivre, pour résoudre un problème donné et conditionnant la mise en œuvre de connaissances de transformation. C'est le niveau des **connaissances d'expertise**, ayant un caractère stratégique.

Sachant qu'une connaissance est rarement élémentaire, nous décrivons chaque niveau de complexité à l'aide de deux sous-niveaux [Pun 99] permettant de décrire une connaissance complexe à partir d'autres connaissances plus simples. J'ai proposé le méta-modèle des connaissances suivant et caractérisé chaque niveau de complexité :

Soit $\mathbf{Kn}_{i,j}$ l'ensemble des informations représentant une connaissance *Kn*, de niveau de complexité *i*, et d'occurrence *j* dans ce niveau,

Soit $\mathbf{Op_{i-1,j}}$ l'opérateur associé à $\mathbf{Kn_{i,j}}$ et caractérisé par l'ensemble des informations de niveau de complexité inférieur qui structurent $\mathbf{Kn_{i,j}}$,

Soit $\mathbf{C_{i,j,k}}$ l'ensemble des liens référençant les informations partagées et décrivant le contexte de $\mathbf{Kn_{i,j}}$ en vue d'en comprendre la signification,

$$\mathbf{Kn_{i,j} = (désignation, attributs, valeurs, C_{i,j,k})} \qquad \mathbf{(1)}$$

et $$\mathbf{Kn_{i,j} = Op_{i-1,j}\ (Kn_{i-1,j'}, \ldots, Kn_{i-1,j''})}$$

Où *désignation* : identifiant de la connaissance,

attributs : liste des informations spécifiques à la caractérisation de $Kn_{i,j}$

valeurs : liste valuant les attributs précédents

$C_{i,j,k}$: liste de *k* liens $C_{i,j,k}$ traduisant les relations bidirectionnelles unissant $Kn_{i,j}$ à d'autres connaissances $Kn_{k',k''}$, de niveau *k'* et d'occurrence *k''* qui en décrivent le contexte :

$$\mathbf{C_{i,j,k} = \{\ Kn_{k',k''}\ \}}$$

$Op_{i-1,j}$: opérateur *Op*, reliant une connaissance d'occurrence *j* du niveau de complexité *i* à des connaissances de niveaux de complexité *i-1* ayant participé à la génération de $Kn_{i,j}$.

Opi-1,j caractérise comment une connaissance d'un niveau de complexité donné est construite à partir des connaissances de niveaux de complexité inférieurs, et traduit les liens sémantiques ayant une signification pour un acteur : relations de composition, de transformation, de cause, … L'opérateur est un vecteur dont chaque composante s'applique à une connaissance au moins. *Ci,j,k* définit un contexte induisant un sens particulier pour l'information sur laquelle il s'applique. L'acteur peut alors manipuler cette connaissance. *Ci,j,k* connecte des informations indépendamment de leur niveau de complexité. La caractérisation d'un opérateur et des liens contextuels autorise plusieurs mécanismes d'exploitation pour capitaliser, explorer et analyser les connaissances pour la conduite.

En se basant sur les mécanismes identifiés lors de l'analyse des activités des acteurs, on peut considérer (tableau 1) les connaissances d'exploitation et les connaissances pour la capitalisation à long terme. Les connaissances d'exploitation correspondent à une capitalisation au fil de l'eau des informations indispensables pour assurer la conduite d'un projet de conception. J'ai montré qu'elles sont structurées en quatre catégories associées aux principales activités des acteurs puis en trois niveaux de complexité : coordination, suivi, produit et processus.

Les connaissances pour la capitalisation à long terme sont également hiérarchisées en niveaux de complexité mais elles forment un ensemble cohérent de connaissances recouvrant les quatre catégories précédentes. Ces connaissances viennent aider les acteurs dans les choix qu'ils ont à réaliser pour atteindre leurs objectifs et concernent aussi bien les acteurs de la conduite que les acteurs de la conception. Le modèle proposé est volontairement ouvert de façon à pouvoir évoluer par capitalisation des projets terminés.

Connaissances *Niveaux*	Coordination	Suivi et diagnostic	Produit	Processus	
1- Entité simple	Objectif, Ressource, Modalité, Indicateur	Commentaire, Indicateur	Information support	Déclencheur, Ressource, Opérateur d'enchaînement, Information support	EXPLOITATION
2- Entité complexe	Cadre de décision, Cadre de conception, Centre de conception	Ecart	Fonction, Entité Technologique, Entité Frontière	Activité	EXPLOITATION
3-Transformation simple	Plan de coordination	Diagnostic	Etat du modèle de produit	Processus	EXPLOITATION
4- Transformation complexe	Règle de coordination		Règle de conception		CAPITALISATION
5- Expertise simple	Méthode de coordination		Méthode de conception		CAPITALISATION
6- Expertise complexe	Conduite d'un système de conception				CAPITALISATION
	Acteur de la conduite		**Acteur de la conception**		

Tableau 4. Classification globale des connaissances en conduite de la conception

Le modèle des connaissances proposé intègre la possibilité de mettre en œuvre la capitalisation à long terme des connaissances dans le futur système d'information. Trois modes de capitalisation sont prévus :

- la capitalisation par l'exemple en permettant d'identifier des connaissances au fil de l'eau comme représentatives d'une pratique « utile »,
- la capitalisation par généralisation en construisant de nouvelles règles génériques à partir de ces connaissances au fil de l'eau,
- enfin la capitalisation externe basée sur des modèles théoriques traduits directement sous forme de connaissances de capitalisation (méthode ou règle) via les opérateurs.

Ce modèle générique, proposé lors de ma thèse de doctorat n'a été qu'une première étape avant de travailler à la mise en œuvre de ces travaux. Dans la section suivante, je détaille les travaux réalisés en ce sens, qui ont abouti à la définition d'un modèle intégré « opérationnel » et d'une méthodologie de conduite permettant aux acteurs d'exploiter ce modèle pour la conduite des projets de conception au quotidien. Ces éléments sont indispensables avant de procéder à la production d'un environnement logiciel visant à assister les acteurs.

3.2.4. Contribution collective : Mise en œuvre de la conduite

Un modèle intégré pour l'amélioration des performances en ingénierie de la conception

Ce modèle a été élaboré dans le cadre du projet IPPOP, dans la continuité de ma thèse de doctorat. Le projet IPPOP (http ://www.opencascade.org/IPPOP/) a pour objectif d'intégrer les connaissances liées au produit et au processus pour contribuer à

l'augmentation du patrimoine technologique de l'entreprise et à la maîtrise de la conduite de l'activité de conception. Il s'inscrit dans une démarche d'intégration des dimensions Produit-Processus-Organisation et d'extension des logiciels de CFAO et SGDT existants en prenant en compte les aspects technologiques liés à la conception (environnement multi-acteur, marché, ressources humaines et matérielles, gestion et capitalisation de la connaissance et des savoir-faire, …).

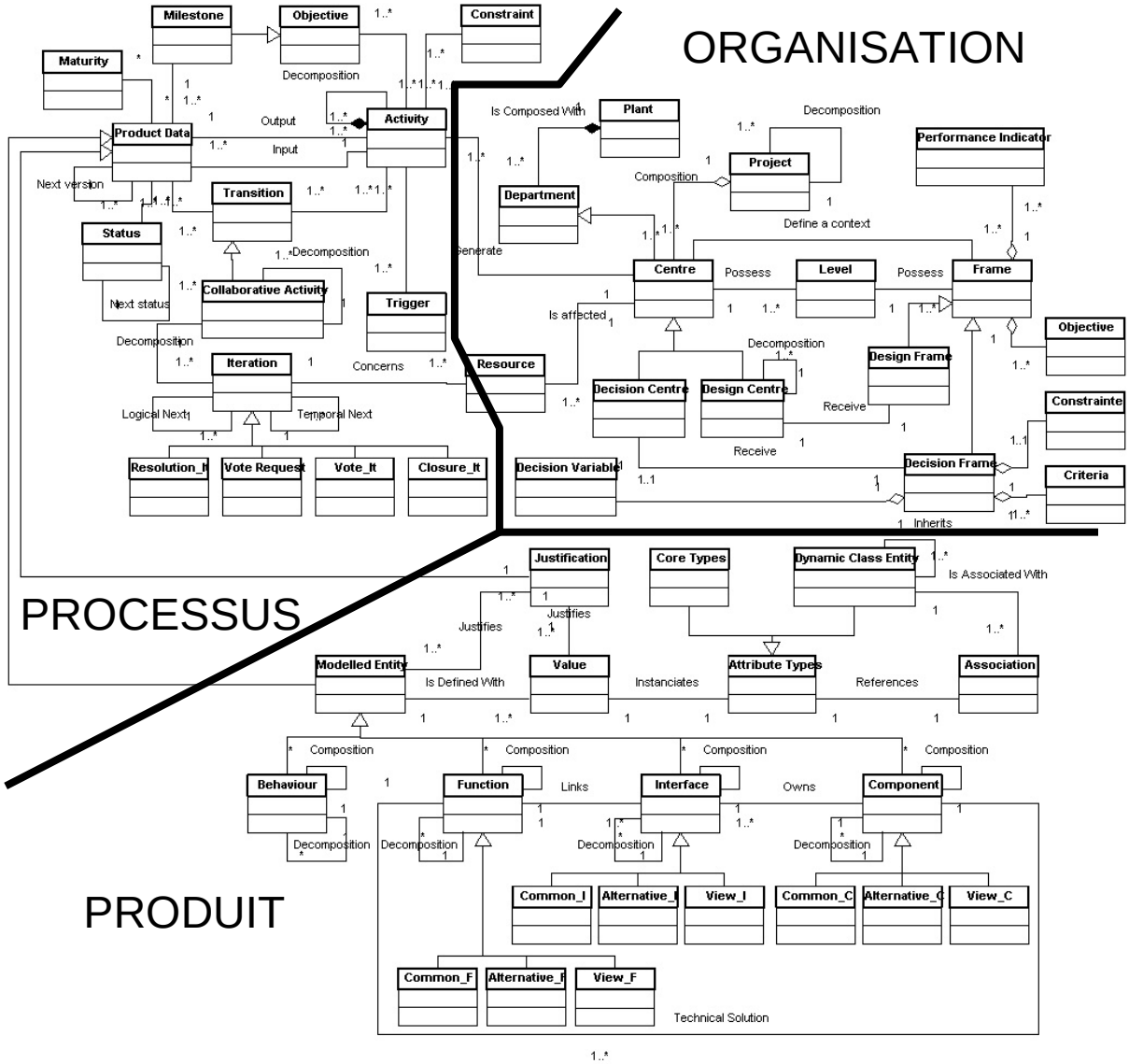


Figure 16. Modèle intégré IPPOP – Intégration des modèles Produit, Processus et Organisation

Les principaux objectifs de ce projet sont :

- intégrer les connaissances liées au produit [Roucoules & Tichkiewitch 02, Noel 05] et au processus [Gero & Kannengiesser 06] pour contribuer à l'augmentation du patrimoine technologique de l'entreprise et à la maîtrise de la conduite de l'activité de conception,
- faire évoluer les outils de représentation du produit et de processus afin de supporter la capitalisation des connaissances technologiques et leur exploitation lors de nouveaux projets,

- développer et mettre en œuvre un environnement de travail adapté pour la conception coopérative,
- permettre la gestion et la coordination de la conception concourante en vue de l'amélioration continue des performances de l'ingénierie,
- fournir un démonstrateur.

A travers le projet IPPOP le modèle générique des connaissances a évolué pour s'intégrer avec un ensemble de travaux portant sur la modélisation du produit et du processus en vue de conduire efficacement le système de conception. Les évolutions portant sur la dimension conduite du modèle générique, ré-intitulée « organisation », ont été limitées et concernent essentiellement la nature des liens existant avec les dimensions produit et processus. Le modèle global qui a été développé [Robin & Girard 06] (figure 14) regroupe donc des éléments propres aux modèles de produit, de processus et d'organisation.

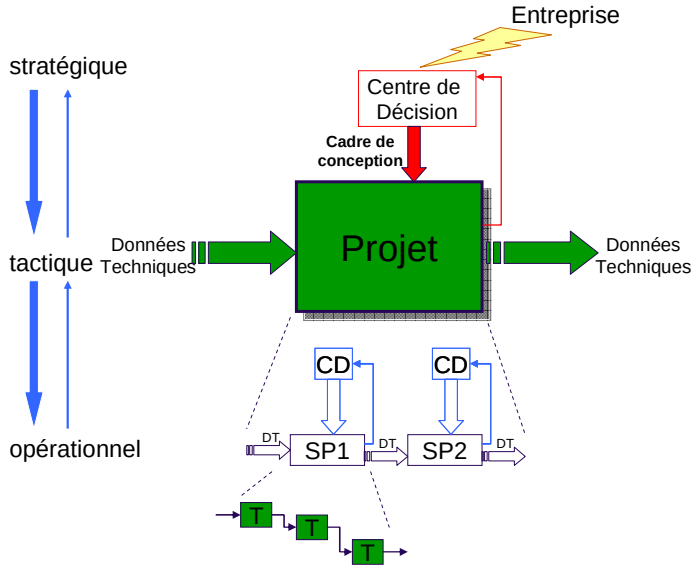


Figure 17. Démarche effective de conduite de la conception

Afin de mettre en œuvre ce modèle intégré, une méthode a été élaborée pour la conduite de la conception : l'enjeu scientifique consiste à s'appuyer sur la modélisation de l'entreprise, de son organisation et de ses ressources, pour permettre la conduite effective des projets de conception. En supposant que cette corrélation soit prise en compte, la conduite se traduit par plusieurs niveaux d'action lors de la genèse puis du déroulement du projet de développement de produit (figure 15) :

- après que le projet ait été initialisé et les objectifs globaux de l'entreprise spécifiés, le chef de projet structure son projet en vue d'atteindre ces objectifs,
- il va donc définir plusieurs sous-projets pour lesquels il spécifiera à son tour des objectifs, certains dédiés aux responsables (en tant que centres de décision locaux) d'autres à l'ensemble des concepteurs impliqués, certains étant des objectifs de performance,
- il associera des données techniques produit d'entrée nécessaires aux concepteurs pour atteindre leurs objectifs, et des données techniques de sortie souhaitées et correspondant à la réalisation de ces objectifs,

- il définira enfin une planification des tâches à mener, en précisant là encore leurs objectifs et leurs données techniques,
- afin de permettre le suivi du projet, les concepteurs génèrent les données techniques attendues et évaluent les indicateurs de performance qui leur sont demandés.

Cette démarche associée au modèle intégré assure de fait la prise en compte de l'organisation de l'entreprise, la gestion multi-niveaux des projets, la différenciation entre les décisions et la transformation de la connaissance produit-processus, la synchronisation des flux informationnels multi- et inter-niveaux et enfin le suivi des projets.

En guise de synthèse partielle, différentes contributions ont été produites concernant l'axe du « système de conception » (figure 16) : la méthodologie GRAI Ingénierie en constitue l'armature et vise à mettre en œuvre la conduite de la conception au sein de l'entreprise en vue d'améliorer ses performances pour le développement de produits. A travers la démarche scientifique décrite initialement, des modèles ont été proposés pour représenter le système de conception (phases de modélisation du problème puis proposition de solutions génériques) ainsi qu'une modélisation générique des connaissances pour la conduite. Cette modélisation a permis d'élaborer le modèle PPO (Produit-Processus-Organisation), support au développement de prototypes logiciels (phase d'implémentation de ces solutions et de déploiement). La méthodologie GRAI Ingénierie inclut des tâches de spécification et de développement du système d'information support à la conduite, qui sont développées dans le chapitre 3.3.

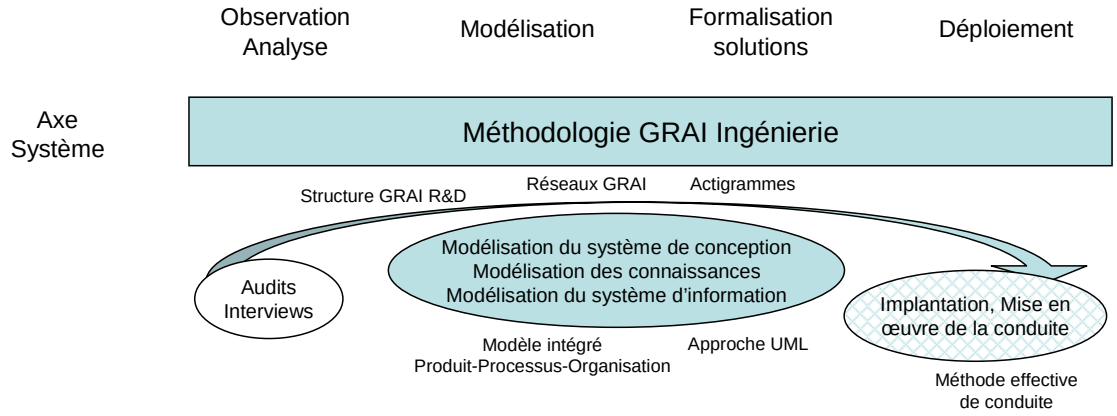


Figure 18. Démarche de caractérisation et de mise en œuvre effective de la conduite de la conception

Les modèles élaborés (contribution importante repérée par un fond uni dans la figure 12) ont permis d'obtenir une représentation précise du système de conception, des connaissances mises en jeu et des flux d'information entre deux catégories d'acteurs : les responsables en charge de la coordination et les concepteurs en charge de la conception. Toutefois il a été clairement établi que le sous-système technologique, en correspondance avec la nature non prévisible du processus de conception, ne peut pas être complètement modélisé. Par conséquent, les flux d'information mis en jeu ne prennent pas en compte la totalité des flux échangés entre les concepteurs. Les spécifications que nous avons pu élaborer restent des spécifications génériques permettant de gérer des connaissances « types » et des échanges « habituels » et ne rendent pas compte de besoins spécifiques liés aux actions réelles des acteurs de la conception quand ils sont impliqués dans un

processus de conception non routinier. C'est pourquoi la contribution concernant le déploiement effectif des mécanismes de conduite reste partielle à ce jour (fond maillé sur la figure 16).

J'ai alors abordé la question de la collaboration entre les concepteurs en posant comme hypothèse qu'une meilleure connaissance des mécanismes collaboratifs entre les acteurs permettrait d'identifier des bonnes pratiques exploitables par le chef de projet et les responsables pour améliorer la façon dont ils assuraient la conduite de la conception. C'est cette thématique que j'aborde dans la section suivante.

3.3. AXE ACTEURS : L'ETUDE DES COLLABORATIONS ENTRE ACTEURS

Menés principalement lors des travaux de thèse de Guillaume Pol en coopération avec l'Université de Cranfield (UK), les principaux résultats de l'axe « des hommes », consacré à l'étude de la collaboration entre les acteurs [Brissaud & Garro 98], s'appuient directement sur la méthodologie de recherche présentée au §1.1.2. Dans une première section cette approche sociotechnique permet d'élaborer une démarche complète permettant d'assurer l'analyse des mécanismes collaboratifs entre acteurs impliqués dans le développement de produit, l'amélioration des dysfonctionnements constatés et la capitalisation des bonnes pratiques en vue d'accompagner le chef de projet en charge de la conduite de la conception [McMahon et al. 04]. La deuxième section précise les modèles de connaissances sur lesquels est basée cette démarche et pour lesquels il a été nécessaire de développer un logiciel pour la capture et l'analyse des mécanismes collaboratifs, ce logiciel est présenté dans la troisième section.

Contributions : méthode d'analyse des mécanismes collaboratifs entre acteurs et de préconisations pour l'amélioration de la conduite ; modèles de collaboration et de coordination

Pour mener à bien la caractérisation de cette démarche, j'ai noué un partenariat de 2004 à 2007 avec la société Ederena Concept, PME concevant des produits à base de structures en nid d'abeille, afin de répondre à ses besoins de rationalisation de ses flux d'information en conception et industrialisation. Un travail d'observation sur le terrain a permis de participer aux travaux menés en interne dans l'entreprise pour atteindre cet objectif, d'étudier de façon très précise l'organisation des activités de conception et d'approfondir le rôle du chef de projet. Un travail plus spécifique de maquettage d'un outil de SGDT a été réalisé pour étudier son apport dans la rationalisation des flux d'information. Cette action s'est poursuivie par une analyse plus fine des activités de collaboration en vue de les capitaliser pour le chef de projet et de lui permettre de déterminer les différents niveaux de flexibilité du processus de conception qu'il doit coordonner. Cette étude complémentaire, soutenue par le pôle régional EITICA, a abouti à la réalisation d'un outil informatique d'analyse des événements collaboratifs que nous avons nommé CoCa (Collaborative Capture).

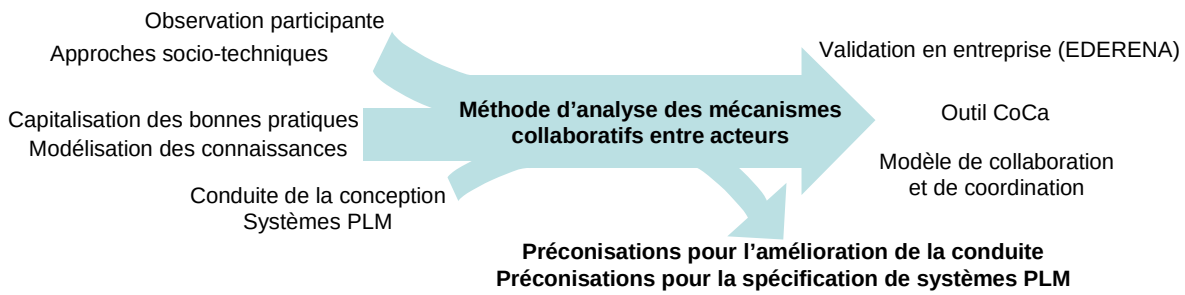


Figure 19. Axe « acteurs », domaines de recherche supports, bilan des contributions et résultats

3.3.1. Contribution : Méthode d'analyse des mécanismes collaboratifs

En gestion de projet, le suivi de l'avancement de processus de conception peut être défini comme la compréhension des situations de conception existantes en vue de les évaluer et de prendre les décisions qui modifieront et amélioreront le processus à venir en fonction des objectifs fixés par le client ou déterminés par la stratégie de l'entreprise [Baumberger et al. 2003]. Le contrôle du projet se ramène donc à un problème de prise de décision visant à supporter les concepteurs dans leurs activités [Girard and Doumeingts 04] pour satisfaire les objectifs initiaux (figure 11).

Pour cela les chefs de projet ont besoin d'identifier les leviers d'action sur lesquels ils pourront agir, et en particulier ceux qui vont influencer la collaboration pour améliorer la performance de la conception. Un chef de projet dispose aujourd'hui d'un ensemble vaste de critères pour prendre en compte tous les aspects d'un projet comme les étapes du développement du produit, les objectifs du client et les livrables, les tâches et la planification, les compétences des experts, les motivations et les enjeux collectifs ou individuels, les méthodes et outils collaboratifs et aussi des objectifs individuels et collectifs concourants.

[Perrin 99] pose « la conception comme lieu de construction d'une intelligence collective ». La coopération dans les activités de conception est désormais essentielle pour la performance et la compétitivité des firmes innovantes. A travers une amélioration de la collaboration et de la communication entre les acteurs, est recherchée l'émergence de nouvelles idées voire d'innovations, de flexibilité dans les processus standardisés de conception ou d'enrichissement des compétences de chacun. Néanmoins les paramètres pour influencer la « qualité » de la collaboration restent flous et difficiles à caractériser.

L'existence de relations informelles est essentiel dans une PME car les acteurs ont besoin de pouvoir collaborer afin d'être réactifs et flexibles en fonction des demandes et des problèmes rencontrés. Bien souvent ce cadre informel s'accompagne de faibles contraintes « procédurales » et d'une charge de travail très importante liée au partage de multiples responsabilités et au cumul de tâches officielles et de tâches informelles. Généralement les projets sont caractérisés par des jalons à respecter, ce qui priorise nécessairement les tâches et les fournitures. Paradoxalement, le processus de développement d'un produit est très formalisé à un niveau macro, par la définition d'étapes et de jalons à respecter, alors qu'au quotidien la planification se révèle très flexible, voire parfois réalisée seulement à court terme. Cette situation favorise les mécanismes collaboratifs. L'une des difficultés du chef de projet est donc de prendre en compte ces mécanismes dans sa gestion de projet sans bouleverser ce fragile équilibre entre prescrit et émergent. Là encore, malgré de multiples travaux sur la collaboration en conception [De Vreede and Briggs 2005], peu de règles ou de principes opérationnels pour la gestion de projet n'ont été définis pour aider ces chefs de projet dans leur travail quotidien.

C'est pourquoi j'ai choisi de développer cette démarche d'analyse de la collaboration et de capitalisation des connaissances pour apporter un appui sur le long terme au chef de projet, et lui permettre de caractériser progressivement ses propres règles et principes. Ce faisant, ce sont les compétences du chef de projet qui sont améliorées plus rapidement via l'application de cette démarche. Celle-ci s'inscrit dans le cadre de la conduite de la conception (figure 11) puisque la prise de décision du chef de projet intervient pour assurer

la conduite, c'est à dire la « coordination » des concepteurs qui, dans le système technologique, « collaborent » pour transformer la connaissance relative au produit et au processus. L'objectif est d'améliorer la coordination par le chef de projet par une meilleure compréhension et une meilleure connaissance des mécanismes collaboratifs.

La démarche « d'étude de la collaboration » (figure 18) repose sur la caractérisation d'un modèle de collaboration qui doit permettre de recenser l'ensemble des mécanismes collaboratifs existants lors d'un projet de conception de produit, à l'aide d'un logiciel support dénommé CoCo (Collaborative Capture). Elle se compose des étapes suivantes :

- L'observation participante des projets de conception par un expert en vue de collecter des données relatives aux évènements de type collaboratifs, recueillis à l'aide de l'outil CoCa.
- L'exploitation de ces données pour une analyse approfondie et une première évaluation des évènements collaboratifs et des liens qui existent entre certains de ces évènements.
- La formalisation de diagnostics sur la collaboration effective, les écarts constatés entre ce qui était prévu par le chef de projet (coordination) et ce qui a été constaté, de façon à faire apparaître des éléments de « bonne pratique » ou des points à améliorer.
- La génération de propositions pour un retour vers la coordination. Ces retours sont formalisés sous forme de préconisations pour le chef de projet en vue d'anticiper sur de futures situations de conception ou d'améliorer la coordination de nouveaux projets. A ce jour les expérimentations menées ont permis de déterminer trois types de préconisations possibles qui seront développées dans le §1.3.3.

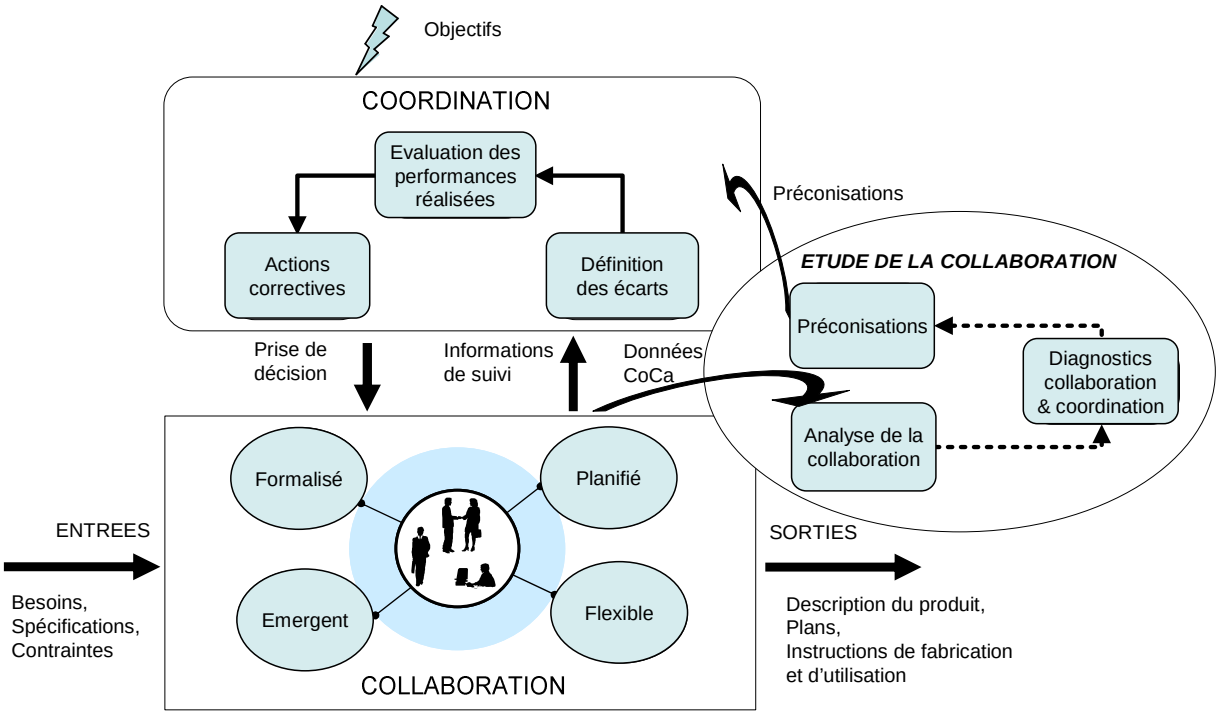


Figure 20. Coordination et analyse de la collaboration pour la gestion de projet

3.3.2. Contribution : Un modèle pour l'analyse de la collaboration

Le modèle de collaboration qui a été proposé pour permettre une capitalisation et une analyse a été construit à partir de deux points de vue complémentaires : le point de vue de la conduite, puis le point de vue des facteurs humains.

Du point de vue de la conduite, la collaboration résulte des conditions que le pilotage des activités définit et met en place pour les concepteurs : la définition d'objectifs et de tâches, leur planification et la définition de jalons et de livrables. Du point de vue humain, la collaboration peut être définie comme basée sur les relations et les interactions entre acteurs impliqués dans un évènement collaboratif, et la réalité de cette collaboration repose sur leurs compétences mais aussi leurs motivations et leurs capacités de communication. De fait ces deux points de vue doivent être pris en compte pour pouvoir identifier les multiples facteurs qui influencent la collaboration et ainsi caractériser les évènements collaboratifs. Cette caractérisation est une étape indispensable avant de pouvoir analyser et comprendre ce qui s'est passé. Ainsi doit-on pouvoir répondre à des questions telles que : les acteurs ont-ils œuvré à distance ou étaient-ils physiquement dans la même pièce ? étaient-ils présents en même temps lors de cet évènement ou bien leur action résulte-t-elle d'actions individuelles successives, et éventuellement avec des échanges d'information entre ces actions ? ces actions ont-elles été prévues, voire planifiées, par le chef de projet ? Tous les facteurs ainsi identifiés doivent pouvoir servir à caractériser les évènements collaboratifs et l'ensemble de ces informations doit pouvoir être conservé via un outil informatique.

Le modèle de collaboration doit répondre à ces besoins d'identification, de caractérisation et de traçabilité, puis il doit permettre d'en mener l'analyse. Pour assurer la traçabilité de la collaboration, l'hypothèse retenue est celle de l'observateur qui suit le projet de conception et qui identifie lui-même les actions de type collaboratives. Comme au moment de l'identification l'observateur n'a pas encore le recul nécessaire, les actions collaboratives prises en compte sont celles qui impliquent effectivement des interactions (deux acteurs en discussion par exemple) mais aussi celles qui génèrent potentiellement des interactions sous forme d'échanges d'informations de tout ordre (par exemple la transmission d'un livrable par mail avec des commentaires précis). L'hypothèse d'une traçabilité acquise de façon automatique ou semi-automatique n'a pas été retenue pour deux raisons principales :

- Beaucoup de collaborations, notamment émergentes ou spontanées, sont basées sur des interactions directes entre acteurs, sans support informatique qui permettrait une capture initiale automatique.
- Une saisie par les acteurs eux-mêmes à partir d'une planification initiale entraîne une surcharge de travail pour ces acteurs, un appauvrissement des actions tracées car elles privilégient les actions prévues par rapport aux actions émergentes, et enfin un biais important de la part des acteurs quant aux situations difficiles mais aussi les plus intéressantes.

Le modèle de connaissances (figure 19) pour la collaboration est donc construit autour du concept d'évènement, et en particulier d'évènement collaboratif. L'observateur capture une succession d'évènements situés dans le temps en vue de les comparer ultérieurement aux différents processus de conception prévus et réactualisés. De cette confrontation des

améliorations relatives à la conduite des projets doivent être formalisées à destination du chef de projet.

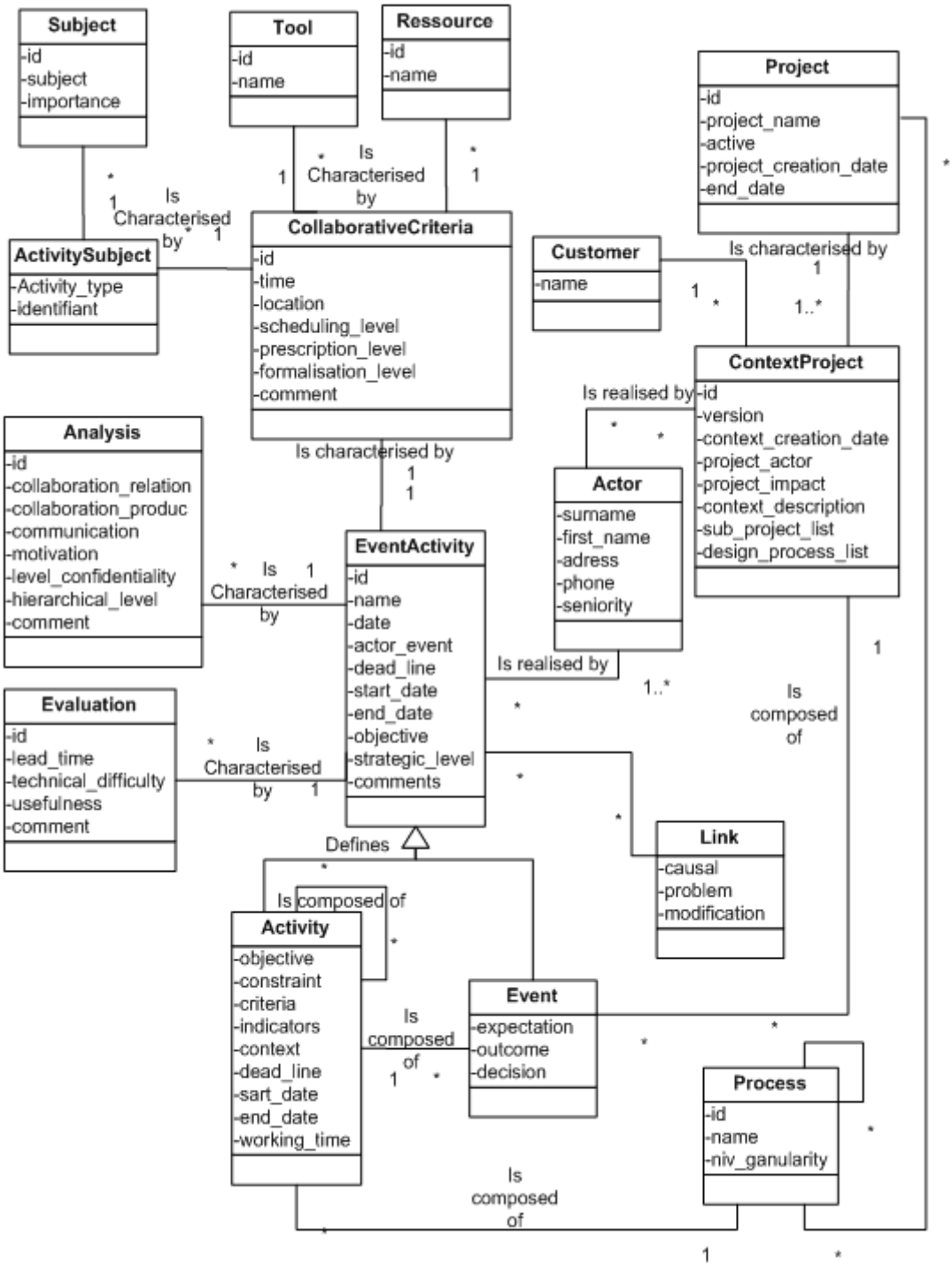


Figure 21. Modèle de collaboration en conception

La caractérisation des évènements collaboratifs s'appuie sur plusieurs connaissances identifiées lors de nos travaux sur la conduite, sur la collaboration, sur les environnements de Travail Coopératif (CSCW, Computer Supported Cooperative Work), et sur le terrain en PME. Chaque évènement collaboratif est caractérisé par :

- un contexte global lié au projet, en vue de comprendre dans quel environnement cet

évènement a-t-il lieu : c'est la classe 'ProjectContext'. Elle comporte un mécanisme de versionnement qui permet de faire évoluer le contexte du projet dans le temps, comme lors d'une modification de la demande du client ou un changement de stratégie interne à l'entreprise.

- une définition initiale, par la classe « EventActivity » et la classe « Event », de nature plutôt quantitative : la désignation, la date d'occurrence, les acteurs impliqués, éventuellement sa durée et/ou la date prévue, l'objectif de cet évènement, son importance, le résultat attendu et la décision prise, et des commentaires libres. Un évènement peut donc ici représenter des actions ponctuelles et spontanées de courte durée comme l'envoi d'un mail, ou de plus longue durée comme une discussion à la machine à café, mais aussi des tâches planifiées comme des réunions de travail ou un jalon de validation.
- des critères, par la classe 'CollaborativeCriteria', visant à formaliser la façon dont la collaboration s'est déroulée d'un point de vue plus qualitatif : la localisation (même lieu ou lieu différent), la temporalité (en même temps ou à des moments différents), le niveau de prescription, le niveau de planification et le niveau de formalisation via un support (téléphone, papier, outil informatique, méthode spécifique…). Pour compléter ce type d'information, la classe 'ActivitySubject' permet de caractériser le type d'action réalisée pour la situer dans le processus de conception (action plutôt préparatoire comme un rapport ou de la planification, de contrôle comme une validation ou un jalon, ou plutôt technique comme une action de conception ou d'industrialisation). La classe 'subject' permet enfin d'indiquer la nature de cet évènement : réunion physique, discussion, vidéo-conférence, coup de téléphone, etc.

Après cette première caractérisation, l'observateur peut associer à l'évènement capturé :

- une évaluation via la classe 'evaluation' plus personnelle : le temps perçu par les acteurs, qui peut parfois signifier qu'une action a été peu productive ou au contraire très riche et efficace ; la difficulté technique qui peut compenser ou amplifier l'impression donnée par le temps perçu ; et le niveau d'utilité qui permet d'évaluer si le résultat obtenu est plutôt pertinent et contribue à faire progresser le processus de conception.
- l'analyse elle-même, via la classe 'analysis', qui comporte une partie libre mais aussi quelques éléments identifiés basés sur des critères entièrement qualitatifs de la part de l'observateur : la « qualité » des relations entre les acteurs, la « qualité » de la productivité atteinte pendant l'évènement, « l'ampleur » de la communication entre les acteurs, la motivation « ressentie », à moduler avec la présence de plusieurs « niveaux hiérarchiques » parmi les acteurs, ou le « niveau de confidentialité » requis. Ces connaissances résultent d'une analyse personnelle et sont potentiellement porteuses de controverses. Pour cette raison leur utilisation devra être limitée et leur accès contrôlé.
- des liens de différentes natures (classe 'Link') : des liens temporels, de type cause à effet, … qui participent à la compréhension des mécanismes collaboratifs, à la justification de certaines anomalies ou à la formulation de bonnes pratiques.

Les premières expérimentations menées ont mises en évidence la nécessité de corréler les connaissances issues de la capture et l'analyse des évènements collaboratifs avec les connaissances nécessaires à la coordination. En particulier les successions d'évènements tracés n'ont pas tous le même niveau de granularité quand ils sont comparés au processus de conception [Gonnet et al. 07] : ainsi une succession de mails et de coups de téléphone puis la rédaction d'une note interne, peut correspondre à une tâche identifiée dans le processus de conception et qui met en évidence des paramètres jusqu'alors ignorés ou non formalisés. Le modèle de collaboration initiale a donc été enrichi de la classe 'activity', dotée des mêmes caractéristiques qu'un évènement, pour regrouper des évènements au sein d'activités, elles-mêmes pouvant être groupées à un niveau supérieur afin de caractériser les différents niveaux de granularité requis par l'analyse.

Par ailleurs les évènements collaboratifs tracés permettent de caractériser des séquences de tâches qui peuvent être réutilisée par le chef de projet comme des processus élémentaires ou des processus types directement lors de sa planification. Pour cette raison plusieurs activités peuvent être reliées via la classe 'process', autorisant ainsi l'identification dans le projet d'un processus de conception structuré en sous-processus, puis en activités et enfin en évènements.

Ce modèle de collaboration permet donc de gérer la totalité des connaissances nécessaires à la capture, la compréhension et l'analyse des évènements collaboratifs, ainsi-que leur exploitation en vue de formaliser sous forme de processus les bonnes pratiques lors des projets de conception, en vue de leur utilisation par les chefs de projet. Ce modèle nécessite l'intervention d'un observateur expert neutre pour permettre une formalisation fiable des connaissances et une exploitation collective et non individualisée des informations saisies. Un outil logiciel est nécessaire pour permettre d'exploiter ce modèle au vu de la quantité d'évènements identifiables lors d'un projet de conception. C'est l'objet de la section suivante.

3.3.3. Contribution : Un outil support, CoCa

L'outil logiciel CoCa a été développé en vue de supporter la capture des évènements collaboratifs émergents lors du développement d'un produit et de faciliter l'analyse des données récoltées pour formaliser des préconisations à destination des chefs de projets.

Il est donc destiné à être utilisé par un observateur-analyste, impliqué dans les projets de conception pour être dans l'action, mais externe à l'équipe de conception pour conserver sa neutralité autant que possible.

Développé en langage Java et avec une base de données relationnelle accessible en réseau, l'interface utilisateur se répartit entre trois fonctionnalités complémentaires : la gestion des projets, la gestion des évènements collaboratifs, la visualisation des données collectées.

Après un écran de connexion, l'analyste accède à un écran précisant la liste des projets en cours. Il peut créer un nouveau projet, modifier un projet existant ou sélectionner un projet existant pour accéder aux fonctionnalités relatives aux évènements collaboratifs. Modifier un projet revient à modifier le contexte de ce projet, c'est-à-dire les paramètres qui caractérisent

ce projet (figure suivante). L'analyste a la possibilité d'écraser les paramètres précédents (modification mineure) ou de générer une nouvelle version du contexte projet si ces modifications coïncident avec un changement d'orientation des objectifs stratégiques du projet. La liste des évènements correspondant au projet ou à la version du contexte est également affichée afin d'obtenir une vision d'ensemble du projet.

Les fonctionnalités dédiées aux évènements collaboratifs sont regroupées à travers un écran « event » qui synthétise à la fois les fonctions pour la capture et les fonctions pour l'analyse (figure suivante). La capture comprend plusieurs onglets permettant de caractériser un évènement : le 'contexte' de l'évènement, le 'type et le sujet' et les 'critères' de mesure. L'analyse est saisie à travers les onglets 'liens' entre évènement puis 'évaluation/analyse'.

Enfin les fonctionnalités de visualisation proposent aujourd'hui une représentation graphique de l'enchainement des évènements basée sur un critère temporel et/ou causal et/ou problème. A terme il est envisagé d'adjoindre un module statistique permettant d'obtenir des synthèses issues des paramètres de caractérisation des évènements, et ce en cumulant les données de plusieurs projets.

L'outil CoCa a été expérimenté au sein de la PME Ederena Concept sur 3 projets différents, cumulant ainsi une centaine d'évènements collaboratifs.

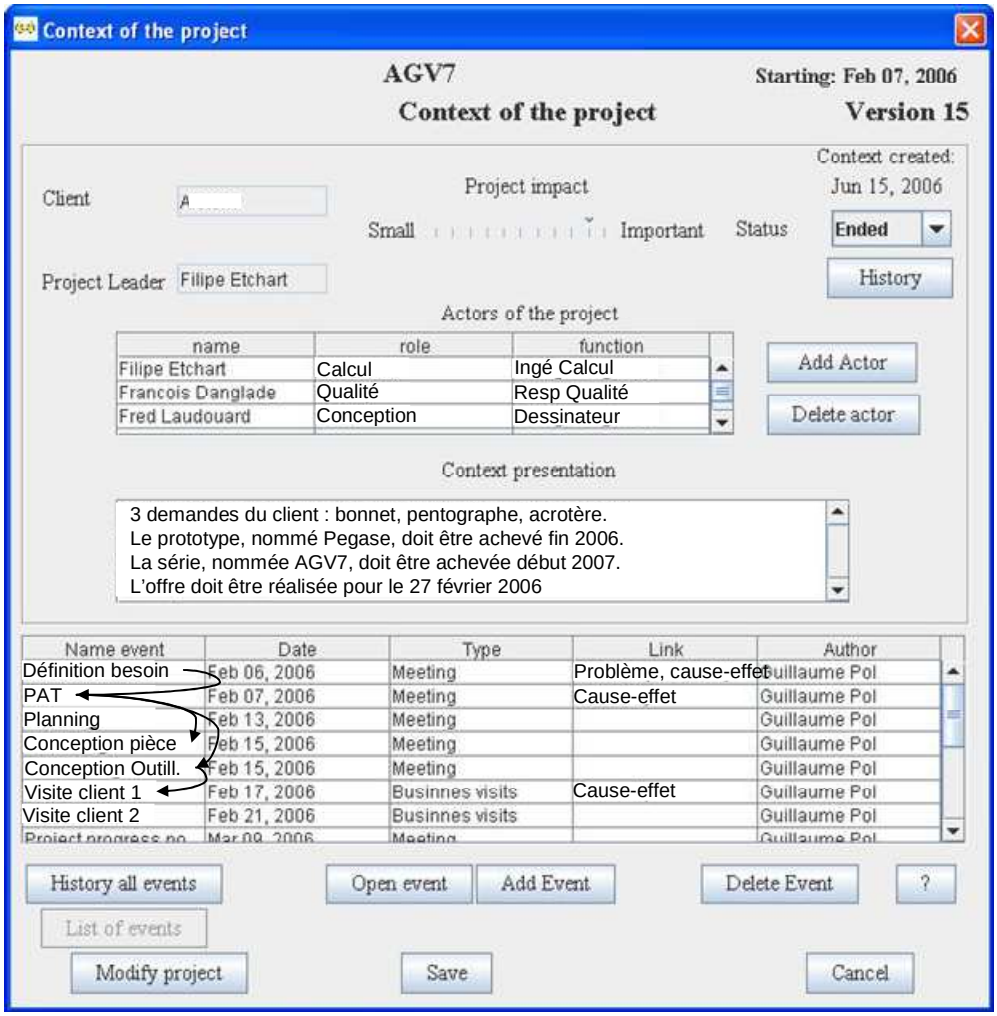


Figure 22. Contexte du projet AGV7

La figure 20 présente le contexte du projet AGV7, projet extrêmement important pour l'entreprise car en liaison avec un donneur d'ordre du secteur ferroviaire. La liste des évènements montre la définition de liens de type causalité et problèmes sur 3 évènements, reconstituant ainsi une séquence d'évènements dont le dernier relate l'identification d'un problème. L'analyste a ici pu reconstituer l'enchainement des actions qui ont amené ce dysfonctionnement et peut donc alors procéder à la recherche d'une solution viable pour éviter de répéter ce problème dans l'avenir.

La figure suivante montre la caractérisation des critères décrivant un évènement collaboratif, ici la réunion de travail en présentiel relative à la conception de l'outillage. Cette réunion n'a pas été planifiée, ni requise par le chef de projet, et les supports habituels des acteurs ont été utilisés : l'outil de GPAO en l'occurrence. Le commentaire signale qu'à ce stade du processus de conception, une étude préliminaire aurait due être faite pour définir une enveloppe financière validée par le client. Cela sous-entend que les solutions possibles de conception étudiées durant la réunion correspondent à des coûts très hétérogènes, empêchant ainsi la prise de décision. D'où le besoin de déclencher une réunion avec le client, comme indiqué dans la figure 20.

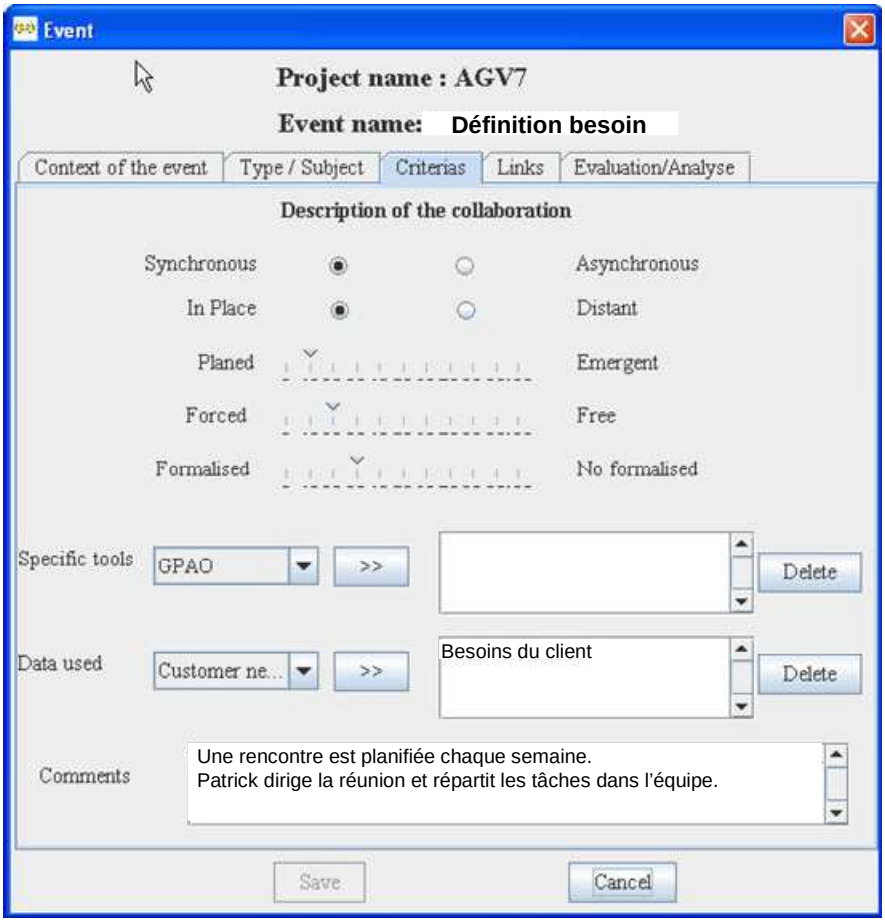


Figure 23. Critères collaboratifs de l'évènement "definition besoin", projet AGV7

La figure 21 montre l'analyse menée sur l'évènement collaboratif « définition des besoins », qui a pour but de valider si l'ensemble des besoins identifiés est suffisant pour engager l'étude correspondante. En premier lieu les indicateurs qualitatifs indiquent que cet évènement auquel participait le responsable hiérarchique révèle : un bon niveau de

consensus entre les acteurs, une motivation moyenne, une discussion plutôt productive mais de faible efficacité au niveau collaboratif. Le commentaire précise cette évaluation : comme les acteurs sont tous en surcharge de travail, aucun n'a pleinement participé pour garantir que les besoins sont exhaustifs. La figure 22 précise que cet évènement impacte l'évènement suivant, d'identification et de planification des tâches, ce qui aboutit au manque d'information sur les couts constaté plus tard dans le processus.

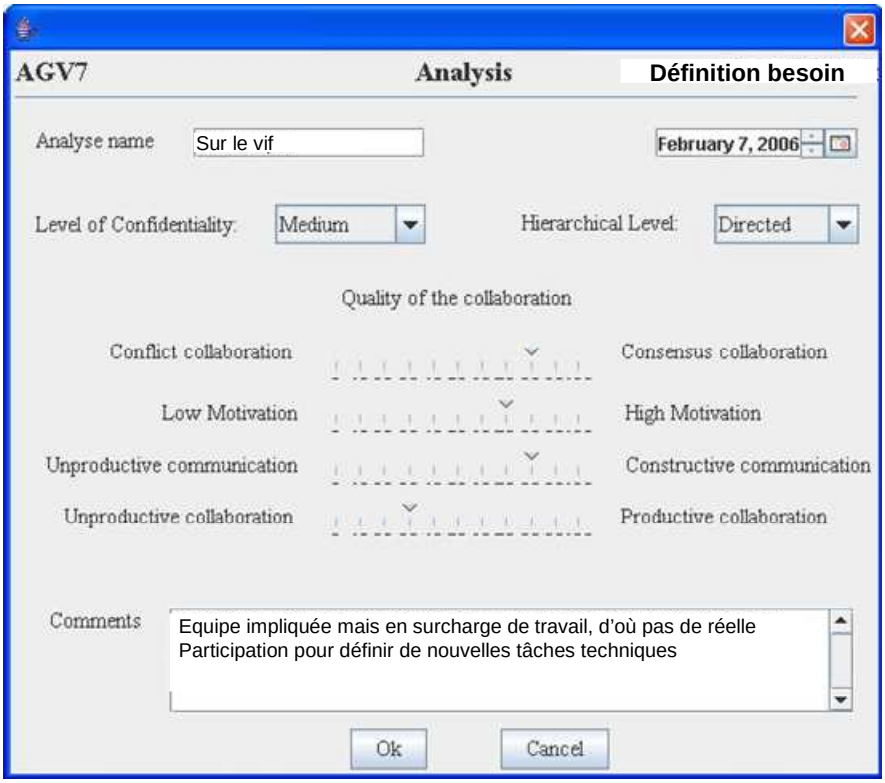


Figure 24. Analyse de l'évènement "definition besoin", projet AGV7

Le problème ainsi rencontré et les causes ainsi identifiées permettent ensuite à l'analyste de préconiser différents types de solution. Dans cet exemple il peut se focaliser sur les aspects humains de la cause et travailler avec le responsable de l'entreprise sur l'organisation et la composition du département technique et des équipes projet. Mais il peut aussi se focaliser davantage sur la conduite du projet et établir un processus type plus détaillé comportant des tâches obligatoires et des tâches conditionnées par différents critères à évaluer en cours de projet. Enfin il peut aussi se focaliser sur les outils à disposition du chef de projet et des acteurs en définissant des fiches types pour chaque type d'évènement collaboratif, fiche comportant des indicateurs ou des actions à évaluer de façon systématique de façon à pallier le manque d'investissement des acteurs.

La démarche mise en œuvre lors de ces expérimentations a donc été formalisée sous la forme d'une méthode d'analyse de la collaboration et de préconisation pour la conduite. Cette méthode (figure 23) s'appuie sur l'outil CoCa et aboutit à des propositions d'amélioration de la conduite par les chefs de projet.

Trois types principaux de propositions ont pu être déterminés :

- des préconisations portant sur une meilleure prise en compte des facteurs humains par le chef de projet : organisation des équipes, mise en place de moyens logiciels ou procéduraux pour la collaboration plus adaptés, etc ;
- des préconisations portant sur une meilleure caractérisation des processus de conception : des processus formalisés à un niveau de granularité plus fins, pouvant comporter l'identification de séquences optionnelles ou résultant de décisions intermédiaires, la définition de règles pour aider à la prise de décision, ou la caractérisation de formulaires à destination des acteurs, etc ;
- des préconisations portant sur la collaboration elle-même : identification des tâches qui doivent proposer voire imposer une collaboration, avec quels acteurs, pour quel but… ; préconisation des types de collaboration les plus adaptés pour chacune de ces tâches collaboratives (présentiel ou non, avec un support formalisé ou non, avec une validation finale ou non…) ; etc.

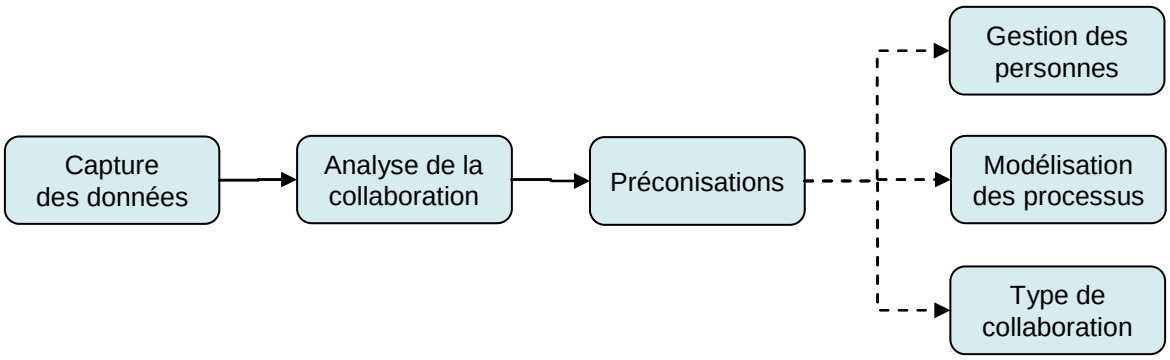


Figure 25. Types de préconisations possibles pour améliorer la coordination

Les propositions visant à détailler le processus de conception ont d'ailleurs pu être étudiées en liaison avec les systèmes PLM qui ont vocation à piloter les processus élémentaires de conception. Les processus détaillés et flexibilisés [Badke-Schaub & Stempfle 04] identifiés grâce à l'analyse de la collaboration permettent d'établir des spécifications destinées à configurer les systèmes PLM. Cet aspect est développé en fin de la section 1.4.3.

3.3.4. Synthèse : Coordination et collaboration, 2 concepts liés

Dans le cadre de la conduite de la conception, j'ai d'abord mené plusieurs travaux portant sur la coordination de la conception, ce qui se traduit par des modèles et outils destinés à venir supporter principalement les chefs de projet. La prise en compte du facteur humain est indispensable pour ne pas réduire les acteurs de la conception à de simples ressources qui reçoivent des directives et les exécutent. Ce facteur humain est l'une des origines amenant à la grande variabilité des processus de conception.

L'étude de la collaboration est donc indispensable pour donner au chef de projet des outils permettant de réduire cette variabilité pour de la conception routinière, ou au contraire de l'exploiter au mieux pour de la conception innovante par exemple. Les travaux et les

expérimentations réalisés montrent que coordination et collaboration sont intimement mêlées et relèvent souvent du niveau de granularité que l'on considère. Une tâche est prévue et planifiée à un niveau donné, c'est la coordination, mais les actions engagées par les acteurs pour mener à terme cette tâche peuvent relever de la collaboration. Certaines de ces actions pouvant correspondre à des ajustements entre les acteurs pour s'organiser, la collaboration implique aussi des actions de coordination.

Coordination et collaboration sont indissociables et les études menées sur la collaboration viennent compléter les études prévues pour la mise en œuvre de la conduite, au sein de la méthodologie GRAI Ingénierie, comme le montre la figure suivante.

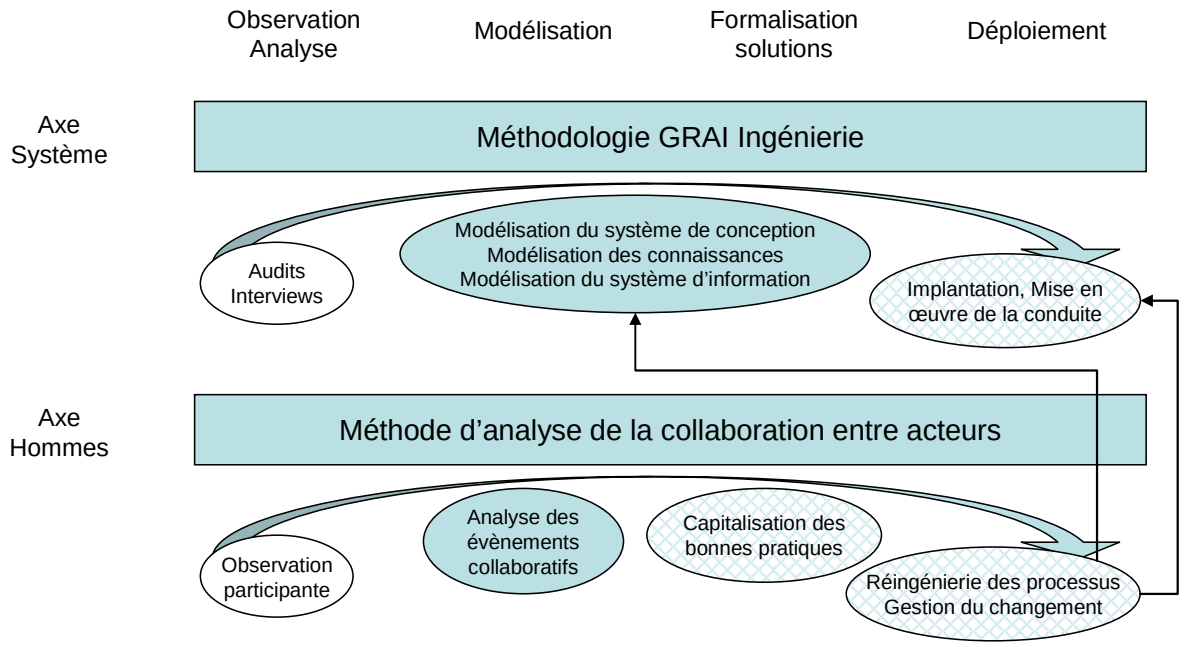


Figure 26. Cartographie de mes apports scientifiques

3.4. AXE ENVIRONNEMENTS D'ASSISTANCE : LA PROPOSITION DE SYSTEMES D'INFORMATION POUR LA CONDUITE ET LES ACTEURS

Dans cette section, j'aborde l'axe relatif à l'élaboration d'environnements d'assistance informatiques. Les différents travaux engagés reposent sur l'exploitation de plusieurs types de résultats portant sur :

- les approches orientées-objets [Booch et al. 99, Quatrani 00] et les systèmes d'information collaboratifs [Johansen 98] pour des travaux de spécification d'outils ;
- les systèmes multi-agents [Ferber 97, Jennings et al. 98] pour des travaux faisant appel à la gestion dynamique et collective des connaissances ;
- et les systèmes PLM [CIMdata, 03, Liu et al., 01] pour l'étude de ces outils.

Les différents prototypes logiciels sur lesquels je suis intervenu ont été conçus pour répondre à des besoins applicatifs spécifiques Ils ont été à chaque fois l'occasion de mener une réflexion sur la démarche méthodologique à mettre en œuvre pour garantir la mise au point d'un environnement logiciel répondant simultanément aux besoins spécifiés par des travaux scientifiques préalables, mais aussi aux futurs utilisateurs, tout en prévoyant une intégration potentielle à un environnement industriel.

Contributions : méthode de spécification d'environnements d'assistance pour la conduite ; méthode de spécification et d'implémentation d'outils PLM

L'une des principales contributions, à ce jour encore inachevée, porte sur la formalisation d'une méthode générique destinée à spécifier et mettre en œuvre un environnement d'assistance pour la conduite. Aujourd'hui n'a été formulée que la partie amont : une méthode de spécifications couplée à la méthodologie GRAI Ingénierie de façon à intégrer les besoins et modèles métiers issues de la conduite. Elle a été appliquée dans le cadre du projet IPPOP, mais également lors du développement du logiciel CoCa, du prototype logiciel impliquant des agents logiciels, et actuellement dans le projet ANR ATLAS.

Cette méthode a également été appliquée pour la spécification d'outils PLM (§) et a été couplée à la méthode d'analyse des mécanismes collaboratifs pour y intégrer les améliorations et préconisations issues de l'observation directe des acteurs (thèse de G.Pol, §). Il s'agit d'une contribution originale qui se veut être une alternative aux approches de type « pattern » développées par exemple par [Gzara 05]. L'étude des systèmes PLM a permis notamment de démontrer leurs limites en matière de conduite de la conception, tant au niveau de la prise de décision et du pilotage du processus de conception, que des besoins métiers des acteurs de la conception.

Contributions : principe technologique pour l'implémentation de mécanismes de conduite dans les outils PLM ; modélisation des préférences utilisateurs en conception collaborative ; intégration du concept ULM dans la gestion du cycle de vie produit

Suite à ce constat, plusieurs contributions venant compléter la méthode générique de spécification et de mise en œuvre ont été réalisées :

- la proposition d'un mécanisme basé sur la technologie des workflows pour gérer des processus multi-niveaux flexibles, en vue d'intégrer les mécanismes de pilotage au sein des outils PLM ;
- l'intégration de la dimension utilisateur dans les outils méthodologiques et logiciels des concepteurs par la modélisation de connaissances 'a priori' des préférences utilisateurs (thèse de Livier Serna) ;
- la proposition d'outils de capitalisation des usages du produit pour une exploitation 'a posteriori' par les concepteurs : intégration du concept ULM (Usage Lifecycle Management), développé par Emilie Chapotot, dans le contexte PLM.

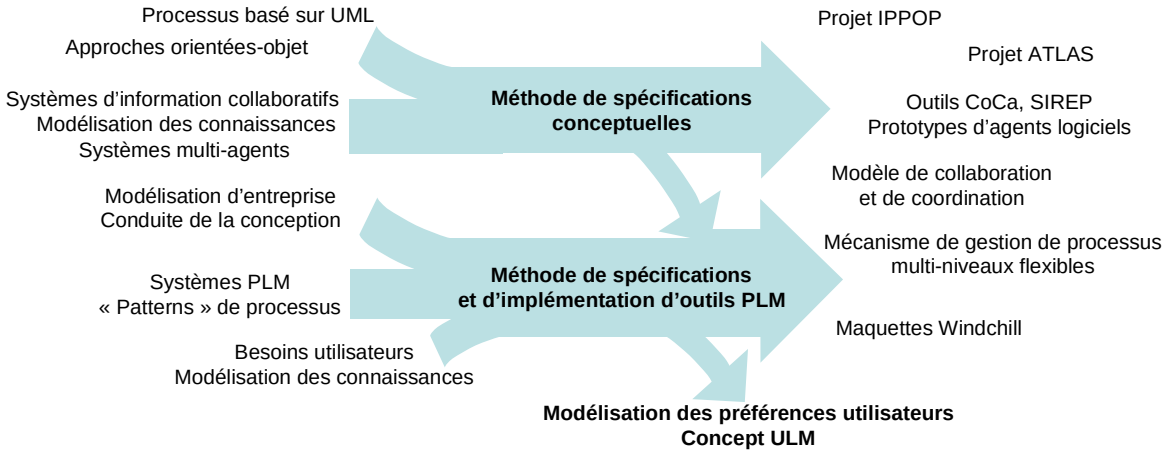


Figure 27. Axe « environnements d'assistance », domaines de recherche supports, bilan des contributions et résultats

3.4.1. Contribution : Méthode pour la spécification conceptuelle d'environnements d'assistance

Toute démarche de génie logiciel comporte une phase d'analyse puis une phase de conception avant de procéder au développement proprement dit de l'environnement logiciel. Mes différentes expériences en développement de produit, que ce soit dans un contexte scientifique ou dans un contexte d'exploitation pédagogique ou industrielle, m'ont conduit à la position suivante : le développement d'un environnement logiciel complexe relève de spécialistes, sur la base de spécifications techniques qu'ils ont eux-mêmes élaborées avant de démarrer la phase de conception. Car c'est durant cette phase que sont réalisés les choix des technologies de développement, des outils logiciels et des composants sur lesquels sera construit le futur environnement logiciel. Dans le cadre de mes activités scientifiques je me suis donc focalisé sur la phase d'analyse et la production des informations requises pour la phase de conception et le transfert des connaissances adéquates à destination des développeurs.

Par considère, je considère les différents modèles résultant d'une approche scientifique et destinés à être exploités par les spécialistes du développement logiciel comme un ensemble formant des « spécifications conceptuelles ». Ces spécifications fonctionnelles se

différencient des spécifications techniques de développement en cela qu'elles ne représentent pas les spécifications établies par les utilisateurs potentiels, mais qu'elles constituent une réponse générique à une problématique propre à l'organisation des utilisateurs potentiels. Le travail des spécialistes en développement consiste dans un premier temps à traiter ces spécifications conceptuelles pour en faire un produit logiciel opérationnel.

Dans le cadre de ma thèse de doctorat, j'ai élaboré une première méthodologie relative à la phase d'analyse [A6] conciliant 2 points de vue :

- l'expertise « métier » [Liao 05], qui a permis d'élaborer différents modèles comme par exemple ceux de la méthode GRAI Ingénierie : les principes de structuration, les flux d'information, les différentes catégories de connaissances modélisées ; la modélisation métier formalise les possibilités escomptées du système et des besoins utilisateur en tant que solution générique issue de la résolution à un niveau conceptuel d'une problématique donnée,
- la « vue de l'utilisateur », qui permet de définir les besoins opérationnels de l'application : la nature des interactions entre les utilisateurs, l'impact des facteurs socio-culturels, l'influence des habitudes quant aux outils existants et l'ergonomie des interfaces, l'évolution de l'entreprise, de son organisation et donc de ses besoins ; la modélisation des besoins donne une description de la vision du système, des besoins fonctionnels et non fonctionnels intégrant les contraintes d'un environnement industrialisable.

La mise en œuvre de la méthode dans son ensemble s'appuie sur un ensemble de modèles, représentés par des diagrammes UML (figure 20), qui sont réalisés en respectant une chronologie précise [Quatrani 00]. Cette analyse se focalise sur la description fonctionnelle du système d'information de façon à pouvoir décrire globalement ses fonctionnalités principales vis-à-vis des acteurs. La démarche adoptée, symbolisée par les flèches de parcours de la figure 26, s'inspire de cette chronologie et se focalise sur les aspects suivants :

- Etape 1 : caractérisation des fonctions principales du système vues sous l'angle de l'utilisateur, puis définition du comportement de ces fonctions sous forme d'actions : **diagrammes des cas d'utilisation**, puis **diagrammes d'activité**.

Cette première étape reprend le travail déjà effectué dans le chapitre 3 à l'aide des formalismes actigrammes et sert à supporter les étapes suivantes. Les diagrammes d'activités établis pour l'acteur de la conduite et pour l'acteur de la conception viennent compléter la description du comportement attendu du système pour en formaliser la dynamique en décrivant les activités résultant de l'interaction des acteurs avec le système et leurs enchaînements. Ces activités sont ordonnées chronologiquement et précisent les alternatives ou synchronisations nécessaires.

- Etape 2 : définition de la structure statique du système par l'identification des classes nécessaires à la réalisation des opérations précédentes, et ébauche des **diagrammes de classes** correspondant ; la correspondance entre ces classes et la modélisation des connaissances effectuée au chapitre précédent est bien entendu établie,

- Etape 3 : caractérisation de scénarios détaillés à partir des **diagrammes de cas d'utilisation** et permettant de les appliquer dans différents contextes,
- Etape 4 : définition de la représentation temporelle des objets (et/ou classes) et de leurs interactions via l'échange de messages (**diagrammes de séquence** complétant les scénarios), les diagrammes de collaboration ne sont pas élaborés dans la mesure où ils comportent des renseignements proches de ceux fournis par les diagrammes de séquence, mais avec une vision spatiale plutôt que temporelle,
- Etape 5 : reprise des **diagrammes de classes** pour établir les relations unissant les différentes classes ; cette étape conduit à réaliser une seconde itération sur les points précédents pour compléter les modèles et aboutir à des solutions plus conformes aux besoins,
- Etape 6 : représentation des aspects dynamiques du système par la réalisation des **diagrammes états-transitions** modélisant le comportement d'une classe à partir de ses états possibles.

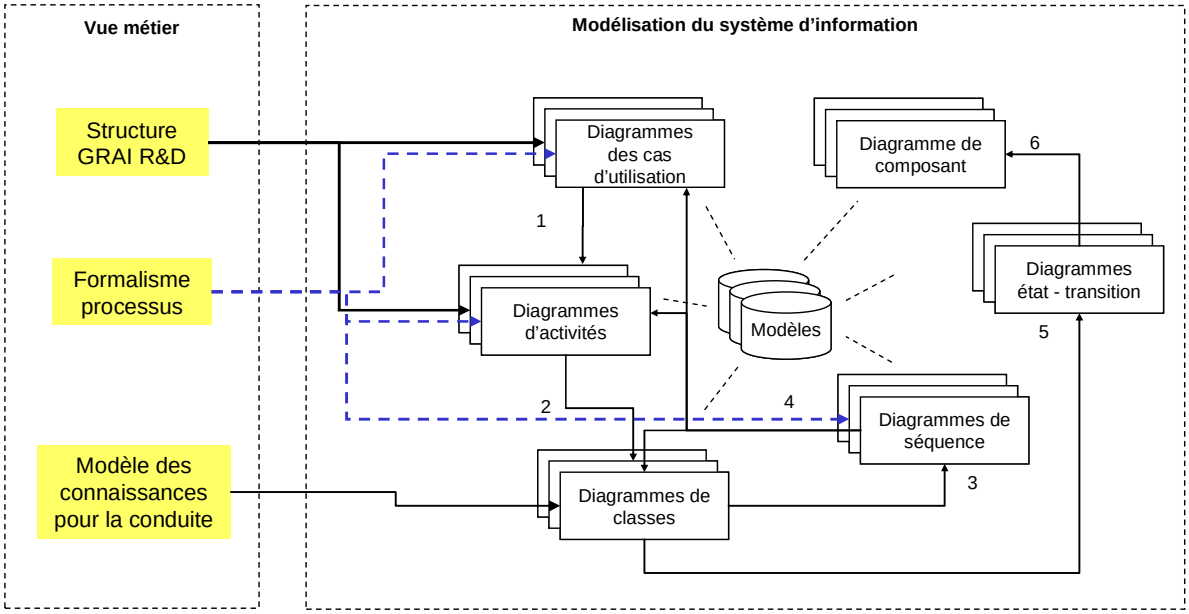


Figure 28. Diagrammes UML et démarche proposée illustrée pour la méthode GRAI Ingénierie

La vue de l'utilisateur n'est pas ici exprimée et a été développée à travers différents travaux : le projet RNTL IPPOP dans un premier temps mais aussi dans le cadre du développement du logiciel CoCa (thèse de G.Pol), puis plus récemment dans le cadre du projet ANR ATLAS. Une nouvelle version améliorée de cette méthode de spécification est ainsi proposée (figure 27).

Le projet IPPOP a montré les limites de la première méthode de spécifications en démontrant les ambiguïtés pouvant exister dans la collaboration entre des acteurs de métiers et de cultures différentes. A titre d'illustration les diagrammes de classe produits lors des étapes 2 et 4 ne formalisent et ne représentent pas les mêmes concepts selon qu'ils sont émis ou exploités par des scientifiques pour exprimer des solutions génériques, ou des développeurs professionnels pour spécifier un environnement logiciel opérationnel. C'est pourquoi j'ai préconisé la séparation de la phase d'analyse en deux sous-phases :

– la première destinée à élaborer une modélisation « conceptuelle » des spécifications, basée sur l'utilisation de formalismes reconnus par les développeurs, notamment les formalismes UML ;

– la seconde destinée à élaborer des « spécifications techniques » du futur système d'information. Cette sous-phase peut être prise en charge par une équipe de développement ou par une équipe mixte de chercheurs et de développeurs de façon à garantir un meilleur transfert de connaissances.

En outre, les projets réalisés ont montré l'intérêt de « matérialiser » au plus tôt les principes, modèles et mécanismes génériques élaborés pour montrer concrètement leur impact au niveau de l'utilisateur. Cette « vue utilisateur » sera donc basée sur la production de « maquettes » représentant sous forme de séquences d'écrans des scénarios courts montrant les interactions entre un utilisateur et le futur système d'information.

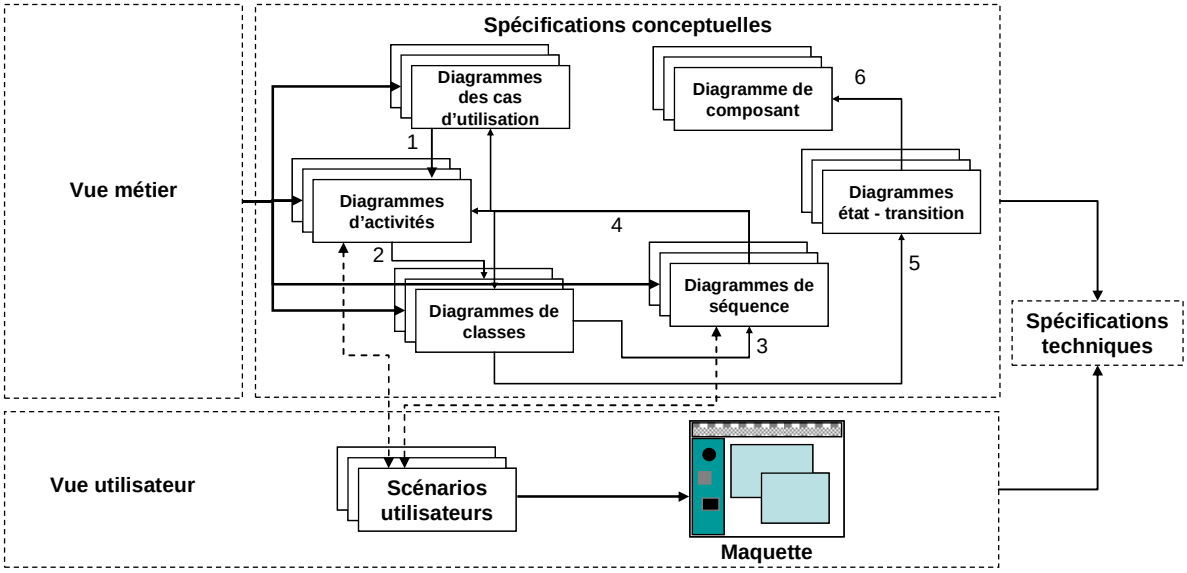


Figure 29. Diagrammes UML et démarche de spécification conceptuelle

Dans le projet ATLAS, il est prévu que ces scénarios soient coordonnés par un industriel ayant déjà l'expérience de projets de R&D et construits à partir de collaborations avec des industriels de type utilisateurs finaux. Les maquettes seront élaborées dans un premier temps par les laboratoires de recherche puis reprises lors des spécifications techniques proprement dites. Ces dernières intègrent les contraintes industrielles et notamment les interactions avec les outils existants : interactions au niveau des acteurs (tâches réalisées sur des outils existants), des données (échanges entre le futur environnement d'assistance et des outils existants), ou des fonctions (actions déclenchées depuis l'environnement d'assistance mais réalisées dans des outils existants).

Cette démarche permet d'intégrer les multiples points de vue qui se confrontent dans un projet de R&D en vue de répondre de façon générique à une problématique industrielle : les modèles et concepts scientifiques préconisés, les besoins utilisateurs et ergonomiques tant au niveau statique (données) qu'au niveau dynamique (fonctionnement), et les contraintes opérationnelles.

Dans la prochaine section nous allons évoquer les principales contributions élaborées lors de la production d'environnements logiciels pour la conduite.

3.4.2. Contributions : Des environnements d'assistance pour la conduite

Architecture globale d'un environnement pour la conduite

L'environnement d'assistance préconisé lors de ma thèse de doctorat doit :

- aider les acteurs du système décisionnel à structurer le système technologique par la décomposition progressive d'un processus en sous-processus destinés à satisfaire à des objectifs de conception de plus en plus réduits et maîtrisables,
- donner les moyens aux acteurs du système technologique d'atteindre leurs objectifs en leur fournissant un cadre de travail adéquat et en leur permettant de formaliser l'ensemble des connaissances produit,
- faciliter l'archivage des connaissances pour les acteurs de la conduite en vue d'évaluer la performance atteinte, tout en minimisant le travail requis pour assurer cet archivage,
- permettre aux acteurs de la conduite de formaliser cette évaluation, les écarts constatés, puis les diagnostics et les problèmes identifiés en vue de prendre des mesures correctives venant redéfinir les plans de coordination.

Plusieurs éléments sont essentiels pour le choix d'une architecture permettant de répondre à ces objectifs. Si les modèles proposés précédemment répondent aux besoins initialement présentés, surtout ceux de la vue métier, il faut garantir un niveau d'adéquation satisfaisant en se basant sur les besoins exprimés dans les vues utilisateur (ergonomie et facteurs socio-culturels principalement) et d'implémentation (évolutivité et intégration). Les différentes classes sont alors regroupées au sein de composants qui proposent une structuration fonctionnelle de la future architecture logicielle (figure 28) :

- le « moteur GRAI Ingénierie » qui regroupe les classes spécifiques au fonctionnement du système et assure la coordination de l'ensemble des flux d'information entre les utilisateurs puis entre les utilisateurs et les autres composants du système d'information. Nous choisissons la technologie des gestionnaires de « workflow »1 pour répondre aux besoins de la classe « moteur GRAI Ingénierie » et faciliter l'identification du contexte des actes et des activités.
- les « bases de connaissances » qui regroupe des classes génériques utilisées pour gérer les informations archivées.
- l'« exploration des bases de connaissances » qui permet à l'utilisateur d'accéder aux informations archivées à travers différents filtres.
- la « capitalisation » qui regroupe les classes permettant de générer des connaissances de capitalisation à long terme soit de façon formelle, soit en s'appuyant sur des connaissances d'exploitation.

[1] Workflow : terme anglo-saxon désignant l'automatisation d'un processus associé à des activités humaines. Les rares traductions existantes ne donnant pas satisfaction (« flot de travail » pour [Ben Attalah 97] ou « flux de travail » pour [Kanawati 97]) nous continuons à utiliser ce terme.

- les « coordination, suivi et diagnostic » qui permet de manipuler ce type de connaissances.
- le « produit » qui permet de manipuler les connaissances produit.
- le « processus » qui permet de manipuler les connaissances processus (traçabilité) en liaison avec la gestion des tâches assurée par le composant « moteur GRAI Ingénierie ».

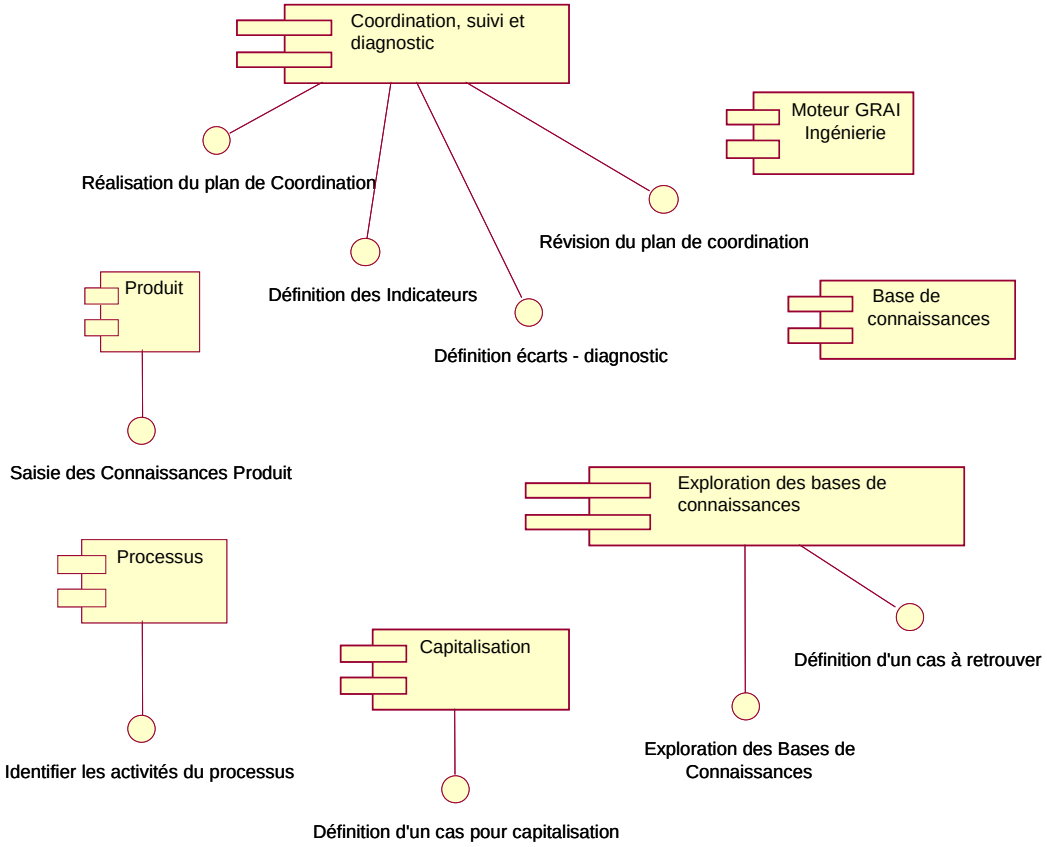


Figure 30. Diagramme des composants

Cette architecture générique doit être complétée par la description d'une interface utilisateur afin de caractériser la mise en œuvre des concepts issus de la recherche. L'IHM doit constituer un relais efficace pour les fonctionnalités pressenties et faciliter l'accès aux informations adéquates, la figure 29 en propose une description macroscopique s'appuyant sur l'architecture proposée.

Ces travaux génériques ont été exploités ensuite dans différents travaux et projets pour aboutir à des implémentations partielles et complémentaires destinées à des utilisateurs spécifiques : PEGASE pour une vocation scientifique, IPPOP pour traduire les points de vue de EADS CCR et de Alstom Moteurs, ATLAS pour les industriels du pole AESE.

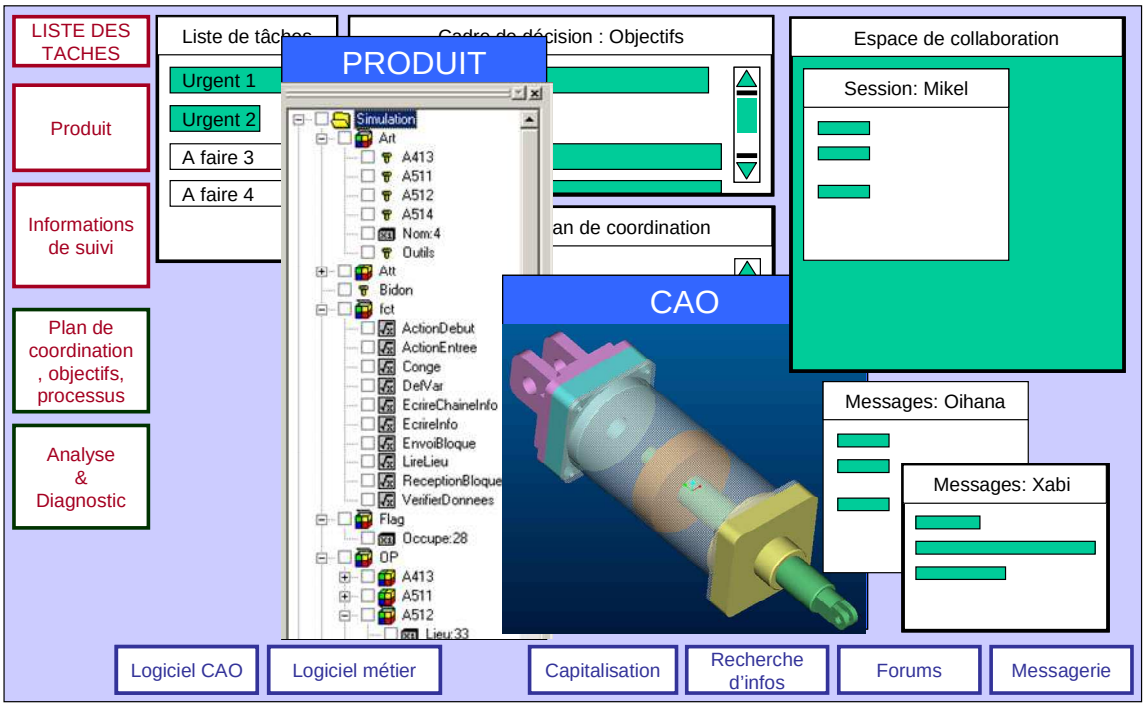


Figure 31. Exemple d'une interface graphique pour un acteur d'un centre de décision

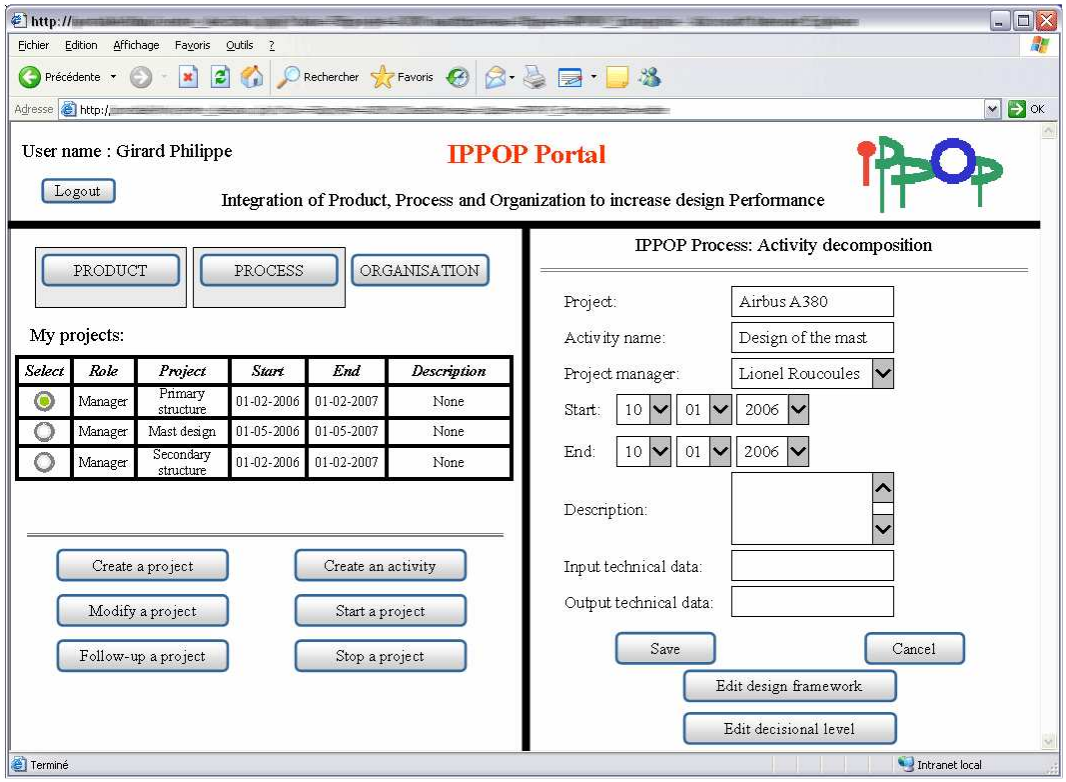


Figure 32. Exemple d'IHM du prototype IPPOP : création de tâche

Dans le cadre du projet IPPOP, les travaux menés ont permis de compléter les modèles pour la conduite de la conception, désignée comme la dimension organisation, en intégrant deux dimensions supplémentaires : la dimension produit, synthèse des travaux réalisés par plusieurs laboratoires français sur la modélisation multi-vues du produit ; et la dimension

processus, qui associée à la modélisation du produit, assure la traçabilité au sein du système technologique. Ces deux dimensions sont intégrées dans notre architecture au niveau des composants produit et processus. En outre dans IPPOP sont prises en compte des contraintes industrielles : l'environnement d'assistance doit être couplé aux outils CAO et aux outils SGDT de l'entreprise pour la modélisation du produit et la gestion des informations relatives à la gestion du cycle de vie du produit. Enfin, les différents composants proposés et illustrés par la figure 28 ont été regroupés au sein d'une nouvelle d'IHM (figure 30) pour ne faire apparaitre que 3 composants principaux, ce qui contribue à simplifier l'IHM initiale.

Dans le cadre des développements réalisés par [Robin 2005] pour le prototype PEGASE, ces principes ont été appliqués mais en se focalisant uniquement sur les composants processus, coordination et moteur GRAI ingénierie.

Le projet ATLAS [Aldanondo et al. 08] se focalise quant à lui sur les dimensions produits et processus : éviter que la conception ne débouche sur des infaisabilités de planification ou pouvoir prendre en compte des contraintes de projet dès les premiers choix de conception sont les buts principaux de ce projet. Pour ce faire, les choix de conception et de planification considèrent des ensembles d'alternatives, de variantes et/ou d'options assimilables à de la connaissance de conception et de planification. Ces degrés de liberté sont progressivement réduits pour aboutir à la définition finale du produit et de son projet de réalisation. Le prototype logiciel ATLAS va en conséquence associer un environnement de conception avec un environnement de gestion de projet. Les connaissances caractérisant les interdépendances entre les deux environnements permettront alors de propager les décisions ou choix d'un environnement vers l'autre. La dimension organisation n'est pas omise puisqu'elle permet d'intégrer les 2 dimensions couplées produit-processus au sein d'un environnement orienté vers la gestion de projet, en reprenant les travaux menés au sein d'IPPOP. La figure suivante illustre l'une des premières IHM spécifiant le cadre général du prototype.

Figure 33. IHM initiale du prototype ATLAS : page récapitulative des projets / tâches

La réalisation puis l'expérimentation de ces prototypes (IPPOP auprès d'EADS CCR et d'Alstom Moteurs et Pégase auprès les étudiants ESTIA en option CGP) ont montré les limitations des IHM pour l'instant développées et de nouveaux travaux doivent être mis en œuvre pour les améliorer. Toutefois ces premiers tests concluent au fait que les principales fonctionnalités existantes permettent de répondre aux besoins suivants :

- corréler l'organisation de l'entreprise et la structuration du projet,
- structurer le projet et planifier le processus de conception en intégrant des indicateurs de performance de type processus mais aussi organisation et produit,
- assurer le suivi du projet en s'appuyant sur cette intégration et ces indicateurs.

Ces retours mettent aussi en évidence certains mécanismes complexes pour lesquels les choix pour le futur développement influencent fortement la performance du service attendu par les utilisateurs, et notamment :

1. l'identification et la structuration des activités constituent des tâches fastidieuses pour les acteurs dont ils n'ont pas de retour immédiat susceptible de les motiver ; aussi est-il nécessaire d'automatiser la saisie des activités élémentaires, et de les contextualiser pour limiter au maximum la partie saisie et validation finale qui doit rester sous la responsabilité humaine,
2. le problème de la contextualisation des activités, introduit par le point précédent, qui se pose pour l'utilisateur recevant une tâche à réaliser : pour un message ou une activité reçue, il doit pouvoir savoir à tout moment quelle est son origine (quel acteur et quel centre), à quel plan de coordination peut-on les rattacher, de quel cadre de décision de niveau supérieur ils dépendent et quels sont les autres acteurs impliqués dans la même séquence d'activités. La résolution de ce problème est liée aussi bien à un problème d'organisation qu'au choix d'une technologie,
3. la formalisation et la validation d'un plan de coordination puis des écarts/diagnostics sont réalisées collectivement, aussi faut-il prévoir les mécanismes de coordination adéquats,
4. la manipulation du modèle de produit et la validation des modifications dépendent également de multiples acteurs,
5. la multiplication des messages à destination d'un même acteur que notre système d'information implique : les acteurs utilisant des SGDT sont habitués à la réception de tâches à effectuer, toutefois notre système prévoit également des messages pour valider les modifications des connaissances produit, pour contribuer à l'élaboration du plan de coordination, pour saisir ou exploiter des informations de suivi. Il faut là encore trouver des solutions pour faciliter la gestion de ces messages.

L'architecture proposée n'est pas suffisante pour décrire comment y répondre. J'ai préconisé plusieurs choix technologiques avec pour objectif principal de répondre à ces interrogations, de façon à proposer un système d'information qui réponde aux besoins métier mais aussi aux besoins d'efficacité que requièrent les utilisateurs pour une exploitation en milieu industriel. J'ai ainsi préconisé que les points 1 et 2 soient traités à l'aide des technologies de workflow et de fonctionnalités de type gestion de tâches par workflow telles qu'elles sont mises en œuvre au sein des environnements PLM. J'y reviendrai dans la

section suivante. Quant aux autres points, ils sont représentatifs d'un système d'information qui présente des caractéristiques de pro-activité et qui devient dès lors un véritable environnement d'assistance. J'ai introduit dans mes travaux le concept d'agent logiciel afin de les traiter.

Apport des agents

Je considère le concept d'agent logiciel comme un moyen d'améliorer les problèmes liés à l'identification des actes et à la collaboration des acteurs au sein d'un système d'information complexe, comme c'est le cas de l'environnement logiciel destiné à la conduite de la conception. Ces travaux ont été menés très tôt (DEA puis thèse de doctorat) mais peuvent être considérés comme des travaux réalisés avant l'heure car les problèmes qui ont été étudiés alors sont des problèmes qui n'ont pas été résolus de façon satisfaisante dans les travaux et projets ultérieurs, et ils restent d'actualité aujourd'hui, et une piste à approfondir pour l'avenir.

Les agents [Wooldridge & Jennings 95], [Jennings et al. 98] sont caractérisés par des capacités de communication [Sreeram & Chawdhry 97], de négociation et de coopération [Rich & Sidner 97], de réaction ou de définition de leur propre stratégie, et enfin de capitalisation qui peuvent s'adapter aux besoins de coordination, de collaboration, de contrôle et de flexibilité du système d'information envisagé. Leur autonomie et leurs facultés de coopération [Disson et al. 99] sont des caractéristiques utiles pour aider les acteurs à gérer les connaissances de conception. Dans le cadre de la conception collaborative, des exemples ont été mis au point pour l'intégration des processus de conception [Petrie et al. 99], pour supporter l'ingénierie simultanée [Prasad 96] [Han et al. 00] ou pour améliorer la coordination de la gestion des connaissances [Wu 01].

L'environnement d'assistance que j'ai proposé est un système d'information distribué qui doit être pro-actif. Il est capable de s'appuyer sur les technologies actuellement employées pour ce type de systèmes : workflow, bases de connaissances, outils de collaboration, IHM basée sur Internet, … Les composants logiciels traditionnels qui le composent vont interagir avec des composants logiciels autonomes, les agents, pour améliorer la collaboration et assister au mieux les utilisateurs. Vus tantôt comme des applications, tantôt comme des acteurs par les utilisateurs et par les composants classiques, ces agents transforment le système d'information en un environnement pro-actif capable d'un soutien plus efficace auprès des utilisateurs.

Ainsi les acteurs agissent dans le système de conception dans un contexte de coordination et de collaboration à plusieurs niveaux. En particulier :

- ils œuvrent ensemble au sein des centres de conception comme au sein des centres de décision d'un même niveau décisionnel,
- les acteurs de la conception exploitent simultanément des informations produit parfois identiques, parfois complémentaires. De ce fait les modifications que chacun réalise influencent le travail des autres acteurs et doivent rester cohérentes,
- les acteurs de la conduite exploitent les informations de suivi pour réorienter les activités des centres de conception ou de centres de décision de niveau inférieur.

De ce fait j'ai proposé dans [A1] un ensemble d'agents logiciels venant compléter l'architecture logicielle de l'environnement d'assistance pour la conduite. Comme le montre la figure 32, pour un acteur d'un centre de décision donné, l'IHM de l'environnement d'assistance met à sa disposition un certain nombre de fonctionnalités bien spécifiques. Chacune gère les interactions avec l'un des composants identifiés, et peut être utilisé par un agent pour communiquer avec l'acteur.

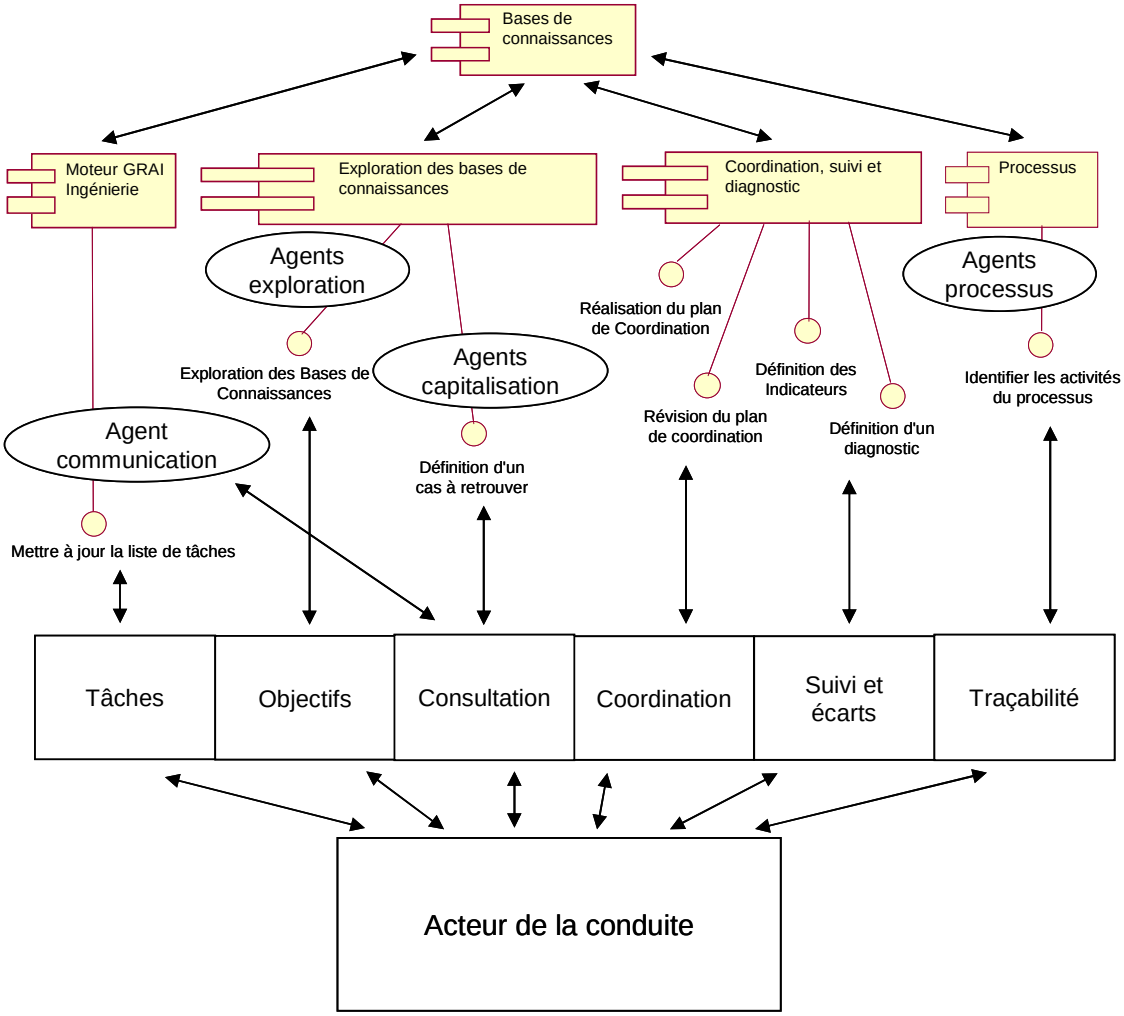


Figure 34. Interactions entre l'environnement d'assistance et un acteur de la décision

L'agent communication interagit avec l'espace des tâches pour filtrer et gérer alarmes et messages. Les agents produit et processus utilisent le moteur GRAI Ingénierie pour envoyer leurs requêtes de validation, de contrôle ou de saisie.

Les agents exploration et capitalisation sont accessibles à travers l'interface spécifique du composant « exploration des bases de connaissance » pour effectuer des recherches spécialisées dans les connaissances capitalisées, susceptibles de durer longtemps.

L'espace de consultation contient des outils de visualisation mais est aussi l'espace employé par les différents agents qui mettent à disposition des informations pour l'acteur : l'agent communication (messages), les agents exploration ou capitalisation (données extraites des bases de connaissances).

Les agents produit (pour un acteur de la conception) et processus disposent quant à eux d'espaces spécifiques pour la visualisation des informations qu'ils manipulent. Les agents produit sont destinés à gérer la cohérence des informations relatives à la modélisation du produit lors de modifications en simultané par plusieurs acteurs. Les agents processus assurent un pré-enregistrement des activités des concepteurs en vue d'assurer la traçabilité du processus de conception.

D'une façon générale les agents dialoguent entre eux en utilisant des protocoles qui leur sont propres mais peuvent communiquer avec les acteurs ou avec les composants classiques à l'aide de protocoles standard (messagerie électronique, communication point à point par exemple).

Ma contribution relative aux agents comporte plusieurs modèles successifs auxquels on pourra se référer dans [F36]. A partir de la définition donnée par [Ferber 97]. J'ai d'abord développé un modèle mathématique destiné à décrire le système multi-agent ciblé et à caractériser chaque agent, ses actions et ses interactions, comme on peut le voir dans l'article présenté en annexe. J'en ai déduit une modélisation graphique puis des spécifications détaillées. J'ai ensuite supervisé la réalisation d'un prototype logiciel de l'agent produit, qui a pu être testé et validé. Pour le détail de ces expérimentations on pourra se reporter à [C18], la figure 33 illustre ces travaux en montrant l'interface utilisateur permettant à un concepteur d'interagir avec les agents logiciels pour valider les modifications apporter à la modélisation du produit, en cohérence avec les modifications apportées par d'autres utilisateurs. Cette expérimentation valide la faisabilité d'un environnement d'assistance mixte basé en partie sur un système d'information traditionnel, interconnecté avec les outils de l'entreprise et un système multi-agent venant rendre pro-actif ce système d'information.

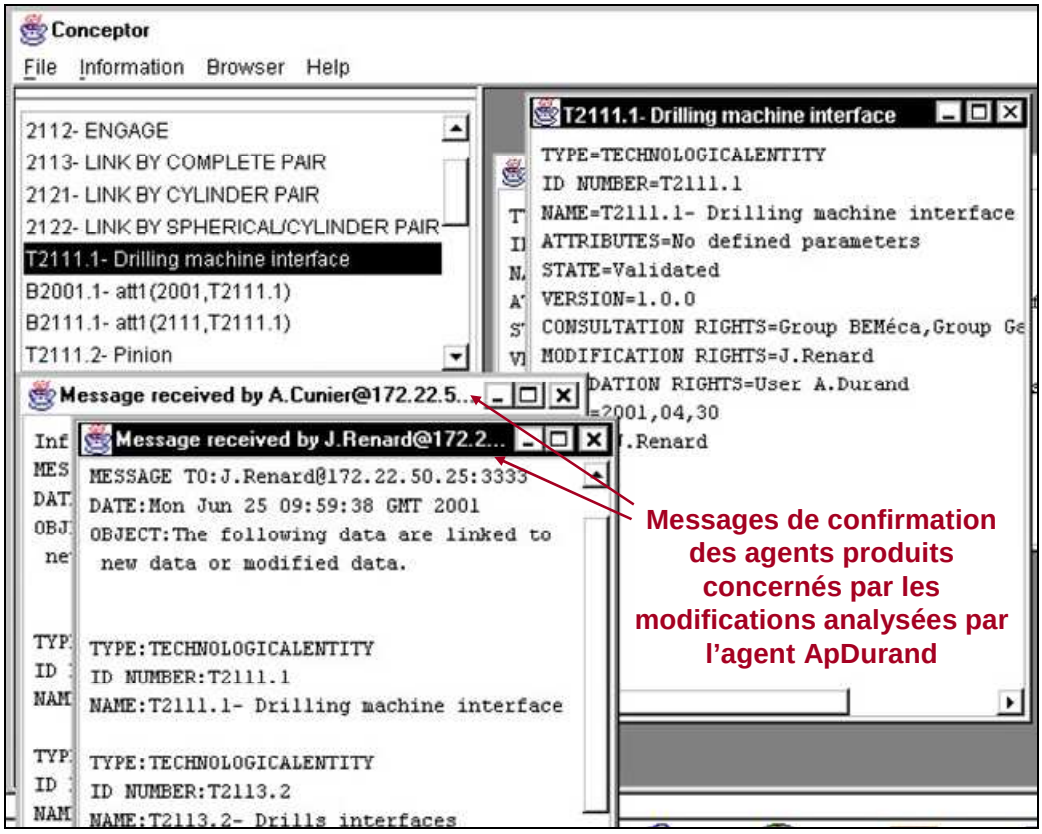


Figure 35. Interactions entre un concepteur et l'agent produit associé

3.4.3. Contributions : Des environnements d'assistance pour le PLM

J'ai démontré dans mes travaux précédents que l'environnement d'assistance pour la conduite est destiné aussi bien aux acteurs de la conduite qu'aux concepteurs, et que par ailleurs il doit être intégré avec les outils de l'entreprise, à savoir les Systèmes de type PLM.

Ces travaux entrent donc plus largement dans un contexte de gestion globale du cycle de vie du produit (PLM) et impactent la conduite de la conception. Mes premiers travaux en ce sens ont porté sur l'étude des systèmes SGDT (ou PDM) et PLM existants de façon à évaluer le niveau de recouvrement de leurs fonctionnalités avec celles préconisées dans l'environnement d'assistance à la conduite, et ainsi pour déterminer quel type d'intégration doit être défini entre ces deux types de systèmes d'information. Ces études ont porté aussi bien sur la manipulation d'informations fortement formalisées que sur la gestion de l'informel. Ce sera l'objet de ma première section.

Il est apparu progressivement que les systèmes SGDT sont très spécialisés et dans un contexte PLM plus général il est nécessaire d'étendre leurs fonctionnalités soit directement soit via de nouveaux outils interopérables. La prise en compte des besoins des futurs utilisateurs et des contraintes industrielles est un élément essentiel dans la méthodologie de développement d'environnements d'assistance. J'ai donc été amené à m'intéresser à des outils destinés aux concepteurs pour prendre en compte le point de vue utilisateur :

- intégrer la dimension utilisateur dans les outils méthodologiques et logiciels des concepteurs par la modélisation de connaissances 'a priori' : c'est le cas des travaux réalisés à travers la thèse de Livier Serna ;
- proposer des outils de capitalisation des connaissances à destination des utilisateurs pour une exploitation 'a posteriori' des retours d'utilisation par les concepteurs : c'est par exemple le concept ULM (Usage Lifecycle Management) développé par Emilie Chapotot dans sa thèse (encadrée par mon collègue à l'ESTIA J.Legardeur) à laquelle je contribue ponctuellement).

Ces deux points sont abordés dans une seconde puis une troisième section.

Le PLM est une approche stratégique visant à gérer les informations relatives au produit tout au long de son cycle de vie (figure 34), pour chacune de ses phases, et cela à destination de tout membre d'une organisation à un niveau technique ou managérial, et de tout fournisseur, client ou partenaire [Sudarsan 05] clef. Ils supportent les acteurs impliqués dans le développement de produit en fournissant une plateforme homogène centrée sur le partage des informations produit. Ils proposent des mécanismes de modélisation structurelle du produit et de gestion des différentes informations attachées sous forme de document. Ces outils ont récemment intégré des composants collaboratifs ou orientés projet [CIMdata, 03] et offrent aujourd'hui des fonctionnalités permettant aux utilisateurs de les configurer à différents niveaux : cycles de vie, workflows [Liu et al., 01], types d'objets entrant dans la structuration du produit, intégration avec des outils transverses dans l'entreprise [Wang et al., 02]. Les systèmes PLM actuels intègrent les technologies liées à Internet et offrent des fonctionnalités similaires aux collecticiels [Johansen 98], [Eynard et al. 02] pour favoriser la collaboration entre les acteurs.

Ces considérations visent à améliorer de façon significative la réduction des délais de mise sur le marché de nouveaux produits, tout en améliorant la qualité des produits et la réduction des couts, la traçabilité des flux d'information et l'automatisation des processus métiers. A chaque phase du cycle de vie, ils aident les responsables dans leurs prises de décision grâce à la mise en cohérence de l'ensemble du patrimoine informationnel du produit [Saaksvuori 04]. Les systèmes PLM sont devenus un noyau fédérateur pour un ensemble d'outils : CFAO bien entendu mais aussi les systèmes ERP (Enterprise Resource Planning) et CRM (Customer Relationship Management) par exemple.

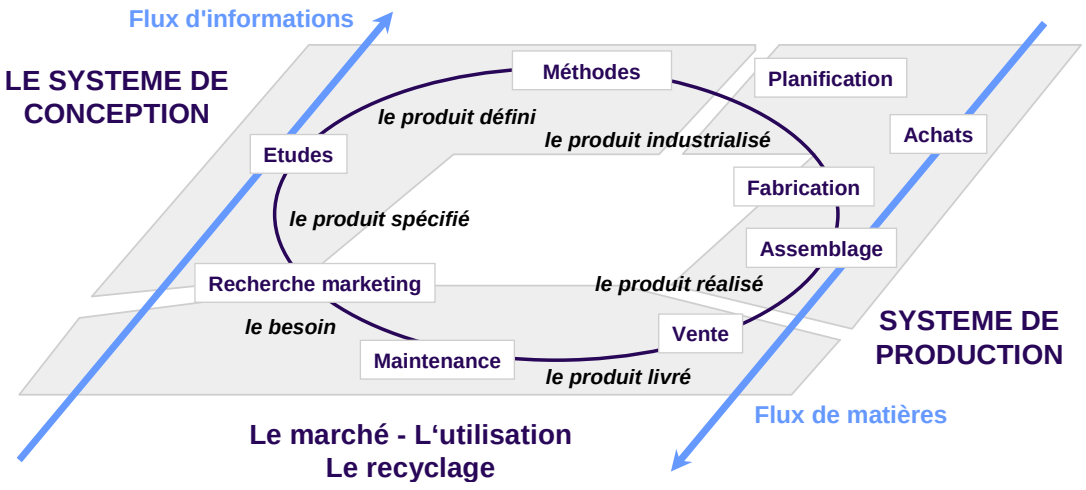


Figure 36. Cycle de vie du produit

Etude des capacités des outils SGDT à assurer la conduite

Dans le cadre du projet IPPOP, j'ai pu démontrer que les outils SGDT ne prenaient pas en compte les apports visés par le prototype IPPOP :

- pour la dimension produit : les outils SGDT ne gèrent que les vues structurelles, via la gestion de la configuration du produit, et géométriques, via l'intégration avec les outils CAO, du produit ;
- pour la dimension processus : ces outils SGDT ne gèrent que les processus préalablement définis grâce aux technologies de workflows, et généralement seuls les processus de bas niveau, répétitifs et peu variables sont modélisés et pilotés, comme par exemple le processus de validation d'un document ou le mécanisme de jalonnement visant à basculer d'un état du produit à l'état suivant dans son cycle de vie ;
- pour la dimension organisation : les SGDT ne prennent pas en compte cette dimension si ce n'est à travers l'émergence de quelques fonctionnalités de gestion de tâches sous forme de planning partagé.

La comparaison entre les SGDT et le prototype IPPOP a toutefois permis de mettre en évidence que les limitations sur les dimensions produit et processus sont des limitations métiers liées aux objectifs que se sont fixés les éditeurs vis-à-vis des utilisateurs, et ne sont pas imposées par les technologies de développement mises en œuvre :

- pour la dimension produit : il est possible d'adapter les bases de données descriptives de la configuration du produit pour procéder à la modélisation de

d'éléments fonctionnels, d'éléments d'interfaces et d'éléments structurels (encadrement L.Girouard, §2.2.2, [A4]) tels que prévus dans le modèle PPO ;

– pour la dimension processus : il est possible d'utiliser les technologies de workflow pour gérer des processus dynamiques (thèse G.Pol, [C44]) et multi-niveaux afin de pouvoir gérer le processus de conception à chaque niveau organisationnel, lui-même correspondant aux niveaux de décomposition structurels du projet.

La modélisation multi-vues du produit a été expérimentée avec Windchill PDMLink (PTC). La figure 35 présente un exemple de structure produit issue d'un mixer : la décomposition du produit ou de l'assemblage est visualisée et montre les 3 types d'éléments (C pour Composant, F pour Fonction et I pour Interface) après création de sous-types différenciés de la classe « Article de référence » présente dans la base de données. Ainsi la décomposition du produit selon les points de vue structurels, fonctionnels et interface sont assurés via cette représentation arborescente. Toutefois cette représentation du produit correspond à une structure de type graphe dans le modèle PPO, elle n'est donc qu'incomplètement représentée dans le SGDT où seule la structure de type arbre est utilisable. Les boucles susceptibles d'apparaître dans un arbre génèrent ici des décompositions infinies et/ou des doublons, comme ici avec la fonction « Serrer crémaillère sur colonne ».

Nom	Actions	Numéro	Version
Malaxeur		MALAX01	A
C Bol		169	A
C Fouet		170	A
C Support		171	A
C Colonne		179	A
I Colonne/cremaillere		180	A
F Serrer cremaillere sur colonne		181	A
C Elements de fixation		176	A
C Colle		178	A
C Vis		177	A
C Cremaillere		173	A
I Cremaillere/Colonne		174	A
F Serrer cremaillere sur colonne		181	A
C Elements de fixation		176	A
C Colle		178	A
C Vis		177	A
Cremaillere.prt		0000000282	A
C Pignon		182	A

Figure 37. Arborescence produit multi-vues après personnalisation de Windchill

Les outils PLM ont récemment intégré des fonctionnalités de gestion de projet basées principalement sur la gestion de tâches et de jalons. Bien qu'il soit possible de gérer des dates de fin et une planification de tâches et sous-tâches dynamiquement, leurs fortes limitations [Pol G. et al. 05] limitent l'intérêt de ces fonctionnalités, en particulier pour la

conduite de la conception. Par exemple il est impossible d'instancier des processus prédéfinis. Par ailleurs les workflow associés aux documents et destinés à gérer les évolutions de ces documents ne peuvent pas être pilotés depuis la planification établie en gestion de projet. De ce fait il est impossible d'interconnecter une planification macro orientée tâches, avec une planification prédéterminée orientée document. Cette limitation relève de façon claire de la façon dont ces fonctionnalités ont été implémentées, alors que la technologie de workflow autorise dans l'absolu de tels mécanismes de synchronisation, même si cette technologie des workflow est généralement mise en œuvre sur des processus prédéfinis.

Toutefois les études menées sur les outils SGDT et Windchill (PTC) en particulier ont montré que l'on peut flexibiliser un processus en insérant des « tâches dynamiques », c'est-à-dire des nœuds où il est possible de demander à l'utilisateur de créer dynamiquement de nouvelles tâches : ces nouvelles tâches seront gérées comme un sous-processus qui doit être entièrement réalisé pour que le processus principal puisse se poursuivre. L'objectif devient alors la mise en place d'un mécanisme de planification pour un responsable en charge de la conduite d'une équipe.

L'approche GRAI Ingénierie a montré l'effet récursif de la décomposition de projets en sous-projets, et donc du processus de conception en sous-processus conformément à cette décomposition. J'ai donc préconisé l'utilisation de mécanismes de lancements de sous-processus pour permettre de gérer le processus de conception sous la forme de workflow multi-niveaux, puis d'utiliser des mécanismes de synchronisation pour assurer un pilotage ascendant et global des processus.

De tels mécanismes existent pour le pilotage de processus de gestion des modifications de produit, comme le montre la figure 36. Ce processus est composé de 4 phases distinctes, chacune pilotée par un workflow spécifique :

1. La définition de « rapports de problèmes » par les acteurs de l'entreprise, leur validation par un responsable local et enfin leur transmission à un responsable habilité.
2. La caractérisation de « demandes de modification » par le responsable habilité et leur suivi jusqu'à leur traitement complet. Ce processus déclenche un sous-processus, celui du traitement de la modification, et comporte des tâches de synchronisation permettant de déclencher des tâches de vérification quand le traitement sera achevé.
3. La réalisation du traitement par le processus de « gestion de la modification ». Ce processus type comporte des séquences de tâches déterminant des étapes d'analyse, de solutions, de définition du nouveau produit et de validation technique. Chacune utilise une technique de génération de tâches dynamiques autorisant l'utilisateur à générer lors de l'exécution une nouvelle séquence de tâche et de les affecter aux personnes de son choix.
4. Par ce biais il est possible de caractériser des sous-processus adaptés au contexte via des « activités spécifiques » non prédéfinies. Le processus de gestion de modification s'interrompt jusqu'à la réalisation complète de cette séquence d'activités spécifiques.

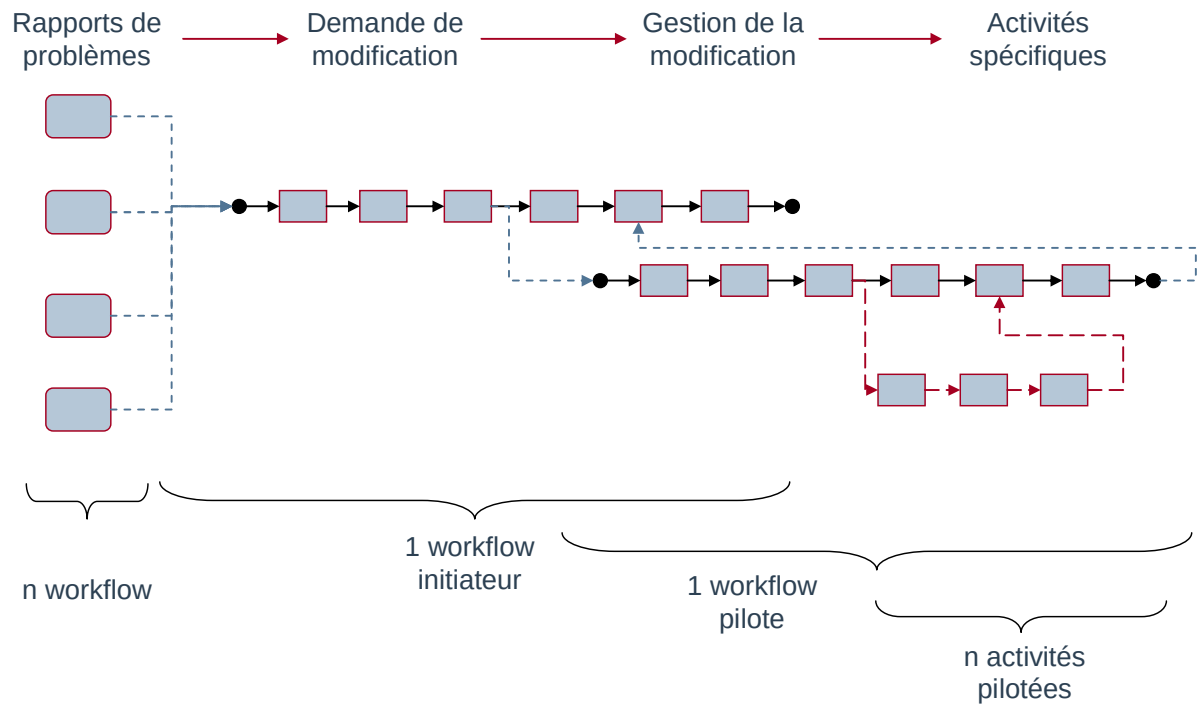


Figure 38. Mécanisme de gestion de processus multi-niveaux flexibles

Compte-tenu de la flexibilité du processus de conception [Weber et al. 02], notamment au sein des PME ou au sein des projets innovants, les mécanismes de workflow implémentés en standard dans les outils PLM ([Gzara 05]) vont à l'encontre des besoins des acteurs qui travaillent quotidiennement par « ajustement mutuel » [Mintzberg 90]. Les processus coopératifs sont faiblement structurés et les échanges entre acteurs souvent informels [Baumberger et al. 03], ce qui les amène à gérer des informations non-structurées ou structurées de façon partielle. Les mécanismes précédents ont été généralisés (publication [B1]) pour permettre d'une part de gérer les informations semi-structurées via des documents et des objets spécifiques, et d'autre part de gérer les échanges entre les acteurs via des processus et des fonctionnalités collaboratives adéquates. La conduite de la conception à travers les outils PLM doit être étudiée en intégrant dans un environnement commun la gestion des processus orientés documents et la gestion des processus projets [Saikali 01].

Dans un contexte PLM, les outils SGDT seuls ne permettent donc pas d'assurer la conduite de la conception mais doivent être complétés par des outils complémentaires, soit directement pour supporter la conduite, soit en proposant des outils supports aux acteurs de la conception. Dans le premier cas la problématique de l'intégration entre un SGDT et un environnement pour la conduite tel que le prototype IPPOP est identifiée. Dans le second cas il s'agit d'une problématique de conception d'outils experts. La section suivante illustre ce principe en présentant les principaux résultats de la thèse de Livier Serna, qui sont une réponse à la prise en compte des besoins utilisateurs 'a priori' par les différents experts, en vue d'une conception collaborative.

Prise en compte des préférences utilisateurs pour la conception collaborative

La prise en compte des besoins des utilisateurs est fondamentale en conception. Des méthodologies spécifiques sont mises au point pour enrichir les démarches traditionnelles des concepteurs. Ce sont par exemple des approches centrées utilisateurs [Veyrat 08], [Quaranta 94], destinées à intégrer des concepts tels que le confort, l'utilisabilité et l'aspect esthétique [Sagot 98]. Ces approches sont parfois dénoncées comme étant limitées [Branguier 04], [Valette 05]. En effet elles ne permettent de prendre en compte qu'une partie des besoins : ceux exprimés suivant des critères partiels par les utilisateurs finaux.

Dans le cadre de la thèse de L.Serna, portant sur la définition d'une méthodologie de formalisation des préférences et de choix de solutions, l'un des objectifs consistait à étendre le champ des critères possibles en s'appuyant sur le concept de préférences et à permettre une évaluation de ceux-ci, et donc des choix de solutions possibles, indépendamment de la nature de ces préférences. Le second objectif vise la production d'un environnement d'assistance dans un contexte PLM, en y étudiant comment intégrer les futurs utilisateurs.

Pour y répondre, la modélisation des préférences et la définition d'outils pour l'exploration virtuelle des espaces de recherche seules ne suffisent pas. Il faut étudier l'aspect méthodologique afin de permettre aux acteurs d'appliquer ces modèles puis d'en évaluer l'impact sur le processus de conception collaboratif une fois mise en œuvre. Dans [A14], est présentée une méthodologie permettant de rendre à la fois plus objectifs et plus consensuels certains choix de conception, jugés déterminants, tout en facilitant la recherche de solution en restreignant l'espace de recherche. Elle comporte trois phases : la négociation qui structure l'espace de solutions en sous-ensembles à partir d'indicateurs de négociation ; le choix qui ordonne ces sous-ensembles à partir d'indicateurs de choix ; et la décision qui identifie les régions où les solutions sont optimales, à l'aide d'indicateurs de décision.

De cette méthodologie sont déduites les spécifications d'un environnement d'assistance venant supporter les mécanismes de collaboration au sein d'un collège d'experts multiculturels, considérés comme autant d'utilisateurs, en vue de pouvoir effectuer des choix globaux et cohérents. Le groupe projet considéré est chargé d'évaluer l'utilité de chaque indicateur de choix issu de l'étape précédente pour évaluer les solutions de conception pour les principales situations de vie du produit. Une matrice de décision permet de collecter les avis de manière homogène. Un traitement statistique inspiré de [Taguchi 86] est opéré sur les valeurs de cette matrice, dont sont éventuellement exclus les indicateurs de choix non significatifs. Il en émerge une classification des indicateurs (prioritaires ou potentiellement nuisibles dans le processus de décision) mais aussi des couplages entre indicateurs (en phase ou en opposition).

Ces travaux, complémentaires à ceux menés sur la modélisation multi-vues dans les outils PLM du point de vue de la modélisation du produit, permettent d'étendre la notion d'utilisateurs du produit des utilisateurs finaux aux concepteurs eux-mêmes, tout en proposant un environnement d'assistance support. Ils constituent un focus particulier de l'approche GRAI en conception puisque ces travaux visent à gérer les connaissances des concepteurs correspondant à la prise en compte des besoins utilisateurs (nous sommes dans le « plan objet » de la grille GRAI R&D, évoqué dans le §1.2.1). Ils mettent en évidence un besoin de coordination nécessaire, puisque différents experts participent chacun dans

leur domaine à l'élaboration des préférences, afin de garantir l'homogénéité de l'ensemble des modèles et de participer à la recherche de solutions satisfaisantes.

Toutefois dans une approche PLM il est nécessaire de considérer l'ensemble des phases constituant le cycle de vie du produit, en particulier les phases de production et de maintenance. La section suivante aborde la problématique de la prise en compte des utilisateurs selon un point de vue différent, celui de l'analyse 'a posteriori' des retours effectués par des experts ou des utilisateurs 'a posteriori', pour une exploitation plus orientée amélioration / modification de produits.

Gestion du cycle de vie des usages du produit

L'objet des travaux en voie d'achèvement avec E.Chapotot portent sur la prise en compte par les concepteurs des besoins exprimés par l'ensemble des acteurs intervenant tout au long du cycle de vie du produit, en particulier la production et la maintenance du fait que l'entreprise support de ce travail s'est focalisée sur ces activités pour ces produits : des turbines pour l'aéronautique.

En dépit du fait qu'aujourd'hui les systèmes d'information mis en œuvre dans un contexte PLM permettent de couvrir de nombreux besoins pour la gestion des données relatives au produit, il est très difficile de collecter et de réutiliser des informations pertinentes en provenance des utilisateurs finaux et des opérateurs de maintenance, quand le produit est dans ses phases d'exploitation. Ce phénomène est amplifié dans les grandes compagnies internationales dans la mesure où les départements au contact de la clientèle restent éloignés de ces utilisateurs et opérateurs, eux-mêmes extrêmement disséminés de par le monde. Les flux d'information multiples, quand ils existent, alimentent des bases de données hétérogènes résultant d'initiatives locales. Il en résulte d'importantes difficultés pour superviser ces flux interconnectés d'information et obtenir une vision globale des usages qui sont faits des produits présents sur le marché. Toutefois, dans une approche PLM, il est crucial pour le processus de conception d'avoir un retour fiable sur les usages en vue de concevoir de nouveaux produits plus adaptés et porteurs d'innovation.

C'est pourquoi nous avons choisi de nous focaliser sur les phases d'exploitation, durant lesquelles le produit est utilisé à la fois par les utilisateurs finaux et par un ensemble d'opérateurs qui participent à sa maintenance, aux réparations et autres actions visant à prolonger son utilisation directe. Dans le cadre de la thèse d'Emilie Chapotot, Turbomeca (groupe Safran) est confrontée à cette problématique : son département de maintenance a besoin de collecter ces informations sur l'usage pour des raisons de traçabilité et de fourniture de prestations de service à haute valeur ajoutée à ses clients. Les opérations de maintenance étant réalisées conjointement par des tiers répartis dans le monde entier, il est essentiel de maitriser ces retours d'information sur les usages pour pouvoir les exploiter dans le cadre de la maintenance prédictive puis de la conception de nouvelles turbines.

Une approche globale dédiée au management du cycle de vie des usages d'un produit a été proposée pour assurer ce retour d'information et garantir sa réutilisation : cette approche est dénommée approche ULM (Usage Lifecycle Management). Elle comporte un ensemble de méthodes et d'outils qui permettent de faire un retour en conception des informations capitalisées sur l'usage des produits pour permettre la genèse de solutions innovantes en phases amont. En proposant une solution à la problématique de coordination de la

connaissance produit et en faisant le lien avec la conception et les besoins utilisateurs, cette approche participe à la conduite de la conception, telle qu'évoquée au §1.2.1, figure 11.

L'approche ainsi mise au point repose sur une capitalisation « semi-automatique »des informations sur l'usage via la mise en œuvre du triptyque Produit / Utilisateur / Environnement. La carte des connaissances de la figure 37 montre différents concepts associés à ce triptyque et permet de caractériser différents types d'usage qui aboutissent à la définition d'une ontologie sur l'usage. Cette ontologie est exploitée pour faciliter l'identification, la classification et la formalisation des usages, du type de produit et du contexte d'utilisation en fonction du profil des utilisateurs finaux et les opérateurs, internes ou externes à l'entreprise.

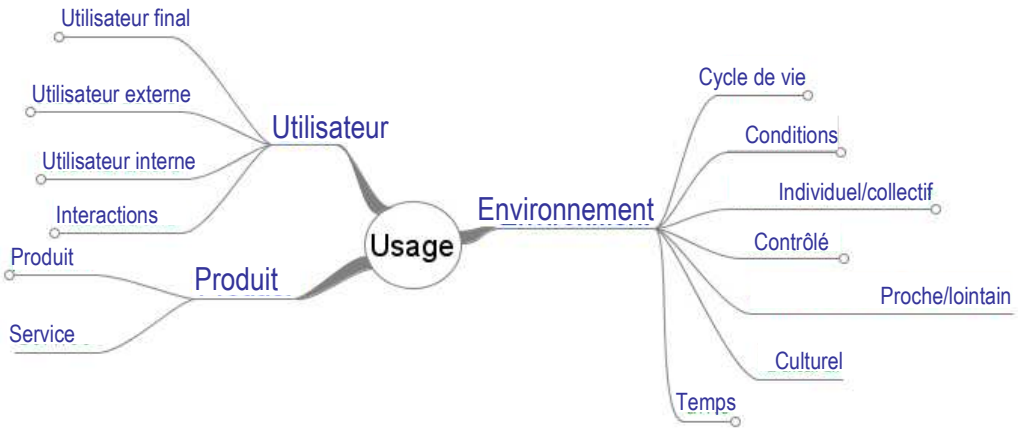


Figure 39. Décomposition de l'usage selon le triptyque Produit, Utilisateur et Environnement

Un outil support a été proposé afin de faciliter la capitalisation puis l'exploitation de ces informations relatives à l'usage du produit en cours d'exploitation. Il s'adresse à quatre types d'utilisateurs (figure 38) :

- Les réparateurs (utilisateur intermédiaire, externe à l'entreprise),
- le client (utilisateur final),
- les experts internes à l'entreprise (utilisateurs de la production, de la maintenance…),
- les spécialistes de l'usage, sélectionnés parmi les concepteurs (utilisateurs spécialisés).

Cet outil propose plusieurs fonctionnalités destinées à capitaliser les informations pour chacune des 3 premières catégories d'utilisateurs, à l'aide d'interfaces utilisateurs dédiées :

- demandes d'interventions pour permettre de gérer les opérations de réparations ou de maintenance préventive ;
- demandes d'améliorations pour gérer les retours d'expérience, les dysfonctionnements non bloquants et les propositions d'évolution du produit ;
- documentation technique permettant l'accès aux informations relatives aux différentes versions du produit ;

- boite à idées, pour proposer de nouvelles solutions, présenter des solutions présentes dans d'autres produits… sans objectif particulier venant contraindre la formalisation des informations ;
- forums de discussion pour échanger avec d'autres experts, promouvoir des conseils et des bonnes pratiques.

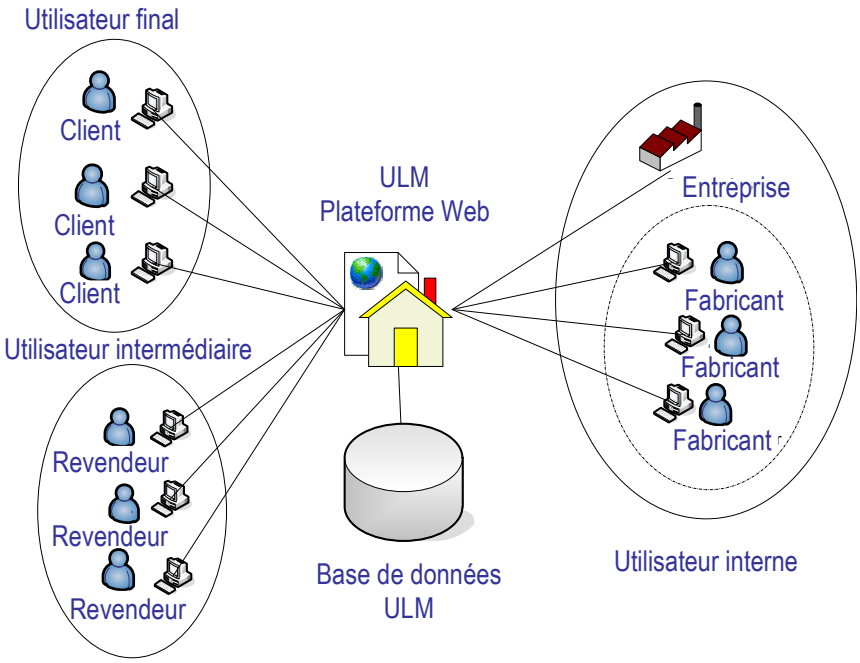


Figure 40. Architecture du prototype ULM

Figure 41. Ecran d'accueil du prototype ULM

Comme le montre la figure précédente, l'ensemble des informations est stocké dans une base de données centralisée et sécurisée. Les utilisateurs spécialisés procèdent quant à eux à des évaluations de ces informations et à leur analyse pour extraire et caractériser les demandes d'évolution pertinentes et formaliser les idées nouvelles susceptibles de

constituer des innovations sur de futurs produits. De cette façon, les concepteurs traitent directement les retours des différentes catégories d'utilisateurs du produit.

Le prototype ULM comble le besoin d'échanges entre les différents types d'utilisateurs et l'entreprise, principalement son bureau d'études. A travers cette dynamique d'échanges, c'est la dynamique de l'amélioration continue du produit, voire de l'innovation, qui est ainsi renforcée. La figure suivante présente une première version de l'interface utilisateur d'accueil.

Ces travaux sur l'usage s'intègrent simultanément dans un contexte PLM et dans la conduite de la conception. Les SGDT couvrant les phases de développement du produit, le concept ULM permet de couvrir les phases suivantes de fabrication et d'exploitation (incluant utilisation et maintenance) en y capitalisant les informations produit générées. L'objectif d'exploitation de ces informations porte sur leur prise en compte pour reconcevoir le produit ou pour concevoir un nouveau produit en s'appuyant sur des idées potentiellement innovantes. Nous sommes ici dans le traitement de la connaissance relative au produit telle qu'elle est nécessaire en conduite de la conception.

Plus généralement, a été évoquée dans ce chapitre la proposition d'une méthode de spécifications conceptuelles pour aider à concevoir des environnements d'assistance pour les acteurs de la conception. Différents outils réalisés ont été produits en s'appuyant sur cette méthode progressivement mise au point : des outils experts, des environnements d'assistance à la conduite ou des outils PLM. Le respect de la méthodologie de recherche présentée à la figure 6 impose à présent d'étudier comment de tels outils peuvent être mis en œuvre en vue de les rendre opérationnels. C'est l'objet du prochain sous-chapitre.

3.4.4. Contribution collective : Déploiement de solutions logicielles en entreprise

Dans le contexte industriel actuel de forte compétitivité, les entreprises se doivent de concevoir plus rapidement, mieux et moins cher. Pour mener efficacement les phases amont de la conception des produits, elles ont à leur disposition de multiples outils et méthodes. Aujourd'hui, les conditions dans lesquelles ces outils sont déployés dans les organisations constituent un facteur essentiel pour améliorer la performance de façon durable. L'intégration de ces solutions ne peut alors se faire sans une bonne connaissance de la structuration de l'entreprise, ni appropriation du processus de conception et de ses spécificités. Pour réussir ce déploiement, il s'agit de s'appuyer sur des démarches génériques et personnalisables, ainsi que d'identifier les facteurs qui permettront aux futurs utilisateurs de s'approprier la solution qui leur est proposée.

Mes activités de recherche centrées sur la proposition de systèmes d'information pour les acteurs de la conception ne peuvent pas être complètes sans aborder ces phases de déploiement sous différents points de vue : la formation, la gestion du changement, les actions de mise en œuvre…

J'ai initié cet axe de travail via une collaboration suivie avec Benoit Eynard, via le LASMIS, à l'Université de Technologie de Troyes, puis via le laboratoire Roberval, à l'Université de Technologie de Compiègne. Les premiers travaux ont porté sur le

déploiement des outils PLM en entreprise, avant d'étendre ces premiers résultats au déploiement d'outils logiciels pour la conception aujourd'hui.

Méthode générique pour la spécification et l'implémentation d'outils PLM

Les systèmes PLM déployés au sein des entreprises sont généralement des systèmes d'information préexistants, développés pour répondre au besoin du plus grand nombre. La problématique qui se pose dans ce cas de figure est une problématique d'adaptation concourante entre le système PLM et l'organisation utilisatrice. Les spécifications qui peuvent être élaborées n'ont pas pour but de concevoir le système PLM mais de décrire l'organisation et son fonctionnement en vue de spécifier comment il faut configurer et faire évoluer le système PLM.

J'ai mené plusieurs travaux avec Benoit Eynard [Eynard et al. 02] visant à définir une méthode générique de spécification des systèmes PLM. Cette méthode s'appuie sur le formalisme UML [OMG 97] [Booch et al. 99] en vue d'être capable de modéliser les actions des acteurs en identifiant les entrées et les sorties, ou à l'inverse de modéliser les données à gérer et les liens qui les unissent. La méthode se décompose donc en 3 étapes principales :

– Etape 1 : identification de l'organisation et des rôles génériques

L'objectif est d'identifier les futures catégories d'utilisateurs (les rôles) et de définir pour chacune d'elles les tâches qu'elles devront effectuer. Ce travail s'appuie sur des approches de type réingénierie de processus (BPR, Business Process Reengineering, [Hammer & Champy 93] ; [Scheer 99]) et nécessite la réalisation d'interviews auprès de responsables et d'acteurs métiers des départements impactés par le système PLM, par exemple des concepteurs mécaniciens, des ingénieurs calcul, des gammistes, des chefs de projet…

Les besoins utilisateurs sont ainsi formalisés à l'aide de diagrammes de cas d'utilisation qui identifient les différents rôles et leurs interactions avec le système PLM (figure 40).

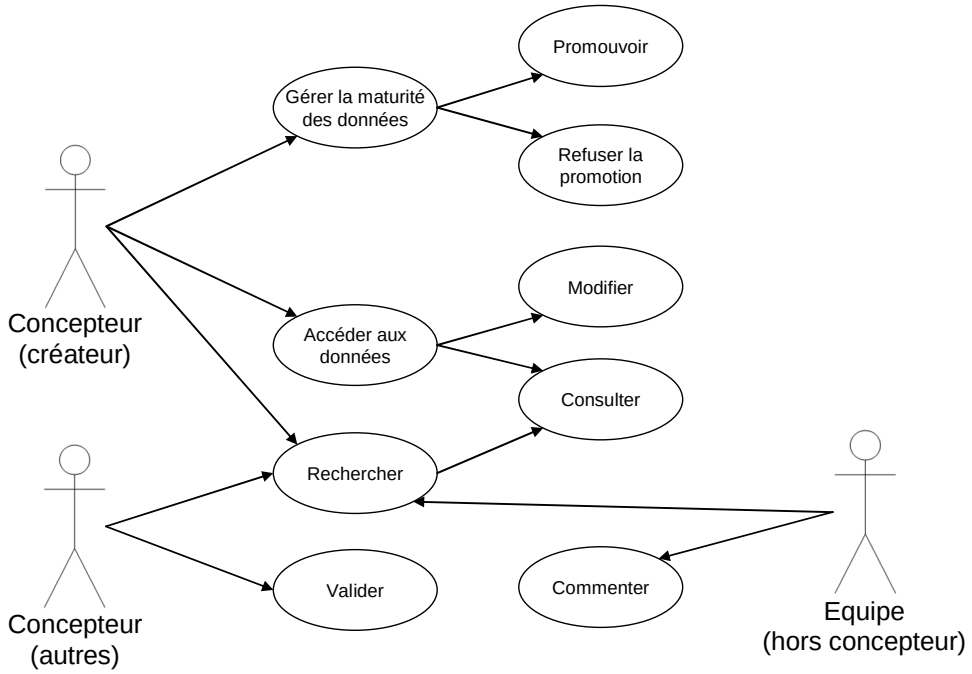


Figure 42. Diagramme de cas d'utilisation et besoins fonctionnels des acteurs

– Etape 2 : modélisation des données techniques

Après avoir caractérisé les besoins des utilisateurs, il est nécessaire de caractériser les données techniques qu'ils doivent manipuler : la structure arborescente du produit et de la documentation technique associée ([Chen et al. 04] ; [Oh et al. 01]). Cette modélisation est réalisée à l'aide de diagrammes de classe (figure 41) avec lesquels sont caractérisés les attributs de chaque donnée technique, les opérations principales et les liens existants entre les données.

En associant un diagramme état-transition (figure 42) à chaque donnée technique identifiée dans le diagramme de classe, qui est une représentation statique des données techniques, il est possible de représenter les aspects dynamiques : le cycle de vie de la donnée technique et les principales actions qui supervisent les règles d'évolution et les changements d'état.

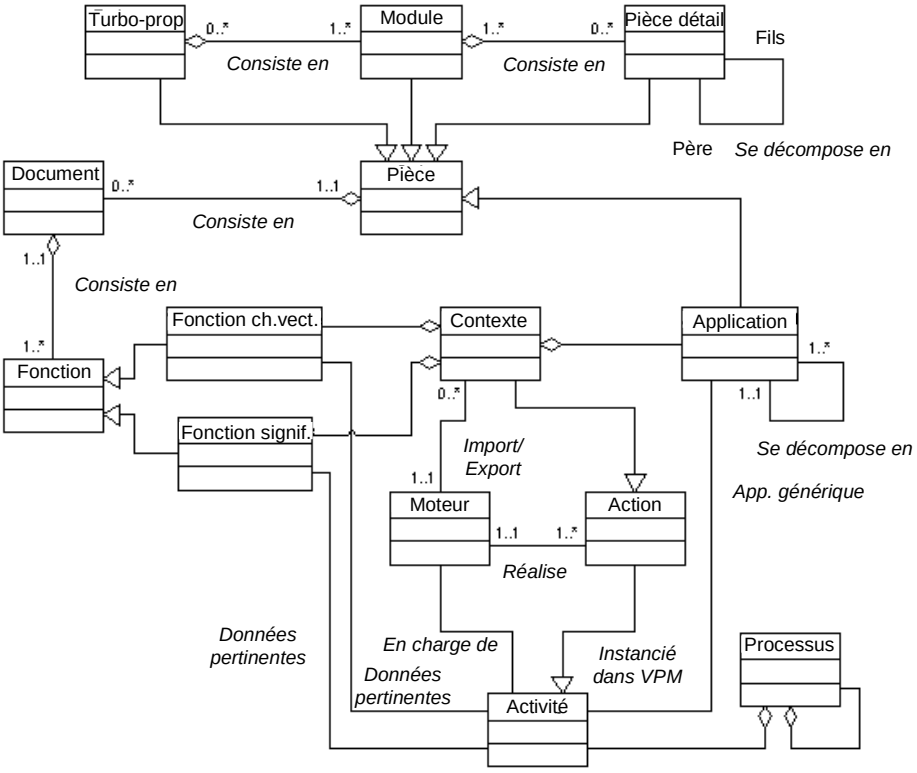


Figure 43. Diagramme de classe de la structure produit et spécification de processus

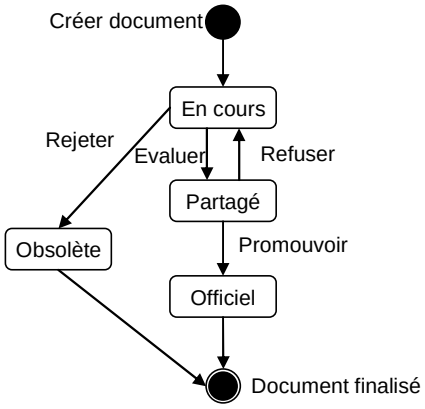


Figure 44. Diagramme état-transition de la classe « Document »

– Etape 3 : modélisation des processus

Les processus de conception sont caractérisés par des diagrammes d'activités [Choi et al. 03] comportant des critères temporels avec une vision macro des activités des acteurs (figure 43). Ces diagrammes sont également utilisés pour formaliser les processus qui pilotent l'évolution des données techniques, c'est la vision détaillée orientée donnée (i.e. documents, exemple en figure 44). En cas de processus complexe, des diagrammes de séquence peuvent compléter un diagramme d'activités, de façon à détailler les traitements à appliquer sur les données techniques manipulées par les utilisateurs, pouvant donner lieu à des développements de nouvelles fonctionnalités.

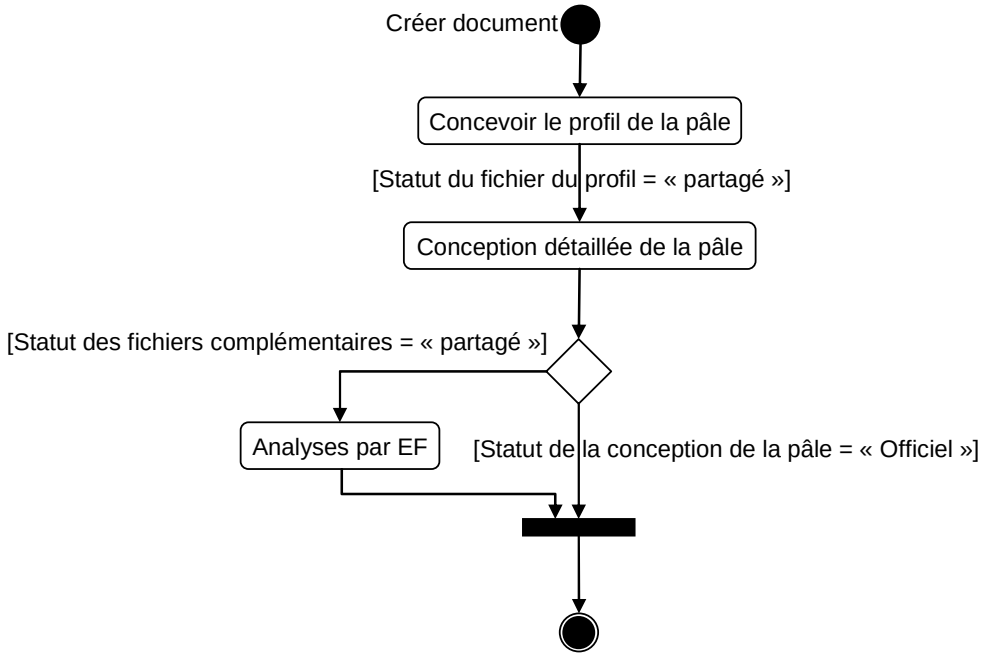


Figure 45. Diagramme d'activités d'un processus de conception d'une pale

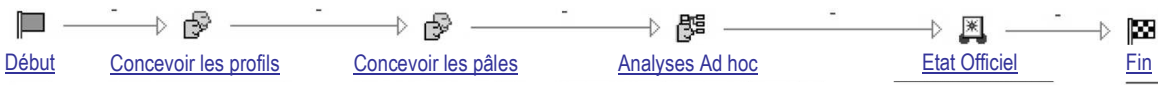


Figure 46. Worflow, implémenté avec Windchill, du processus de conception d'une pale

Ces spécifications, comparées aux capacités réelles des systèmes PLM étudiés, permettent d'identifier 3 niveaux de correspondance :

– La modélisation des données techniques par les diagrammes de classe et état-transition identifie les classes devant être modifiées ou ajoutées et donc détermine le niveau d'adaptation de la base de données prévue en standard : ce qui existe, ce qui est modifiable et ce qui doit être ajouté, entrainant des développements spécifiques.

– L'identification des rôles, des interactions entre ces rôles et le système, ainsi que la modélisation macro des processus caractérisent les fonctionnalités nécessaires : celles qui sont présentes, celles qui doivent être adaptées ou qui sont manquantes, d'où du développement et de la reconfiguration des interfaces utilisateurs.

- L'identification des rôles, la modélisation des diagrammes état-transition et des processus détaillés donne lieu à la configuration du système : les utilisateurs, rôles et groupes, cycles de vie et workflows.

La phase de modélisation, comportant 3 étapes, est donc suivie d'une phase d'implémentation reprenant ces 3 étapes. Néanmoins les processus implémentés à travers les workflow restent des processus prédéfinis. C'est pourquoi il a fallu compléter cette méthode pour répondre à cette caractéristique de construction progressive du processus de conception à travers deux axes complémentaires : la prise en compte de la dynamique de gestion de projet et des mécanismes collaboratifs et émergents entre les acteurs.

Méthode de déploiement d'outils PLM en PME et prise en compte de la collaboration

Ces travaux complètent et spécialisent la méthode générique dans un contexte PME, et ont été menés en partenariat avec l'entreprise Ederena Concept, spécialisée dans le développement d'équipements fabriqués en matériaux de type sandwich à structure en nid d'abeille. Les produits couvrent des secteurs d'activités très diversifiés comme les tables de machines outils, les mobiliers urbains ou les panneaux de structure dans le ferroviaire.

La méthode mise au point comporte également trois phases principales : la phase d'analyse a été dissociée de la phase de spécifications détaillées de l'outil PLM afin de pouvoir faire évoluer l'organisation de l'entreprise si nécessaire et surtout de pouvoir prendre le temps de mener une analyse poussée des mécanismes collaboratifs existants entre les acteurs de la conception, puis enfin la phase d'implémentation.

La phase d'analyse comporte trois étapes correspondant aux trois étapes de la méthode générique, ainsi que trois étapes menées en parallèle qui ont pour vocation d'étudier de façon spécifique les mécanismes collaboratifs (approche développée de façon spécifique au chapitre 1.3.1) :

- la capture des évènements collaboratifs et de leur contexte via une participation aux projets de conception et un rôle de participant / observateur ;
- l'analyse des données collectées pour caractériser les liens entre plusieurs évènements collaboratifs et caractériser les mécanismes collaboratifs, amenant à l'identification des bonnes pratiques comme des problèmes et des points à améliorer ;
- la caractérisation des pratiques à promouvoir, via des règles ou des critères à prendre en compte par le chef de projet ou via des processus plus détaillés mais aussi plus flexibles, par exemple.

La phase de spécification comporte ensuite quatre étapes : l'étape de modélisation des processus est scindée en deux étapes distinctes : la modélisation à un niveau macro est destinée à une implémentation via les fonctionnalités de gestion de projet présents au sein des outils PLM actuels, et la modélisation détaillée des processus est destinée à l'élaboration des workflow de documents.

Si la phase de spécification s'appuie sur les mêmes modèles UML, la phase d'analyse quant à elle peut s'appuyer sur d'autres formalismes en fonction du contexte industriel. Ainsi au sein d'Ederena, les processus ont été modélisés à l'aide du formalisme IDEFØ de façon à

faciliter les échanges avec l'ensemble des acteurs de l'entreprise et en particulier le service Qualité qui s'appuie sur ce formalisme.

La figure suivante récapitule cette méthode spécifique pour les PME, intégrant les dimensions « gestion de projet » et « flexibilisation des processus de conception par l'étude des mécanismes collaboratifs ».

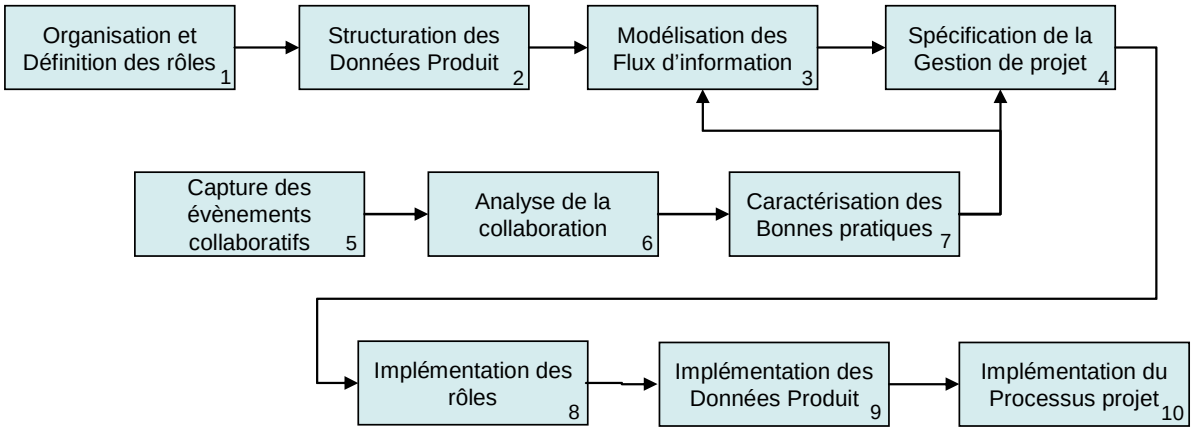


Figure 47. Méthode de déploiement d'outils PLM en PME

En étudiant les systèmes d'information de type PLM, les méthodes proposées lors de mes travaux n'ont pris en compte qu'une partie de la problématique du déploiement. Ces méthodes explorent la phase d'analyse initiale, puis la phase de spécification et d'implémentation des outils. Toutefois, elles ne sont pas applicables à d'autres types d'outils logiciels, et plus encore, elles n'abordent ni la question de la gestion du changement qui doit amener les utilisateurs à être opérationnels sur les nouveaux outils : cela inclut par exemple l'apprentissage des connaissances générales à partager par les acteurs et la direction, la formation aux outils proprement dits, la maîtrise des compétences nécessaires à leur bonne utilisation et des nouvelles règles de fonctionnement. Ce sera l'objet de futurs travaux.

Dans ce chapitre, j'ai abordé l'axe de la conception et de la mise en œuvre d'environnements d'assistance, en suivant deux sous-axes complémentaires : la mise au point de systèmes d'information pour la conduite et l'étude des systèmes de type PLM.

La proposition d'environnements pour la conduite constitue une application directe de mon premier axe consacré à la mise en œuvre de la conduite de la conception. Il a permis la caractérisation de méthodes de spécification, intitulées « méthodes de spécifications conceptuelles ». Ces méthodes ont été appliquées pour proposer plusieurs prototypes logiciels visant à démontrer l'applicabilité des concepts proposés en conduite.

L'étude des systèmes PLM a également donné lieu à l'élaboration de méthodes d'analyse et de spécifications pour les systèmes proposés par les éditeurs logiciels, mais aussi la proposition d'outils pour les acteurs de la conception dans un contexte PLM.

Ces travaux intègrent également les résultats développés par l'axe consacré à l'étude de la collaboration entre acteurs, puisque l'application des méthodes développées permet d'une part de compléter la caractérisation des vues utilisateurs et métier nécessaires pour spécifier l'environnement d'assistance pour la conduite, et d'autre part d'améliorer la caractérisation des processus détaillés dans les systèmes PLM lors des phases de spécification.

La figure 46 synthétise ainsi l'ensemble des axes de recherche que j'ai explorés et propose une cartographie des principaux apports qui permet de les positionner suivant les différentes étapes de la méthodologie de recherche suivie. Dans le chapitre suivant, je rappelle ces apports et leurs limites, de façon à mettre en évidence les travaux qui restent à poursuivre.

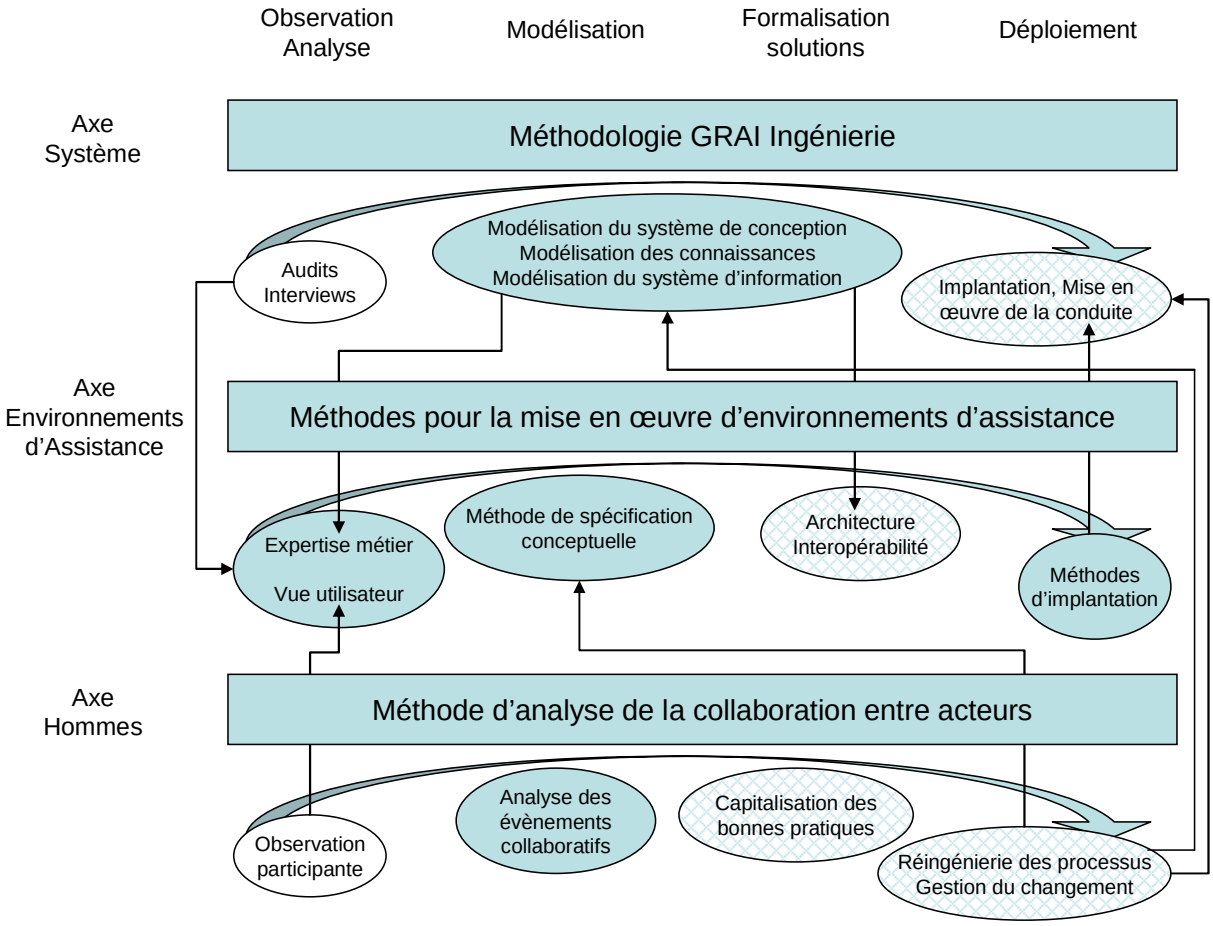


Figure 48. Axe mise en œuvre d'environnements d'assistance et couplage des 3 axes de recherche

3.5. SYNTHESE ET PERSPECTIVES

3.5.1. L'affirmation d'un schéma de recherche

L'ensemble des travaux menés et présentés précédemment procèdent d'objectifs complémentaires qui concourent vers un objectif global et unique : l'étude d'environnements d'assistance aux acteurs de la conception destinés à supporter la conduite de la conception dans un environnement PLM.

J'ai démontré que ces travaux sont structurés autour de trois axes complémentaires (figure 40). Le premier axe étudié, l'axe « système », se focalise sur la conduite de la conception et s'appuie sur une approche systémique et la modélisation d'entreprise pour proposer une méthodologie destinée à transformer l'entreprise vers cette démarche de conduite. Ce premier axe est donc caractérisé par une approche descendante. Focalisée sur la conduite par les chefs de projet et les responsables intermédiaires, complexe et nécessitant un environnement informatique adéquat, ces travaux ne sont pas suffisants en eux-mêmes pour permettre aux acteurs une mise en œuvre satisfaisante des mécanismes de conduite.

C'est pourquoi j'ai proposé deux axes complémentaires : l'axe des « acteurs » qui se focalise sur l'étude des mécanismes collaboratifs entre acteurs de façon à intégrer le facteur humain parmi les paramètres entraînant la prise de décision en conduite. Cet axe repose entièrement sur une approche ascendante qui vient donc compléter les résultats scientifiques du premier axe en rendant plus robustes les modèles et méthodes proposées tout en préparant leur application. Ces travaux mettent aussi en évidence les besoins fonctionnels des « acteurs de la conception » qui se traduisent dans les environnements d'assistance étudiés dans le troisième axe. La conception de systèmes d'information supports aux acteurs de la conception constitue l'objectif principal de ma thématique de recherche. Cet axe essentiel doit intégrer de multiples points de vue : l'intégration de la conduite de la conception mais aussi les besoins métiers des acteurs ; les chefs et responsables de projets comme les concepteurs (au sens de la conduite) ; l'élaboration de nouveaux systèmes d'information mais aussi la prise en compte des systèmes existants comme les systèmes PLM ; enfin la proposition de nouveaux outils mais aussi les conditions de leur mise en œuvre effective au sein des entreprises.

A travers les expérimentations et les projets menés, c'est également l'intérêt de la démarche de recherche proposée qui a été confirmée (figure 4). Des phases initiales d'observation et d'analyse menées dans un environnement industriel permettent d'enrichir considérablement une problématique donnée. Par ailleurs une fois les résultats scientifiques établis, leur application s'en trouve renforcée à travers l'élaboration de spécifications logicielles très détaillées et basées sur les besoins utilisateurs, mais aussi à travers la formalisation de scénarios d'expérimentations permettant un réel retour d'expérience.

3.5.2. Perspectives : vers des environnements d'assistance interopérables

Ma contribution dans le domaine de la conduite de la conception tient essentiellement dans la proposition de la méthodologie GRAI R&D en vue de déployer cette approche dans l'entreprise. Bien que cette méthodologie intègre toutes les étapes de l'analyse au déploiement et à la spécification d'un système d'information adapté, elle a été élaborée en prenant comme périmètre l'entreprise étendue.

La mondialisation de l'économie a progressivement amené les entreprises à collaborer pour développer de nouveaux produits. La co-conception est un enjeu désormais important qu'il est nécessaire de prendre en compte. Toutefois la collaboration multi-partenaires représente un risque dû aux contraintes induites par leurs liens de dépendance mutuelle. La question de la collaboration est donc fondamentale à chacune des étapes du développement du produit comme de la fabrication : l'étude de marché, la conception, la fabrication, la commercialisation et la distribution. Il est nécessaire de mettre au point des méthodes et des outils pour aider les responsables avant, pendant et après les projets de développement de produits. Par ailleurs la collaboration implique des échanges de données et d'informations. Mais ces échanges ne peuvent avoir lieu sans un diagnostic stratégique clair de l'environnement extérieur de l'entreprise, des opportunités et des menaces, ainsi que l'environnement interne, ses forces et ses faiblesses. Une fois ce diagnostic réalisé et les protocoles de collaboration établis, l'entreprise devra chercher de nouveaux partenaires, les choisir, et enfin négocier et signer des contrats [Liker 03] [Womack et al. 91].

Durant ces phases de contact et de rapprochement, l'entreprise doit identifier les tactiques pertinentes pour la réalisation de ses propres objectifs stratégiques permettant à chaque acteur du réseau d'atteindre un équilibre « gagnant-gagnant » [Womack & Jones 03]. C'est certainement l'une des étapes tout à la fois centrale et extrêmement difficile de l'établissement de la collaboration. La collaboration effective peut dès lors commencer, durant les phases de conception et d'industrialisation. Ces observations montrent clairement qu'une approche scientifique est nécessaire pour analyser et comprendre ces situations complexes de façon à apporter une assistance pertinente aux responsables de l'entreprise. En outre la conception collaborative avec des partenaires, nouveaux ou anciens, n'est qu'un aspect de la co-conception, il faut aussi intégrer la phase d'industrialisation durant laquelle les partenaires doivent collaborer de façon quotidienne et interagir en respectant leurs objectifs individuels et collectifs. Le travail collectif concerne les partenaires en réseau sur des aspects stratégiques, tactiques et opérationnels [Shore & Venkatachalam 00]. Quand le produit est conçu et industrialisé, l'enjeu pour l'entreprise consiste à co-gérer la fabrication avec l'ensemble des partenaires en respectant les contraintes de coût, qualité et délais, et cela d'autant plus que certains partenaires n'ont pas participé aux phases de développement. Ainsi les choix effectués par les responsables pour constituer un réseau de partenaires doivent considérer non seulement les partenaires de la conception mais aussi les partenaires impliqués tout au long du cycle de vie du produit, en fabrication notamment, dès le début des projets de développement [Zolghadri et al. 06].

Dans ce contexte de co-conception, la méthodologie GRAI R&D doit être adaptée pour étendre la conduite de la conception à l'ensemble du réseau de partenaires impliqués dans le développement d'un produit. En effet, la conduite du réseau ajoute plusieurs types de contraintes nouvelles qui n'existent pas quand l'entreprise développe de façon autonome un

produit. Lors d'un projet de co-conception, chaque entreprise gère deux niveaux distincts de conception : un niveau purement interne, au sein duquel l'entreprise gère comme un projet interne la conception des sous-systèmes dont elle a la responsabilité ; et un niveau externe, qui s'intègre au projet global de développement, et qui garantit la synchronisation du projet interne avec le projet externe. Les différentes étapes de modélisation du système de conception du réseau de partenaires ne peut donc pas être menée comme une simple addition de modèles réalisés au sein de chaque entreprise, ni comme une modélisation globale. Les deux niveaux doivent être étudiés pour comprendre quelles sont les relations entre eux et définir comment les modèles proposés doivent évoluer : les modèles du système décisionnel et du système technologique, mais aussi les modèles des connaissances puis du système d'information fédérateur.

La co-conception impacte également l'axe des « acteurs » en renforçant la nécessité de maîtriser les mécanismes collaboratifs entre des acteurs qui appartiennent à des entreprises différentes. Il ne suffit pas de conduire le processus de développement de produit dans le cadre de l'entreprise étendue mais aussi de favoriser la collaboration inter-entreprise afin de conserver la flexibilité de ce processus [Pardessus 01]. Aux enjeux individuels et collectifs - jeux de pouvoir, motivation, ambitions - présents au sein de l'entreprise s'ajoutent les objectifs propres de chaque partenaire : objectifs stratégiques et locaux, intérêts dans le partenariat, nature des partenariats et culture d'entreprise, etc. De véritables réseaux informels d'acteurs [Krackhardt & Hanson 93] se développent parfois de façon volontariste et parfois de façon spontanée, émergente. En conduite, il est important pour les responsables de favoriser ce type de réseaux de façon à améliorer la satisfaction de certains objectifs de conception, techniques, collaboratifs, … [Krackhardt 94]. Les comprendre et les modéliser répond à un double objectif : poursuivre la validation de la méthode d'analyse des mécanismes collaboratifs proposée lors de la thèse de Guillaume Pol d'une part ; et d'autre part participer à l'évolution de la méthode GRAI Ingénierie par l'identification des spécificités de la collaboration en co-conception – flux d'information, prise de décision, partage de connaissances par exemple -.

Dans l'axe « environnement d'assistance », les spécifications d'un système d'information pour la conduite ont permis une modélisation fonctionnelle, sans aborder explicitement la question de l'implémentation en entreprise. Les prototypes logiciels réalisés jusqu'à présent prennent le parti d'élaborer un outil logiciel unique assurant le support de la conduite et devenant le noyau fédérateur des acteurs. Seul le prototype IPPOP envisage la connexion à des outils experts à travers des API standardisées afin de partager des informations communes.

Malgré tout mes autres travaux relatifs aux environnements d'assistance témoignent d'une réalité plus complexe. Les projets de conception couvrent une grande partie du cycle de vie d'un produit, de l'identification du besoin jusqu'à la définition complète du produit et de ses procédés d'industrialisation. De nombreux systèmes informatiques coexistent pour supporter les activités de conception :

- les logiciels spécialisés, ou applications expertes, qui correspondent aux différents besoins métiers des acteurs et aident à la prise de décision technique : la nécessaire traçabilité de l'évolution du produit et du processus au sein du système technologique

doit prendre en compte les informations gérées par ces logiciels experts afin d'éviter des redondances ;

- les systèmes PLM qui assurent la gestion des données techniques et du cycle de vie du produit, la gestion de la configuration produit et de la documentation : non seulement ils assurent eux-mêmes une traçabilité des processus de conception et des données produits, mais ils assurent également une traçabilité partielle des décisions prises et leur suivi ;
- les outils de la gestion de projet et de gestion des portefeuilles de projets : ils gèrent directement des fonctions et des informations de coordination ;
- les outils d'aide au travail collectif : collecticiels et systèmes de Gestion Electronique de Documents (GED) : ils supportent l'application des référentiels qualité de l'entreprise et les principaux flux collaboratifs entre les acteurs ;
- enfin les systèmes de gestion des connaissances pour la conception, systèmes experts, de retour d'expérience ou mémoires projet : supports aux acteurs, coordonnateurs comme concepteurs.

Du fait de cette complexité, je perçois les environnements d'assistance proposés jusqu'à présent comme des démonstrateurs et non comme des systèmes d'information adaptés à une réelle mise en œuvre. Il faut donc étudier l'intégration entre la proposition de nouveaux outils ou systèmes avec les logiciels et systèmes d'information existants au sein des entreprises. Toutefois, considérer ce problème uniquement du point de vue opérationnel n'est pas satisfaisant car elle conduit à la multiplication d'interfaces spécialisées pour chaque outil étudié ou cas d'application envisagé. Il est nécessaire d'explorer des solutions génériques qui peuvent être déployées avec un minimum d'efforts dans des situations différentes. La problématique de l'interopérabilité est centrale dans la perspective de rendre applicable la conduite de la co-conception au sein d'un réseau de partenaires, et ce dans un contexte PLM.

La capacité des systèmes industriels actuels à être interopérables pour faciliter les échanges d'informations est faible car s'appuyant au mieux sur des échanges de fichiers via des formats pauvres du point de vue sémantique. De ce point de vue les systèmes actuels répondent de manière incomplète au besoin croissant d'intégration des connaissances qui permette une véritable collaboration des différents métiers lors du développement d'un produit entre plusieurs partenaires. Ils ne répondent pas non plus à la nécessité de coordonner ces différentes équipes engagées dans la conception du produit, avec comme corollaire de pouvoir tracer les activités essentielles pour mieux suivre l'avancement des projets. Ces conditions impliquent également de pouvoir mieux prendre en compte les activités collaboratives et/ou informelles, riches d'échanges d'informations et de partage de connaissances entre acteurs.

Compte-tenu des limitations énoncées jusqu'à présent, l'interopérabilité doit être étudiée à plusieurs niveaux. Non seulement les outils et systèmes proposés doivent être interopérables entre eux et avec les outils et systèmes existants pour faciliter les échanges de données, mais il faut considérer également les processus et les organisations impliquées dans les situations de co-conception. L'interopérabilité est par définition la capacité pour deux systèmes ou plus à échanger des informations et à accéder réciproquement à leurs

fonctionnalités. Il existe trois approches pour établir l'interopérabilité : l'approche intégrée basée dur un format commun, l'approche unifiée basée sur un meta-modèle pour la mise en correspondance, et enfin une approche fédérée permettant aux systèmes de s'adapter automatiquement. L'interopérabilité d'entreprise s'intéresse prioritairement aux organisations en réseau. La recherche s'appuie actuellement sur plusieurs axes complémentaires combinant les approches d'ingénierie basée sur les modèles, les ontologies pour la médiation de processus collaboratifs, les architectures orientées services, de façon à développer des systèmes d'inforamtion collaboratifs orchestrés par médiation. C'est ainsi que l'approche MDA (Model Driven Architecture, [OMG 03]) s'appuie sur l'utilisation de modèles et de leurs transformations pour concevoir et implanter différents systèmes. L'approche MDI (Model Driven Interoperability, [Bouray 07] s'inspire de cette approche pour préconiser des modèles d'entreprise et l'utilisation de techniques de transformations de modèles pour relier les différents niveaux d'abstraction des organisations aux outils.

Le projet ISTA3 et la thèse récemment engagée avec Mickael Romain constituent une illustration particulièrement pertinente de cette idée. Le concept d'interopérabilité d'entreprise permet de concilier les approches de modélisation d'entreprise (telles qu'étudiées dans l'axe système) avec les approches de spécifications logicielles au travers des modèles MDI qui définit un cadre générique. L'application au PLM de ces recherches renforce les travaux menés jusqu'à en PLM pour les intégrer complètement dans ce même cadre.

Ainsi ce projet concerne les échanges de données techniques entre les systèmes PLM de deux partenaires aéronautiques. En pratique, il s'agit d'échanger des données CAO entre deux systèmes PLM mais aussi les méta-données qui leur sont associées, comme par exemple la version des articles CAO échangés et leur état (relatif à leur cycle de vie). Comme les organisations sont différentes, le partenaire recevant les articles CAO en a une vision différente et n'aura pas besoin de toutes les méta-données envoyées, de la même façon qu'il en manquera certaines qui lui sont propres. De même les processus de conception étant différents, certaines méta-données de même nature comme la version et l'état auront une interprétation différente et donc des valeurs différentes sur chacun des deux systèmes.

Dans le cadre de mes perspectives de recherche, l'étude de la problématique de l'interopérabilité d'entreprise a pour but de proposer une démarche générique de spécifications puis de déploiement d'environnements d'assistance susceptibles de prendre en compte les contraintes opérationnelles d'implantation en entreprise. Cette implantation ne peut toutefois être effective qu'avec leur acceptation par les acteurs. Cette dernière phase sera étudiée à travers la thèse de Stéphanie Mahut ce qui aboutira à la formalisation d'une démarche complète comprenant l'étude d'environnements d'assistance centrés utilisateurs, leurs spécifications, la proposition d'architectures interopérables, leur développement et leur implantation, jusqu'à la conduite du changement auprès des futurs utilisateurs.

Ce travail de thèse vise à aider au déploiement et à l'appropriation d'outils méthodologiques en conception et ingénierie système. Il a pour but de développer une démarche de déploiement d'outils méthodologiques en y intégrant notamment les problématiques d'appropriation par une organisation et d'utilisabilité des interfaces et des formations. L'objectif est aussi d'en étudier la mise en œuvre à travers la confrontation de la

suite d'outils méthodologiques développée par l'entreprise TDC transfert de Connaissances avec des situations de terrain.

En conclusion mes travaux de recherche sont centrés sur l'étude et la proposition d'environnements d'assistance pour les acteurs de la conception dans un contexte de conduite et s'articulent suivant un axe « système » qui est centré sur la problématique de la conduite, un axe « acteurs » qui est centré sur l'étude des mécanismes collaboratifs, et enfin un axe « environnements d'assistance » qui s'appuie sur les 2 axes précédents pour concevoir les outils logiciels supports aux acteurs. Depuis les premiers travaux réalisés, deux nouvelles perspectives doivent être associées : la généralisation de la co-conception au sein d'un réseau de partenaires et le passage d'une problématique de gestion du développement d'un produit à une problématique de gestion globale du cycle de vie du produit (approche PLM).

Ces nouvelles perspectives, ramenées sur les trois axes précédents, permettent de définir trois nouvelles directions qui conditionnent mes futurs travaux (figure 47) :

- l'extension de la méthodologie GRAI R&D à la co-conception sur les axes « système » et « acteurs »,
- l'intégration de la problématique de l'interopérabilité d'entreprise à l'axe « environnements d'assistance »,
- la généralisation d'une démarche de conception d'environnements d'assistance intégrant les problématiques d'appropriation et d'utilisabilité.

Les deux dernières de ces directions font déjà l'objet de travaux scientifiques via deux thèses de doctorat et deux projets ou partenariats industriels.

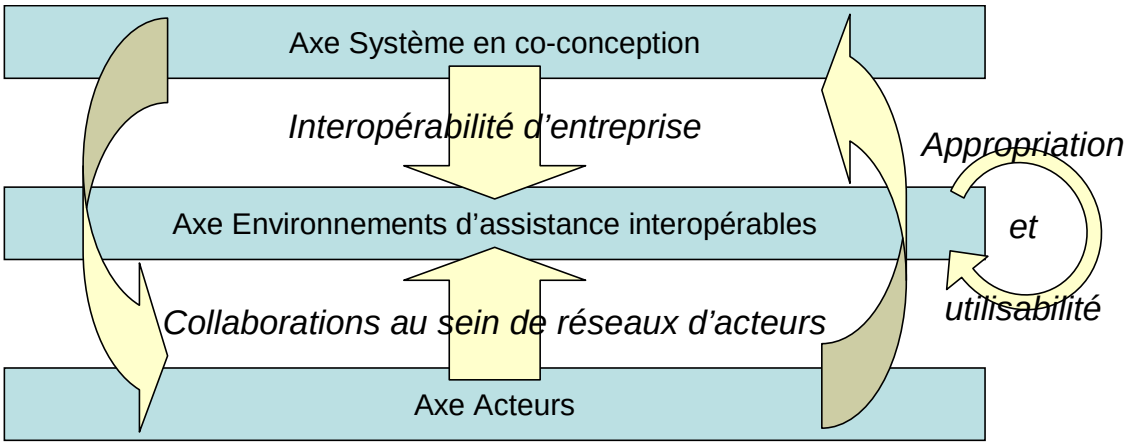


Figure 49. Evolution des axes de recherche

4. DETAILS DES PUBLICATIONS

I. Articles dans des revues avec comités de lecture

Revues internationales (11)

[A16] Jared G, **Merlo C.**, Legardeur J, Pol G
"CoCa: A tool for Analysing Collaborative Practices to Improve Design Process Management"
International Journal of Manufacturing Technology Management, accepté, en cours de publication, 2009 / 2010

[A15] Bottechia S, Cieutat JM, **Merlo C**., Jessel J.P.
"A New AR Interaction Paradigm for Collaborative Teleassistance System: The POA"
International Journal on Interactive Design and Manufacturing (IJIDeM), Springer Paris, DOI 10.1007/s12008-008-0051-7, février 2009, Vol. 3, n°1, pp.35-40, ISSN 1955-2513.

[A14] Pol G, Merlo C., Legardeur J, Jared G
"Implementation of collaborative design processes into PLM systems"
International Journal of Product Lifecycle Management, 2008, Vol. 3, n°4, pp.279-294

[A13] Legardeur J., **Merlo C.**
"Fostering creativity and innovation during early informal design phases. Part 1: sociotechnical and psychology studies"
Journal of Design Research, Inderscience Publisher, UK, 2007, Vol. 6, n°1, pp 1-4.

[A12] **Merlo C.**, Legardeur J.
"Fostering creativity and innovation during early informal design phases. Part 2: methods and tools"
Journal of Design Research, Inderscience Publisher, UK, 2007, Vol. 6, N°2, pp.146-149.

[A11] Pol G., **Merlo C.**, Legardeur J., Jared G.
"Analysing collaborative practices in design to support project managers"
International Journal of Computer Integrated Manufacturing, Taylor & Francis, UK, Vol. 20, No. 7, October-November 2007, pp. 654-668.

[A10] Girard Ph., Legardeur J., **Merlo C.**
"Product innovation through management of collaborative design in concurrent engineering"
International Journal of Technology management and sustainable Development, Intellect Publishers, UK, Vol 6, n°2, pp.151-164, 2007.

[A9] Legardeur J., **Merlo C.**, Fischer X.
"An Integrated Information System for Product Design Assistance based on Artificial Intelligence and Collaborative Tools"
International Journal of Product Lifecycle Management, Inderscience Publisher, UK, Vol. 1, n°3, pp. 211-229, 2006.

[A8] **Merlo C.**, Eynard B., Girard P., Odinot A., Gallet T.
"Compared implementations of PDM systems based on UML specifications"
International Journal of Product Lifecycle Management, Inderscience Publisher, UK, Vol.1, n°1, pp. 52-69, 2005.

[A7] **Merlo C.**, Girard P.
"Information System Modelling for Engineering Design Co-ordination"
Computers in Industry, Elsevier, Vol. 55, n°3, pp. 317-334, December 2004.

[A6] Legardeur J., **Merlo C.**, Franchistéguy I., Bareigts C.
« Empirical Studies in Engineering Design and Health Institutions », in the book « Methods and Tools for Co-operative and Integrated Design »
Editors S. Tichkiewitch and D. Brissaud, KLUWER Academic Publishers, pp. 385-396, janvier 2004, ISBN: 1-4020-1889-4.

Revues nationales (4)

[A5] Legardeur J., **Merlo C.**, Pol G.
«Instrumenter l'informel dans les phases amont des projets de conception innovante»
Revue Document numérique, Vol. 8, n°1, « Coopérati on et organisation numériques », sous la direction de B. Eynard, N. Matta, Editions Hermès-Lavoisier, pp. 51-65, 2004, ISBN 2-7462-0896-2.

[A4] Legardeur J., **Merlo C.**, Girard P.
« Un modèle de pilotage pour favoriser la collaboration lors des processus de conception »
Revue Française de Gestion Industrielle, ARFGI, Mines de Paris, Vol. 23, n°2, pp. 33-44, juin 2004, ISSN 0242-9780.

[A3] **Merlo C.**, Roucoules L., Odinot A., Girouard L., Michel R.
« Personnalisation des typologies d'objets pour la décomposition produit au sein des outils PLM »
Revue RCFAO, Editions Hermès-Lavoisier, Vol. 18, N°4, 2003, pp 409-426.

[A2] Franchisteguy I., Legardeur J., **Merlo C.**
« Combiner gestion des connaissances et gestion de projets innovants ? »
Revue Cognitique-Cognitics, Editée par l'Institut de Cognitique de l'Université Bordeaux 2, n°6, pp.13-22, novembre, 2003, ISSN 1282-7150.

[A1] **Merlo C.**, Girard P.
« Coordination en ingénierie de la conception : mise en œuvre d'un système multi-agents »
Editeurs P. Aniorté et S. Gouardères, Cognitique, Cepadues-Editions, pp 161-173, ISBN 2-85428-612-2, septembre 2003.

B. Ouvrages

Coordination d'ouvrages (2)

[B4] Bernard Yannou, Michel Bigand, Thierry Gidel, **Christophe Merlo**, Jean-Pierre Vaudelin
« La conception industrielle de produits, volume 1, management des hommes, des projets et des informations »
Hermès Sciences Publishing, Lavoisier, collection Productique, Mars 2008, ISBN 978-2-7462-1921-2.

Merlo C., Lombard M., Huyet A.L., Matta N., Robin V.
« Troisième partie : les systèmes d'information pour la prise de décision », chapitres 10 à 14
Lavoisier, collection Productique, La conception industrielle de produits, volume 1, management des hommes, des projets et des informations, Chapitre 6, Hermès Sciences Publishing, sous la direction de Bernard Yannou, Michel Bigand, Thierry Gidel, Christophe Merlo, Jean-Pierre Vaudelin, Mars 2008, ISBN 978-2-7462-1921-2.

Chapitres d'ouvrages (4)

[B3] Bigand M., **Merlo C.**
« Structuration des moyens du projet », Chapitre 6

Merlo C., Lombard M., Robin V.
« Systèmes d'information pour la prise de décision », Chapitre 11

Lombard M., **Merlo C.**
« Une démarche de mise en œuvre de systèmes d'information pour la conception de produit », Chapitre 14
Lavoisier, collection Productique, La conception industrielle de produits, volume 1, management des hommes, des projets et des informations, Hermès Sciences Publishing, sous la direction de Bernard Yannou, Michel Bigand, Thierry Gidel, Christophe Merlo, Jean-Pierre Vaudelin, Mars 2008, ISBN 978-2-7462-1921-2.

[B2] **Merlo C.**
« Les systèmes d'information, supports de la conception de produit », Chapitre 10
Lavoisier, collection Productique, La conception industrielle de produits, volume 1, management des hommes, des projets et des informations, Hermès Sciences Publishing, sous la direction de Bernard Yannou, Michel Bigand, Thierry Gidel, Christophe Merlo, Jean-Pierre Vaudelin, Mars 2008, ISBN 978-2-7462-1921-2.

[B1] **Merlo C.**, Girard P.
« Modélisation des connaissances pour la conduite de la conception de produits »
Traité IC2, Gestion dynamique des connaissances industrielles, sous la direction de Benoît Eynard, Muriel Lombard, Nada Matta et Jean Renaud, Editions Hermès-Lavoisier, pp. 279-297, octobre 2004, ISBN 2-7462-0952-7.

C. Communications dans des colloques avec actes et avec comités de lecture

Colloques internationaux (35)

[C51] Minel S., **Merlo C.,** Zolghadri M.
"Analysing collaboration in order to propose a framework for supporting management of co-design network"
ERIMA'08, Porto, 2008

[C50] **Merlo C.,** Zolghadri M., Minel S.
«Actors' networks management to set up design teams»
In the proceedings VirtualConcept-Idmme, China, 2008

[C49] Chapotot E., Legardeur J., **Merlo C.,** Girard P.
"A new strategic approach in PLM, Usage Lifecycle Management (ULM) to redesign and innovate"
In the proceedings of PLM08, Juillet, Séoul, 2008

[C48] Chapotot E., **Merlo C.**, Legardeur J., Girard P.
"A PLM approach integrating "usage" "
Proceedings of the 10th International Design Conference, ed. D.Marjanovic, Dubrovnik, Croatia, 2008

[C47] **Merlo C.**, Minel S.
"Analysing collaboration in a worldwide company co-design network"

Extended Product and Process Analysis aNd Design (Exppand08), Bordeaux, 2008

[C46] Chapotot E., Legardeur J., **Merlo C.,** Girard P.
"ULM Usage Lifecycle Management improving product/service innovation and design"
Extended Product and Process Analysis aNd Design (Exppand08), Bordeaux, 2008

[C45] Robin V., **Merlo C.**, Girard P.
"PEGASE: A prototype of software to manage design system in a collaborative design environment"
Complex Systems Concurrent Engineering: Collaboration, Technology Innovation and Sustainability, ISBN10: 1846289750 ; ISBN13: 9781846289750, Springer Geilson Loureiro et Richard Curran (2007), 14th ISPE International Conference on Concurrent Engineering, Sao Jose dos Campos, Brazil, 2007, p. 597-604.

[C44] **Merlo C.**, Pol G., Jared G., Legardeur J.
"From collaborative practices analysis to improvements in the definition of PDM workflows"
In the proceedings of International Conference on Engineering Design, ICED'07, Paris, France, 2007.

[C43] Pol G., **Merlo C.**, Legardeur J., Jared G.
"Supporting collaboration in product design through PLM system customization"
In Product Lifecycle Management: Assessing the industrial relevance, M.Garetti, S.Terzi, P.Ball, S.Han (editors), PLM'07, Milano, Italy, 2007, p. 21-30, ISBN 0-907776-32-9.

[C42] **Merlo C.**, Legardeur J., Pol G., Jared G.
"Managing collaboration for improving design co-ordination"
Proceedings of ERIMA 07, 2007, Bidart, France.

[C41] **Merlo C.**, Pol G., Jared G., Legardeur J.
"Collaborative practices analysis in design teams"
In the proceedings of Virtual Concept 2006, Springer Verlag, Cancun, 2006.

[C40] Roucoules L., Noel F., Teissandier D., Lombard M., Debarbouillé G., Girard P., **Merlo C.**, Eynard B.
"IPPOP: an opensource collaborative design platform to link product, design process and industrial organisation information"
6th International Conference on Integrated Design and Manufacturing in Mechanical Engineering, May 17-19, 2006.

[C39] **Merlo C.**, Pol G., Legardeur J., Jared G.
"A tool for analysing collaborative practices in project design"
Information Control Problems in Manufacturing 2006 A proceedings volume from the 12th IFAC International Symposium, 1 709-714 Elsevier Science A.Dolgui, G.Morel, C.E.Pereira (2006) 12th IFAC International Symposium, INCOM'06, Saint-Etienne, France, 2006.

[C38] Eynard B., **Merlo C.**, Pol G.
"Towards PLM implementation method in SME"
Proceedings of the 15th International Conference on Engineering Design, ICED05, Melbourne, 2005.

[C37] Pol G., Jared G., **Merlo C.**, Legardeur J.
"Prerequisites for the implementation of a product data and process management tool in SME"
Proceedings of the 15th International Conference on Engineering Design, ICED05, Melbourne, 2005.

[C36] Pol G., **Merlo C.**, Jared G., Legardeur J.
"From PDM systems to integrated project management systems: a case study"
Proceedings of the international conference on Product Lifecycle Management, PLM'05, Lyon, 2005.

[C35] **Merlo C.**, Pol G., Jared G., Legardeur J., Girard P.
"Controlling Collaboration for Engineering Design Coordination"
17th World Congress IMACS, Paris, France, 2005.

[C34] Fischer X., **Merlo C.**, Legardeur J., Zimmer L., Anglada A.
« Knowledge Management and Support Environment in Early Phases of Design Process »
ASME International 24th Computers and Information in Engineering (CIE) Conference, ASME Publishing, Salt Lake City, USA, nnovac 2004.

[C33] **Merlo C.**, Fischer X., Legardeur J., Zimmer L., Anglada A.
« To combine Information System and Artificial Intelligence Tools for Product Design Assistance »
International Conference on Computing, Communications and Control Technologies, ed. M.J. Savoie, Austin, USA, august 2004.

[C32] **Merlo C.**, Michel R., Girard P., Nowak P., Roucoules L.
« Implementation of an Integrated Organisation and Process Tool for Engineering Design Co-ordination »
e-Challenges 2004 conference, published in "eAdoption and the Knowledge Economy: Issues, Applications, Case studies", ed. Paul Cunningham and Miriam Cunningham, IOS Press, pp. 1293-1300, Vienna, Austria, octobre 2004, ISBN 1 58603 470 7, ISSN 1574-1230.

[C31] Legardeur J., Minel S., **Merlo C.**, Pol G.
« What are Early Informal Design Phases? »
in the proceedings of the workshop "Cooperation for Innovation during Early Informal Design Phases" of the 6th International Conference on the Design of Cooperative system, pp. 119-122, French Riviera, May 11-14 2004.

[C30] **Merlo C.**, Legardeur J.
« Collaborative tools for innovation support in early product design phases: a case study »
Proceedings of the 8th International Design Conference, ed. D.Marjanovic, Dubrovnik, Croatia, mai 2004, ISBN 953-6313-61-8.

[C29] Legardeur J., **Merlo C.**, Pol G.
« On the use of annotation functionality in PDM tools to foster collaborative design processes »
IDMME'2004, Bath, UK, 5-7 avril 2004.

[C28] **Merlo C.**
"Towards Virtual Reality Integration into Collaborative Design Processes", Virtual Concept, Biarritz, pp.86-91, 5-7 novembre 2003.

[C27] Legardeur J., **Merlo C.**, Girard P.
« Pilotage de la coopération et de la coordination lors des processus de conception »
5ème congrès international de Génie Industriel, GI 2003, Québec, 26 – 29 octobre 2003.

[C26] Girard P., **Merlo C.**
"GRAI Engineering Methodology for Design Performance Improvement"
International Conference in Engineering Design ICED 03, Stockholm, 19-21 août 2003.

[C25] Nowak P., **Merlo C.**, Eynard B., Gallet T.
"From Design Process Specification Towards PDM Workflow Configuration"
International Conference in Engineering Design ICED 03, Stockholm, 19-21 août 2003.

[C24] **Merlo C.**, Girard P., « Information System Modelling by an Object-oriented Approach for Engineering Design », in CESA 2003, Multi-conférence "Traitement de l'Information dans la Théorie des Systèmes et ses Applications », Lille, 9-11 juillet 2003.

[C23] Legardeur J., **Merlo C.**, Franchistéguy I., Bareigts C., « Co-operation and co-ordination during the design process: empirical studies and characterisation », 2003 International CIRP Design seminar, Grenoble, 12-14 mai 2003.

[C22] **Merlo C.**, Girard P.
"GRAI ENGINEERING: A Knowledge Modelling Method to Co-ordinate Engineering Design"
2003 International CIRP Design Seminar, Grenoble, 12-14 mai 2003.

[C21] Eynard B., **Merlo C.**, Carratt B.
"Aeronautics Product Development and Certification Workflow based on Process Modelling"
Proceedings of the 8th International Conference on Concurrent Enterprising (ICE 2002), K.S. Pawar, F.Weber & K-D. Thoben (eds), Centre for Concurrent Enterprising, Nottingham, UK, ISBN 0 85358 113 4, juin 2002.

[C20] Girard P., **Merlo C.**, Doumeingts G.
« Approche de la performance en conduite de l'ingénierie de la conception »
Actes IDMME'2002 (éds G. Gogu, D. Coutellier, P. Chedmail, P. Ray), Clermont-Ferrand, France, ISBN 2-9518169-5-2, 14-16 mai 2002.

[C19] Girard P., **Merlo C.**, Doumeingts G.
« Capitalisation des connaissances en ingénierie de la conception »
Actes IDMME'2002 (éds G. Gogu, D. Coutellier, P. Chedmail, P. Ray), Clermont-Ferrand, France, ISBN 2-9518169-5-2, 14-16 mai 2002.

[C18] Girard P., **Merlo C.**
"An agent environment to support co-ordination between design actors"
International Conference in Engineering Design ICED 01, (éds S. Culley, A. Duffy, Ch. McMahon, K. Wallace), Profesional Engineering Publishing, Glasgow, pp.67-74, London, UK, ISBN 1 86058 355 5, 21-23 août 2001.

[C17] Girard P., **Merlo C.**
"Knowledge modelling in engineering design control"
Actes IDMME'2000 (éds C. Mascle, C. Fortin, J. Pegna), Presses Internationales Polytechniques, Montréal, Canada, ISBN 2-553-00803-1, 16-19 mai 2000.

Colloques nationaux (16)

[C16] **Merlo C.**, Robin V., Girard P.
«Expérimentation d'un environnement de travail pour la conduite de la conception»
10ème colloque PRIMECA, La Plagne, 2007.

[C15] **Merlo C.**, A.L. Huyet, N. Matta, Robin V.
"Thème 7 : Système d'information pour la décision »
Université AIP-PRIMECA Evaluation et décision dans le processus de conception, Ecole Centrale Paris, Chatenay-Malabry, 4-6 septembre, 2006.

[C14] Bigand M., Marle F., Chafaï D., Gidel T., Grandhaye J.P., **Merlo C.**, Robin V.
"Thème 4 : Management de projet »
Université AIP-PRIMECA Evaluation et décision dans le processus de conception, Ecole Centrale Paris, Chatenay-Malabry, 4-6 septembre, 2006.

[C13] Pol G., **Merlo C.**, Legardeur J., Jared G.
« Vers le pilotage de la collaboration en conception de produits : cas d'étude d'une PME »
Actes du 9ème colloque PRIMECA (CDRom), La Plagne, 2005.

[C12] Pol G., Legardeur J., Minel S., **Merlo C.**
« Les phases informelles en amont des projets de conception »
Colloque ERGO'IA, Biarritz, novembre 2004, ISBN 2-9514772-5-2.

[C11] Legardeur J., **Merlo C.**, Girard P.
« Pilotage de la coopération et de la coordination lors des processus de conception »
in the CD-Rom proceedings of the 5th International Industrial Engineering Conference, GI 2003, Editors D. Aït-Kadi, S. D'Amours, Québec, 26-29 October, 2003. ISBN 2-9808240-0-3

[C10] Legardeur J., **Merlo C.**, Franchistéguy I., Bareigts C.
« Coopération et coordination dans les processus de conception »
8ème colloque PRIMECA, La Plagne, 31 mars – 2 avril 2003.

[C9] Franchisteguy I., Legardeur J., **Merlo C.**
« Combiner gestion des connaissances et gestion de projet »
8ème Journées de Projectique, Bayonne-San Sebastian, pp.25-28, 30-31 janvier 2003.

[C8] **Merlo C.**, Girard P., « La gestion des connaissances en conduite de la conception »
8ème Journées de Projectique, Bayonne-San Sebastian, pp. 21 24, 30-31 janvier 2003.

[C7] Girard P., **Merlo C.**
« Modélisation des connaissances pour la conduite de la conception », 1er colloque du groupe de travail Gestion des Compétences et des Connaissances en Génie Industriel, pp.67-72, Nantes, 12-13 décembre 2002.

[C6] Girard P., **Merlo C.**
« La conduite des systèmes de conception »
in Actes de S3P 01 (éds J.-L. Billoet, X. Fischer, M. Tollenaere), Biarritz, 15-16 novembre 2001.

[C5] Eynard B., **Merlo C.**, Caratt B.
« De la modélisation du processus de conception à la spécification de workflow de GDT : une étude de cas »
Actes de S3P 01 (éds J.-L. Billoet, X. Fischer, M. Tollenaere), Biarritz, 15-16 novembre 2001.

[C4] **Merlo C.**, Girard P.
« Système multi-agents pour la coordination en ingénierie de la conception »
Colloque ALCAA 01, Bayonne, 6-8 septembre 2001.

[C3] Girard P., Eynard B., **Merlo C.**
« Modélisation des connaissances pour la conduite de la conception »
Journée thématique Primeca « Dynamique des connaissances en conception : acquisition et réutilisation », Grenoble, pp.36-41, 22 mai 2001.

[C2] Girard P., **Merlo C.**

« Un environnement multi-agent support à la conduite en conception »
Journées AIP-PRIMECA 2001, La Plagne, pp.217-224, 2-4 avril 2001.

[C1] Fischer X., Joyot P., **Merlo C.**, Nadeau J.-P.
« Intégrer le calcul mécanique dans la conception mécanique »
Actes MICAD 99, HERMES, pp.53-60, 1999.

D. Communications dans des colloques sans actes ou avec actes à diffusion restreinte

[D10] **Merlo C.**
« Pédagogie projet et maquette numérique »
Journée PLM, Paris, octobre 2008.

[D9] **Merlo C.**
« Conduite de la conception et systèmes PLM »
Journées STP GDR-MACS, La Rochelle, mars 2007.

[D8] Roucoules L., **Merlo C.**
« Le projet RNTL IPPOP : résultats et plateforme »
Journées STP GDR MACS, Valenciennes, novembre 2006.

[D7] Roucoules L., **Merlo C.**
« Le projet RNTL IPPOP : montage du projet et perspectives »
Journées STP GDR MACS, Valenciennes, novembre 2006.

[D6] **Merlo C.**
« Retour d'expérience sur l'utilisation de Windchill ProjectLink dans le cadre de projets multi-sites »
Journée REX-PLM, Chatenay-Malabry, avril 2006.

[D5] Odinot A., Applagnat F., **Merlo C.**, Eynard B.
« Diffusion des technologies PLM au sein des entreprises d'Aquitaine »
Journée thématique AIP-PRIMECA « De la CAO à la GDT : enjeux industriels et pédagogiques », Ecole Centrale de Lille, mai 2004, pp. 1-12.

[D4] **Merlo C.**
« Modélisation des connaissances pour la conduite des systèmes de conception », Journées GDR MACS, Nantes, mars 2004.

[D3] **Merlo C.**, Legardeur J.
« Systèmes d'information et collaboration dans les processus de conception »
Journées GDR MACS, Bordeaux, octobre 2003.

[D2] Girard P., **Merlo C.**
« Gestion des connaissances en conduite de la conception »
Journées GRP 6 2001, Toulouse, novembre 2001.

[D1] **Merlo C.**
« Communication et Qualité dans l'échange de données entre donneurs d'ordre et sous-traitants – Projet Arecibo »
Journée Priméca, IFMA, Clermont-Ferrand, juin 2000.

E. Conférences invitées

[E5] **Merlo C.**, Legardeur J.
"Un sistema de innovación colaborativo para soportar a la innovación en pryectos de diseño"
Seminario Tecnologías de Informacion y Comunicacion, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima, Pérou, Marzo 2007.

[E4] **Merlo C.**
"Process Organization in Design and Manufacturing"
Seminario "Interactive Tools and Methods in Product Design and Manufacturing", Universidad de las Americas, Puebla, Mexico, Noviembre 2005.

[E3] **Merlo C.**
"Knowledge Management"
Seminario "Interactive Tools and Methods in Product Design and Manufacturing", Universidad de las Americas, Puebla, Mexico, Noviembre 2005.

[E2] Legardeur J., **Merlo C.**
"Annotations in product design to foster collaborative processes"
In the CD-Rom proceedings of the International Conference Virtual Concept 2005, Springer-Verlag, Biarritz, 8-10 November, 2005. ISBN 2-287-28772-8

[E1] **Merlo C.,** Legardeur J., Fischer X.
"Collaborative Tools Integration into Design Process"
In the CD-Rom proceedings of the International Conference Virtual Concept 2005, Springer-Verlag, Biarritz, 8-10 November, 2005. ISBN 2-287-28772-8

F. Participation à des jurys de thèses / DEA / Master

Mes soutenances de thèse de doctorat et de DEA

[F37] **Merlo C.**
« Modélisation des connaissances en conduite de l'ingénierie – Mise en œuvre d'un environnement d'assistance aux acteurs de la conception »
Thèse de doctorat de l'Université de Bordeaux 1, Spécialité Productique, décembre 2003.

[F36] **Merlo C.**
« Système d'assistance aux acteurs de la conception : mise en oeuvre d'un modèle de produit et d'un modèle de processus, supports à la conduite de l'ingénierie »
Mémoire de DEA, LAP/GRAI, Université de Bordeaux I, septembre 1999.

Participation à des jurys de thèses

[F35] Jury de la soutenance de thèse de doctorat de Ricardo MEJIA, 14 octobre 2008

[F34] Jury de la soutenance de thèse de doctorat de Livier SERNA, 2007

[F33] Jury de la soutenance de PhD de Guillaume POL, 2007

Participation à des jurys de DEA / Master

[F1 à 32] 32 jurys de soutenances Master et/ou Master of Science à ESTIA, chaque année depuis 1990

G. Séminaires internes

[G4] **Merlo C.**
« Aides et assisTances pour la conception, la conduite et leur coupLage par les connAissanceS »
Séminaire Lipsi, mars 2008.

[G3] **Merlo C.**
« Perspectives de recherche »
Séminaire Lipsi, 2005.

[G2] **Merlo C.**
« Modélisation de la connaissance en conduite de l'ingénierie »
Séminaire Lipsi, 2002.

[G1] **Merlo C.**
« Modèle produit pour la conception et la conduite du processus de conception : vers un système d'assistance »
Séminaire Lipsi, 1999.

H. Rapports de recherche

De nombreux rapports liés aux projets de R&D et de transferts dont j'ai la charge : chaque projet a demandé la rédaction d'au moins un livrable, soit un total d'au moins 30 rapports.

I. Articles de vulgarisation

[I5] **Merlo C.**
« PLM »
Lettre des PMI/PME, décembre 2008.

[I4] **Merlo C.**
« CAO en PMI/PME : expériences et réflexions »
Lettre Micado Informations, p.4, décembre 2000.

[I3] **Merlo C.**
« Témoignage : Olaberria, mouliste », dans Aldaia, revue de l'IDLS, 1996.

[I2] **Merlo C.**
« Témoignage : Somocap, injecteur plastique », dans Aldaia, revue de l'IDLS, 1996.

[I1] **Merlo C.**
« Les news dans le monde de la CFAO », Lettre des PME/PMI du bassin de l'Adour, 1995.

5. BIBLIOGRAPHIE

AFNOR 94 — AFNOR (Association Française de NORmalisation) : http ://www.afnor.fr/.

Aldanondo et al. 08 — Aldanondo M., Vareilles E., Djefel M., Baron C., Auriol G., Geneste L., Zolghadri M., « Vers un couplage de la conception d'un produit avec la planification de son développement », 7e conférence internationale de Modélisation et SIMulation, MOSIM'08, Paris, France, 2008.

Badke-Schaub & Stempfle 04 — Badke-Schaub P., Stempfle, « Analysing leadership activities in design: how do leaders manage different types of requirements? », International Design Conference - Design 2004, Dubrovnik, 2004.

Baglin et al. 96 — Baglin G., Bruel O., Garreau A., Greif M., van Delft C., Management Industriel et Logistique, Paris, Economica, 1996.

Baker 02 — Baker K., "Where will knowledge management take us?", Knowledge Management and Organisational Memories, Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2002.

Baumberger et al. 03 — Baumberger C., Pulm U., Lindemann U. "Coordination and controlling of distributed product development processes", Proceedings of the 13th International Conference on Engineering Design – ICED 2003, Stockholm, Sweden, 2003.

Booch et al. 99 — Booch G., Rumbaugh J., Jacobson I., "The unified modelling language user guide", Addison-Wesley, Boston, USA, 1999.

Boujut & Tiger 02 — Boujut J.F., Tiger H., "A socio-technical research method for analyzing and instrumenting the design activity", Journal of Design Research, Vol. 2, 2002.

Bourey 07 — Bourey J.P., Grangel Seguer R., Doumeingts G., Berre A.J., "report on Model Driven Interoperability", Livrable DTG2.3, INTEROP Network of Excellence, http://interop-vlab.eu/deliv/tg2-model-driven-interoperability/, Avril 2007.

Branguier 04 — Branguier, E., « La boucle usage adaptation-reconception : l'usage comme intégration des points de vue de l'utilisation et de la conception », 39ème congrès de la SELF, Ergonomie et Normalisation, 2004, pp.535-543.

Brissaud & Garro 98 — Brissaud D., Garro O., « Conception distribu´ee, emergence », in M. Tollenaere (ed.) Conception de produits mécaniques, Méthodes, Modèles, Outils, Hermès, 1998.

Chen et al. 04 — Chen L., Wang T., Song Z., "A Web-based Product Structure Manager to Support Collaborative Assembly Modeling", Journal of Computing and Information Science in Engineering, Vol. 4, n° 1, 2004, pp.67–78.

Choi et al. 03 — Choi I., Song M., Park C., Park N., "An XML-based process definition language for integrated process management", Computers in Industry, Vol. 50, n°1, 2003, pp.85-102.

CIMdata 03 — CIMdata, "Product Lifecycle Management "Empowering the Future of Business", CIMdata Inc, Ann Arbor, http://www.cimdata.com, 2003

Clautrier 91 — Clautrier M., « Difficultés de nouvelles approches de conception dans le spatial », Séminaire GSIP, La conduite de projet pour méthodes et outils, Grenoble, France, 1991.

Coates et al. 00 — Coates G, Whitfield RI, Duffy AHB., Hills B, "Co-ordination approaches and systems Part II: An operational perspective", Research in Engineering Design, 2000; Vol.12, pp.73–89.

De Vreede & Briggs 05 — De Vreede, G. J. and Briggs, R. O. (2005). Collaboration engineering: designing repeatable processes for high-value collaborative tasks, Proceedings of the 38th Hawaii International Conference on Systems Sciences, Hawaii.

Disson et al. 99 — Disson E., Boulanger D., Dubois G., « Un Système Multi-agents pour la Coopération Sécurisée de Systèmes d'Information », ISAI 99, Palaiseau, France, 1999.

Doumeingts 84 — Doumeingts G., « Méthode GRAI : méthode de conception des systèmes en productique », Thèse d'état, Université de Bordeaux I, 1984.

Ermine 01 — Ermine J.L., « Les processus de la gestion des connaissances », in H. Briand, F. Guillet (éds) Extraction et gestion des connaissances, Hermès, 2001.

Eynard et al. 02 — Eynard B., Merlo C., Carratt B., "Aeronautics Product Development and Certification Workflow based on Process Modelling", ICE 2002, Roma, Italy, 2002.

Eynard 99 — Eynard B., « Modélisation du produit et des activités de conception - Contribution à la conduite et à la traçabilité du processus d'ingénierie », Thèse de Doctorat, Université de Bordeaux 1, 1999.

Ferber 97 — Ferber J., « Les systèmes multi-agents - Vers une intelligence collective », InterEditions - IIA, Paris, 1997.

Gero & Kannengiesser 06 — Gero JS, Kannengiesser U., "A Function-Behaviour-Structure ontology of processes", In Gero JS editor, Design Computing and Cognition'06, Springer, 2006, pp.407-422.

Girard & Doumeingts 04 — Girard Ph, Doumeingts G., "Modelling of the engineering design system to improve performance", Computers & Industrial Engineering, 2004, Vol.46(1), pp.43-67.

Girard 99 — Girard P., « Etude de la conduite de la conception des produits manufacturés - Contribution à l'ingénierie des systèmes de conception », Thèse de Doctorat, Université Bordeaux I, 1999.

Gonnet et al. 07 — Gonnet S, Henning G, Leone H., "A model for capturing and representing the engineering design process", Expert Systems with Applications, 2007; Vol.33, pp.881-902.

Gzara 05 — Gzara Yesilbas L., "Flexibility in PLM Deployment Processes : Focus on Workflow and Services", International Conference on Product Lifecycle Management, Lyon, France, 2005.

Hammer & Champy 93 — Hammer M., James Champy J., « Reengineering the Corporation: A manifesto for business Revolution", Harper Business, New York, 1993.

Han et al. 00 — Han S., Kim Y., Lee T., Yoon T., "A framework of concurrent process engineering with agent-based collaborative design strategies and its application on plant layout problem", Computers & Chemical Engineering, Elsevier, 2000, Vol.24, pp.1673-1679.

Jennings et al. 98 — Jennings N.R., Sycara. K., Wooldridge M., "A roadmap of Agent Research and Development", Autonomous Agents and Multi-Agents Systems, 1, Kluwer Academic Publishers, Boston, 1998, pp.275-306.

Johansen 98 — Johansen R., "Groupware : computer support for business teams", The Free Press, 1988.

Krackhardt 94 — Krackhardt D., "Graph theoretical dimensions of informal organizations". Computational Organizational Theory, Hillsdale, N.J., Lawrence Erlbaum Ass. Publishers, Carley K.M. et Prietula M.J. (eds), pp.89-111, 1994.

Krackhardt & Janson 93 — Krackhardt D., Hanson J., "Informal networks : the company behind the chart", Harvard Business Review, Vol. 71, n° 4, pp.104-111, 1993.

Le Moigne 77 — Le Moigne J.L., « La théorie du système général – Théorie de la modélisation », Presses Universitaires de France, Paris, 1977.

Liao 05 — Liao S., "Expert system methodologies and applications - a decade review from 1995 to 2004", Expert Systems with Applications 2005; Vol.28, pp.93-103.

Liker 03 — Liker J., "The Toyota Way", McGraw-Hill, 2003.

Link-Pezet 89 — Link-Pezet J., « Conception et gestion d'un système d'information : dialectique du formel et du réel », Thèse d'Université, Psychologie, Université de Toulouse II, 1989.

Liu et al., 01 — Liu, D.T., Xu, X.W., "A review of web-based product data management systems", Computers in Industry, 2001, Vol.44, pp.251-262.

Lorino 96 — Lorino P., « Le pilotage de l'entreprise : de la mesure à l'interprétation », Cohérence, Pertinence et Evaluation, P. Cohendet, J.H. Jacot, P. Lorino (éds), Economica, Paris, 1996.

McMahon et al. 04 — McMahon, C A, Liu, Y, Crossland, R, Brown, D, Leal, D and

Devlukia, J, A (2004). Best Practice Advice System to Support Automotive Engineering Analysis Processes, Engineering with Computers. 19(4): 271-283.

Merlo & Girard 03 — Merlo C., Girard P., "GRAI Engineering: A Knowledge Modelling Method to Co-ordinate Engineering Design", 2003 International CIRP Design Seminar, Grenoble France, 2003.

Mesarovic et al. 70 — Mesarovic M.D., Macko D., Takahara T., "Theory of hierarchical multilevel systems", Academic Press, New York, 1970.

Mintzberg 90 — Mintzberg H., « Le management – Voyage au centre des organisations », Ed. d'Organisation, Paris, 1990.

Noel 05 — Noel F., "A Dynamic Multi-view Product Model to Share the Product Behaviours Among Designers", In proceedings of the International Conference on Product Lifecycle Management, Lyon, France, Lyon; 2005.

Oh et al. 01 — Oh Y., Han S.H., Suh H., "Mapping product structures between CAD and PDM systems using UML", Computer Aided Design, 2001, Vol. 33, n° 7, pp.521-529.

OMG 03 — Object Management Group, "MDA", Version 1.0.1 Object Management Group, Document number: omg/2003-06-01, edn. 2003.

OMG 97 — Object Management Group, "The Unified Modelling Language", Release 1.1, Reference Manual, http://www.omg.org/, 1997

Pardessus 01 — Pardessus T., "The Multi-Site Extended Enterprise Concept in the Aeronautical Industry », Air & Space Europe, 2001, Vol. 3, n° 3-4, pp. 46-48.

Perrin 99 — Perrin J., « Pilotage et évaluation des processus de conception », Editions l'Harmattan, Paris, France, ISBN 2-7384-7579-5, 1999.

Petrie et al. 99 — Petrie C., Goldmann S., Raquet A., « Agent-based project management », Lecture Notes in AI 1600, Berlin, Springer, 1999.

Pol et al. 05 — Pol G., Merlo C., Jared G., Legardeur J., "From PDM systems to integrated project management systems: a case study", International conference on Product Lifecycle Management, PLM'05, Lyon, France, 2005.

Poveda 01 — Poveda O., « Pilotage technique des projets d'ingénierie simultanée – Modélisation des processus, analyse et instrumentation », Thèse de doctorat de l'Institut National Polytechnique de Grenoble, spécialité Mécanique, Conception, Géomécanique et Matériaux, 2001.

Prasad 96 — Prasad B., Concurrent engineering fundamentals - Vol. 1, Prentice-Hall, Englewood, Cliffs, 1996.

Pun 99 — Pun L., « Comment maîtriser la vie - Méthodologie Yi-King

Systémique », Edition You-Feng, Paris, France, 1999.

Quaranta 94 — Quaranta, D., "Eléments de design industriel", Polytechnica, 1994.

Quatrani 00 — Quatrani Terry, « Modélisation UML avec Rational Rose 2000 », Eyrolles, Paris, France, 2000.

Rich & Sidner 97 — Rich C. and Sidner C.L., "COLLAGEN: When agents collaborate with people", 1st International Conference on Autonomous Agents: ICAA'97, Marina del Rey, California, USA, 1997.

Robin & Girard 06 — Robin V., Girard Ph., "An integrated product-process-organisation model to manage design system", 4th CESA Multiconference on "Computational Engineering in Systems Applications", Pékin, Chine, 2006.

Robin 05 — Robin V., " Evaluation de la performance des processus collaboratifs de conception pour la conduite de l'ingénierie des produits", Thèse de Doctorat, Université Bordeaux I, 2005.

Roucoules & Tichkiewitch 00 — Roucoules L, Tichkiewitch S. Codemo: A cooperative design environment - a new generation of cad systems. Concurrent engineering: research and applications 2000, 8(4):263-280.

Saaksvuori & Immoen 04 — Saaksvuori A., Immoen A., « Product Lifecycle Management », Springer-Verlag, Berlin, 2004.

Sagot 1998 — Sagot, J.C., Gomes, S., Zwolinsky, P., « Vers une ergonomie de conception, gage de sécurité et d'innovation », in: International Journal of Design and Innovation Research, vol 1, N°2, 1998, pp 22-35.

Saikali 01 — Saikali K., « Flexibilité des workflows par l'approche objet: 2Flow: un framework pour workflows flexibles », PhD Thesis of Ecole Centrale de Lyon, 2001.

Scheer 99 — Scheer A.W., "ARIS – Business process modelling", Springer-Verlag, Berlin, 1999.

Schreiber et al. 94 — Schreiber G., Wielinga B., Akkermans H., van de Velde W., Anjewierden A., "CML: the CommonKADS Conceptual Modelling Language", Proceedings of EKAW'94, Hoegaarden, Belgium, Steels & al, eds, Springer-Verlag, Sept. 1994, pp.1-25

Shore & Venkatachalam 00 — Shore B., Venkatachalam A.R., "Evaluating the information sharing capabilities of supply chain partners", International Journal of Physical Distribution & Logistics Management, 2000.

Simon 60 — Simon H. A., "The new science of management decision", Harper & Row, New York and Evanston, 1960.

Sreeram & Chawdhry 97 — Sreeram R.T., Chawdhry P.K., "A java agent for communication in a concurrent distributed product development environment", 4th ISPE International Conference on Concurrent Engineering: research and applications, Oakland University, Rochester, Michigan, USA, 1997

August 20-22, pp.159-166.

Sudarsan 05 — Sudarsan, R.., Fenves, S. J., Sriram, R.D., Wang, F., "A product information modelling framework for product life cycle management", Computer-Aided Design, Vol. 37, n°13, 2005, pp. 139 9-1411.

Taguchi 86 — Taguchi G., "Introduction to Quality Engineering", American Supplier Institute, Inc., 1986.

Tichkiewitch et al. 93 — Tichkiewitch S., Tiger H., Jeantet A., « Ingénierie simultanée dans la conception de produits », Université d'été Pôle Productique Rhône Alpes sur la modélisation en entreprise, Modane, France, 1993.

Valette 05 — Valette T., « Recherche d'un cadre conceptuel d'aide à la conception collective innovante par l'usage : proposition d'un outil "Glocal" pour la conception d'outils à main et des équipements de travail », thesis of Ecole Nationale Supérieure des Arts et Métiers, 2005.

Veyrat 08 — Veyrat N., "Les usages dans la lunette: co-concevoir des produits et des usages innovants", thesis of Pierre Mendès-France university, 2008.

Wang et al. 02 — Wang F., Mills J.J., Devarajan V., « A Conceptual Approach to Managing Design resources », Computers in Industry, vol. 47, 2002, pp.169-183.

Weber et al. 02 — Weber C., Werner H., Deubel T., "A Different View on PDM and its Future Potentials", 7th International Design Conference DESIGN 2002, Dubrovnik, Croatia, pp.101-112, 2002.

Womack & Jones 03 — Womack J.P., Jones D.T., Lean Thinking", The Free Press, 2003.

Womack et al. 91 — Womack J.P., Jones D.T., Roos D., "The machine that change the world", Harper Perennial edition, 1991.

Wooldridge & Jennings 95 — Wooldridge M., Jennings. R., "Intelligent agents: Theory and Practice", The Knowledge Engineering review, 1995, Vol.10(2), pp.115-152.

Wu 01 — Wu D.J., "Software agents for knowledge management: coordination in multi-agent supply chains and auctions", Expert Systems with Applications, Elsevier, 2001, Vol.20, pp.51-64.

Zacklad & Grundstein 01 — Zacklad M., Grundstein M., Ingénierie et capitalisation des connaissances, Hermès, ISBN 2-7462-0234-4, Paris, 2001.

Zanettin 94 — Zanettin M., « Contribution à une démarche de conception des systèmes de production », Thèse de l'Université Bordeaux 1, France, 1994.

Zolghadri et al. 06 — Zolghadri M., Baron C., Girard F., "Innovative product and Value network co-design: context, problematic and some exploratory results", Virtual Concept 2006, Mexico, 2006.

6. ANNEXES

[A10] Pol G., **Merlo C.**, Legardeur J., Jared G.
"Analysing collaborative practices in design to support project managers"
International Journal of Computer Integrated Manufacturing, Taylor & Francis, UK, Vol. 20, No. 7, October-November 2007, pp. 654-668.

[A7] **Merlo C.**, Eynard B., Girard P., Odinot A., Gallet T.
"Compared implementations of PDM systems based on UML specifications"
International Journal of Product Lifecycle Management, Inderscience Publisher, UK, Vol.1, n°1, pp. 52-69, 2005.

[A6] **Merlo C.**, Girard P.
"Information System Modelling for Engineering Design Co-ordination"
Computers in Industry, Elsevier, Vol. 55, n°3, pp. 317-334, December 2004.