



**HAL**  
open science

# Gestion du cycle de vie des produits et dynamique des connaissances industrielles en conception intégrée

Benoit Eynard

► **To cite this version:**

Benoit Eynard. Gestion du cycle de vie des produits et dynamique des connaissances industrielles en conception intégrée. Sciences de l'ingénieur [physics]. Université de Technologie de Compiègne, 2005. tel-03128022

**HAL Id: tel-03128022**

**<https://theses.hal.science/tel-03128022v1>**

Submitted on 1 Feb 2021

**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.

# **Habilitation à Diriger des Recherches**

## **Gestion du cycle de vie des produits et dynamique des connaissances industrielles en conception intégrée**

Présentée et soutenue publiquement le 21 novembre 2005

par

**Benoît Eynard**

devant le jury composé de

Président du jury :

Patrick Martin                      Professeur à l'ENSAM de Metz

Rapporteurs :

Zohra Cherfi                      Maître de Conférences - HDR à l'UT de Compiègne

Bernard Grabot                    Professeur à l'ENI de Tarbes

Serge Tichkiewitch              Professeur à l'INP de Grenoble

Examineurs :

Pierre-Jacques Bauer            Responsable des Relations Académiques WW de Dassault Systèmes

Abdelaziz Bouras                Professeur à l'Université Lumière - Lyon 2

Jian Lu                              Professeur à l'UT de Troyes

Chris McMahon                  Professeur à l'Université de Bath - UK



A Julien, dont l'âge ne se comptait encore qu'en jours lors de l'écriture de ce mémoire.

A Baptiste, qui par ses sollicitations ludiques m'a donné de nombreuses occasions d'échapper à des heures fastidieuses de rédaction.

A Céline, avec qui je vais pouvoir retourner contempler les couchés de soleil d'Ia ; ce manuscrit enfin terminé.



# Sommaire général

## Partie A

<b>1</b>	<b>Diplômes</b> .....	<b>11</b>
<b>2</b>	<b>Activités d'enseignement</b> .....	<b>12</b>
2.1	Enseignements UTT .....	12
2.2	Enseignements pré-doctoraux .....	14
2.3	Développement des NTE .....	15
<b>3</b>	<b>Activités de recherche</b> .....	<b>16</b>
3.1	Travaux en cours au LASMIS .....	16
3.2	Encadrement de la recherche.....	18
3.3	Projets de recherche et collaborations industrielles.....	21
3.4	Publications / communications.....	25
<b>4</b>	<b>Activités administratives et d'intérêt collectif</b> .....	<b>31</b>
4.1	Enseignements .....	31
4.2	Recherche.....	32

## Partie B

<b>5</b>	<b>Introduction</b> .....	<b>37</b>
<b>6</b>	<b>Conception de produits et ingénierie simultanée</b> .....	<b>39</b>
6.1	Conception de produits manufacturés .....	39
6.2	Etat des lieux des méthodes d'ingénierie .....	39
6.2.1	Objectifs du projet <i>Open Dynamic Design</i> .....	40
6.2.2	Proposition d'une formation européenne en conception .....	40
6.2.3	Approches académiques versus industrielles .....	41
6.3	Conclusion et perspectives sur les méthodes d'ingénierie .....	44
<b>7</b>	<b>Gestion du cycle de vie des produits</b> .....	<b>46</b>
7.1	Echange de données techniques.....	47
7.1.1	Echanges de fichiers éléments finis .....	48
7.1.2	Echanges de modèles CAO paramétrés .....	51
7.1.3	Conclusion.....	57
7.2	Gestion des données techniques.....	59
7.2.1	SGDT et déploiement de chaînes de conception .....	59
7.2.2	SGDT et certification aéronautique .....	63
7.2.3	Conclusion.....	68
7.3	Environnements d'ingénierie collaborative .....	70
7.3.1	Espace coopératif de conception de produits.....	70
7.3.2	Espace coopératif d'ingénierie mécanique.....	75
7.3.3	Conclusion.....	80
7.4	Conclusion et perspectives autour du PLM .....	81

<b>8</b>	<b>Dynamique des connaissances industrielles.....</b>	<b>83</b>
8.1	Traçabilité des projets d'ingénierie .....	83
8.1.1	Modéliser le processus de conception dans une logique PPO .....	83
8.1.2	Capitalisation « au fil de l'eau » des connaissances d'ingénierie.....	86
8.1.3	Conclusion.....	88
8.2	Gestion des alternatives de conception .....	90
8.2.1	Caractéristiques fonctionnelles et technologiques des produits.....	90
8.2.2	Modélisation des alternatives .....	91
8.2.3	Conclusion.....	93
8.3	Ingénierie mécanique à partir de connaissances.....	95
8.3.1	Les Applications KBE .....	95
8.3.2	Dimensionnement optimale d'accouplement mécanique .....	96
8.3.3	Conclusion.....	99
8.4	Conclusion en matière de connaissances industrielles .....	100
<b>9</b>	<b>Perspectives et projet de recherche .....</b>	<b>101</b>
9.1	Pérennisation des recherches en cours.....	101
9.2	Développements futurs .....	102
9.3	Prospectives des recherches.....	102
<b>10</b>	<b>Bibliographie .....</b>	<b>104</b>

## Partie C

<b>Première annexe.....</b>	<b>115</b>
<b>Deuxième annexe .....</b>	<b>131</b>
<b>Troisième annexe .....</b>	<b>139</b>
<b>Quatrième annexe .....</b>	<b>159</b>
<b>Cinquième annexe.....</b>	<b>171</b>
<b>Sixième annexe .....</b>	<b>177</b>
<b>Septième annexe .....</b>	<b>195</b>

## Introduction générale

Ce manuscrit d'Habilitation à Diriger des Recherches a pour objectif de retracer mon parcours et mes activités depuis mon arrivée en 1999 au sein du Laboratoire des Systèmes Mécaniques et d'Ingénierie Simultanée de l'Université de Technologie de Troyes. Au cours de ces six années je me suis investi dans les différentes missions qui sont classiquement dévolues à un enseignant-chercheur à savoir l'enseignement et l'innovation pédagogique, les relations internationales et les programmes européens, les collaborations industrielles et le transfert de technologies, et pour finir la recherche et le développement scientifique. Concernant l'enseignement, j'ai rapidement pris mes fonctions en renforçant l'équipe pédagogique en charge des UV de conception mécanique et de CAO. Mes compétences en ingénierie simultanée et SGDT ont trouvé leur concrétisation avec l'ouverture de deux UV qui n'avaient pu voir le jour faute d'enseignant susceptible d'y intervenir ou encore avec la proposition et la création d'une nouvelle UV totalement novatrice à l'époque s'intéressant au PLM. En matière de relations internationales, je me suis attaché à développer des échanges au sein d'un réseau européen sur l'enseignement de la conception et élaborer avec des universités partenaires des propositions de projets qui ont abouti dans le cadre des actions Europe-Asie de la commission. Pour les collaborations industrielles, j'ai pu tisser des liens étroits avec de grands comptes de l'aéronautique sur des sujets d'actualité et en lien avec ma recherche. Enfin, concernant la recherche, ces six années m'ont permis d'encadrer un nombre conséquent de DEA, de lancer quatre thèses dont deux aboutiront d'ici fin 2005 et de faire soutenir deux DRT dans le cadre de deux projets R&D avec Snecma. Dans ce contexte, ma contribution scientifique en vue de présenter une HDR s'inscrit dans les thématiques du génie mécanique et de la productique adressant les méthodes d'ingénierie, la gestion du cycle de vie des produits et pour finir la dynamique des connaissances industrielles.

La première partie de ce manuscrit récapitule une notice d'activités avec mon curriculum vitae, mon parcours professionnel, mes tâches d'enseignements, de recherche et d'encadrement. Je résume ensuite mes projets de recherche et mes collaborations industrielles. Ensuite, je propose un bilan de ma production scientifique avec mes publications dans des revues internationales et nationales, dans des ouvrages et dans des conférences internationales et nationales. Pour clore cette partie, je retrace mes activités et mon implication dans la dynamique scientifique des communautés génie mécanique et productique.

La deuxième partie propose cinq chapitres où après une brève introduction pour resituer le contexte de ma recherche j'effectue une présentation détaillée de mes travaux. Le premier chapitre s'intéresse à la conception de produits mécaniques et à l'ingénierie simultanée. Le deuxième considère un thème clé de l'expertise que j'ai développé en matière de gestion du cycle de vie des produits. Dans le troisième chapitre, je m'attarde sur la dynamique des connaissances industrielles tout en adressant toujours dans le contexte de la conception de produits. Enfin, à travers la conclusion et les perspectives de ma recherche, je viens conclure ce manuscrit avec la définition de mes orientations scientifiques futures.

La dernière partie prend la forme d'annexe offrant une vision d'ensemble et cohérente des sujets abordés au cours de ces six années. Sur la base des publications majeures que j'ai effectuées en collaboration avec les étudiants encadrés ou avec mes collègues, il m'est donné de montrer les compétences et le savoir-faire acquis depuis mon arrivée à l'UTT, qui, avec ce manuscrit HDR, vise une reconnaissance de mes pairs.



# Partie A

## Curriculum vitae et notice d'activités

### Sommaire

<b>1</b>	<b>Diplômes</b> .....	<b>11</b>
<b>2</b>	<b>Activités d'enseignement</b> .....	<b>12</b>
2.1	Enseignements UTT .....	12
2.2	Enseignements pré-doctoraux .....	14
2.3	Développement des NTE .....	15
<b>3</b>	<b>Activités de recherche</b> .....	<b>16</b>
3.1	Travaux en cours au LASMIS .....	16
3.2	Encadrement de la recherche.....	18
3.3	Projets de recherche et collaborations industrielles.....	21
3.4	Publications / communications.....	25
<b>4</b>	<b>Activités administratives et d'intérêt collectif</b> .....	<b>31</b>
4.1	Enseignements .....	31
4.2	Recherche.....	32



# Benoît EYNARD

Né le 26 juin 1971 à Ste Foy la Grande (Gironde)

Nationalité : Français - Marié - 2 enfants

## Coordonnées personnelles

9 rue Eugène Piat

10000 TROYES

Tél : 06.20.65.85.30

## Coordonnées professionnelles

Laboratoire des Systèmes Mécaniques et d'Ingénierie Simultanée (LASMIS)

Université de Technologie de Troyes

12 rue Marie Curie – BP 2060

10010 TROYES CEDEX

Tél : 03.25.71.58.28

Fax : 03.25.71.56.75

Mél : benoit.eynard@utt.fr

## 1 Diplômes et qualification

**Qualification aux fonctions de Maître de Conférences (CNU 60 et 61) ..... janvier 2000**

**Doctorat de l'Université Bordeaux 1 ..... 1999**

Spécialité : Productique

Date de soutenance : 30 juin 1999

Lieu de soutenance : Talence – Université Bordeaux 1

Titre : Modélisation du produit et des activités de conception - Contribution à la conduite et à la traçabilité du processus d'ingénierie

Composition du jury :

Président F. Joubert Professeur à l'IUFM d'Aquitaine

Rapporteurs A. Bernard Professeur à l'Université Henri Poincaré – Nancy 1

M. Tollenaere Professeur à l'INP de Grenoble

Examineurs G. Doumeingts Professeur à l'Université Bordeaux 1

A. Duffy Senior Lecturer à l'Université de Strathclyde – Glasgow (UK)

Ph. Girard Maître de Conférences à l'IUFM d'Aquitaine

C. Wattignier Ingénieur – AMRI/KBS

**DEA d'Automatique et Productique ..... 1994**

Université Bordeaux 1

Titre du mémoire : Définition d'un modèle de produit afin de gérer l'activité de conception mécanique dans un environnement d'ingénierie simultanée

**Maîtrise de Technologie Mécanique ..... 1993**

Université Bordeaux 1

**Licence de Technologie Mécanique ..... 1992**

Université Bordeaux 1

**DEUG A – Option Mécanique et Technologie ..... 1991**

Université Bordeaux 1

## **2 Activités d'enseignement**

**Enseignant Chercheur Contractuel ..... depuis sept. 1999**  
**Département GSM<sup>1</sup> - Université de Technologie de Troyes**

Lors de mon arrivée à l'UTT, je me suis rapidement investi dans le développement d'enseignements originaux où les matériels pédagogiques font encore terriblement défaut tels que la gestion du cycle de vie des produits, les systèmes avancés d'aide à la conception ou encore l'ingénierie simultanée. Toutefois j'ai aussi fort logiquement renforcé l'équipe pédagogique dans des secteurs plus classiques comme la conception de produits, la CAO ou le dimensionnement de systèmes mécanique. Soulignons enfin que j'ai aussi investi dans les nouvelles technologies de l'enseignement dans la cadre du réseau UT-INSA toujours en relation avec des problématiques de conception et fabrication mécanique.

### **2.1 Enseignements UTT**

De part mon statut, j'effectue annuellement une moyenne de 200 à 240 heures équivalent TD d'enseignement. Au cours de ces six dernières années, je suis intervenu dans la plupart des niveaux de formation dispensés à l'UTT (cycle préparatoire, formation de base et spécialisation d'ingénieur, Masters Recherche et Professionnel) et dans tous les types d'enseignement (cours magistraux, travaux dirigés ou pratiques).

Branche GSM <sup>2</sup> Filière IPM <sup>3</sup> devenue TIM <sup>4</sup> (bac+4/5)	9H CM	<u>LO15 - Gestion du cycle de vie des produits :</u>
	48H TD	- entreprise étendue, ingénierie collaborative, PLM
		- gestion des données techniques et administration des SGDT
		- spécification, implémentation et déploiement des SIT
	10H CM	<u>NF15 - Systèmes avancés d'aide à la conception :</u>
	30H TD	- modélisations avancées du produit, aide à l'innovation
	- intelligence artificielle et conception	
	- optimisation des systèmes mécaniques	
10H CM	<u>TN16 - Ingénierie simultanée et administration CFAO :</u>	
30H TD	- méthodes de conception et intégration XAO	
	- mise en œuvre et exploitation avancée des logiciels CFAO	
	- échange de données techniques	

<sup>1</sup> Génie des Systèmes Mécaniques

<sup>2</sup> Génie des Systèmes Mécaniques

<sup>3</sup> Informatique Pour la Mécanique

<sup>4</sup> Technologies de l'Information pour la Mécanique

Branche GSM (bac+3)	3H CM	TN14 - <u>Initiation à la CAO</u> : - modélisation volumique et surfacique - construction de pièces, d'assemblage et mise en plan - introduction à la gestion de données techniques
	34H TD	
	12H TP	TN20 - <u>Etude et dimensionnement de systèmes mécaniques</u> : - modélisation et théories des mécanismes - liaisons, assemblages, guidages et contacts entre pièces - dimensionnement en fatigue des composants
Tronc commun (bac+2)	51H TD	TN02 - <u>Conception et construction mécanique</u> : - analyse des éléments mécaniques de base - étude des fonctions : liaison, positionnement, guidage, ...

DEA CMIS <sup>5</sup> devenu Master SMM <sup>6</sup> (bac+5)	4H CM	<u>ME62 - Conception avancée des systèmes mécaniques et intégration des connaissances métier</u> : - méthodes de conception, modèles de produit - optimisation de systèmes mécaniques, intégration de connaissances métier - outils avancés d'aide à la conception
	4H CM	
	6H CM	<u>SM03 - Méthodologies de conception avancée</u> : - méthodes de conception, gestion de projet, conduite de l'ingénierie - ingénierie simultanée, conception intégrée, ingénierie collaborative
DESS CRC <sup>7</sup> devenu Master ICMC <sup>8</sup> (bac+5)	6H CM	<u>UV42 - Ingénierie simultanée et travail coopératif</u> : - méthodes de conception et ingénierie simultanée - outils d'aide à la conception (CAO, FAO, SGDT, PLM)
	6H CM	
		<u>CC32 - Ingénierie simultanée et conception collaborative</u> : - méthodes de conception et ingénierie collaborative - outils d'aide à la conception (CAO, FAO, SGDT, PLM)

### Responsabilité de Filière ..... depuis avril 2000

Responsable de la filière (18 derniers mois de spécialisation ingénieur) Informatique Pour la Mécanique devenue Technologies de l'Information pour la Mécanique du Département GSM.

### Responsabilité et création d'UV ..... depuis sept. 1999

- Création et responsabilité de l'UV LO15 (Systèmes de gestion du cycle de vie des produits) : élaboration du programme, développement des supports de cours, enseignement de l'UV ;
- Ouverture Responsabilité et de l'UV NF15 (Systèmes avancés d'aide à la conception) : élaboration du programme, développement des supports de cours, enseignement de l'UV ;
- Responsabilité de l'UV TN16 (Ingénierie Simultanée et administration CFAO) : élaboration du programme, développement des supports de cours, enseignement de l'UV.

<sup>5</sup> Conception Mécanique et Ingénierie Simultanée

<sup>6</sup> Systèmes Mécaniques et Matériaux

<sup>7</sup> Connaissances, Réseaux et Communautés

<sup>8</sup> Ingénierie des Connaissances et Management des Communautés

**Suivi de stages et projets de fin d'études (50) ..... depuis sept. 1999**

**Encadrement de projet pédagogique d'étudiants (30 binômes)..... depuis sept. 1999**

**Vacations ..... depuis sept. 2001**

J'assure des enseignements dans des établissements d'enseignement supérieur sur des sujets où j'ai développé une expertise clairement reconnue :

- UTBM : Ingénierie des Connaissances en Conception Mécanique - CP51 (4H CM) ;
- ESTIA : Gestion de Données Techniques - UEI3 (16H CM).

## 2.2 Enseignements pré-doctorat

**Attaché Temporaire d'Enseignement et de Recherche ..... 1998/1999**

**UFR de Physique - Université Bordeaux 1**

Maîtrise TM <sup>9</sup>	16H TD 90H TP	<u>MT5 - Conception Intégrée de Systèmes Mécaniques</u> : - méthodes de conception - modules avancés de CAO mécanique - travaux d'études et de recherche : projet de conception
Licence TM	31H TP	<u>LT5 - Technologie : Conception/Projet</u> : - travaux d'études : projet de conception - élaboration de cahier des charges et définition de mécanisme

**Moniteur de l'Enseignement Supérieur..... 1997/1998**

**UFR de Physique - Université Bordeaux 1**

Maîtrise TM	16H TD	<u>MT5 - Conception Intégrée de Systèmes Mécaniques</u> : - méthodes de conception - analyse de la valeur, conception à coût objectif
Licence TM	45H TP	<u>LT5 – Technologie : Conception/Projet</u> : - initiation à la CAO mécanique - modélisation de pièce et d'assemblage
IUP GM <sup>10</sup> 1e Année	24H TP	<u>UC Automatismes séquentiels</u> : - analyse et représentation de GRAFCET - programmation d'automates Télémécanique

**Moniteur de l'Enseignement Supérieur..... 1996/1997**

**UFR de Physique - Université Bordeaux 1**

IUP GEII <sup>11</sup> 3e Année	31H TP	<u>AT2 – Capteurs et actionneurs</u> : - études capteurs : thermique, de position, de déformation, - analyse d'actionneurs : moteurs CC, pas à pas, ...
---------------------------------	--------	---

<sup>9</sup> Technologie Mécanique

<sup>10</sup> Génie Mécanique

<sup>11</sup> Génie Electrique et Informatique Industrielle

Licence TM	45H TP	<u>LT5 – Technologie : Conception/Projet :</u> - initiation à la CAO mécanique, - modélisation de pièce et d'assemblage
IUP GM 1e Année	24H TP	<u>UC Automatismes séquentiels :</u> - analyse et représentation de GRAFCET - programmation d'automates Télémécanique

## 2.3 Développement des NTE

### **Campus Numérique Région : M2 – Ingénierie Collaborative ..... depuis sept. 2004**

Le projet Ingénierie Collaborative en Enseignement financé par la région Champagne-Ardenne pour une durée de 2 ans, s'inscrit dans une forte volonté de développement des nouvelles technologies d'enseignements et associe l'ENSAM de Châlons en Champagne, l'URCA et l'UTT. L'objectif du projet consiste à implémenter une plate-forme d'ingénierie collaborative adaptée à des projets pédagogiques de conception mécanique et à la formation en automatique.

### **MECAGORA : M8 – Ingénierie Simultanée..... sept. 2002 à sept. 2004**

Le projet Ingénierie Simultanée du Campus Numérique MECAGORA doit permettre aux étudiants d'appréhender les nouveaux modes d'organisations industrielles qui ont émergé avec les nouvelles méthodes de conception. Il associe l'UTT, l'UTBM, l'UTC, ainsi que les INSA de Lyon et Toulouse. L'objectif principal est de sensibiliser les apprenants aux problèmes organisationnels, techniques et humains issus de ce nouveau mode de travail qu'est l'ingénierie simultanée.

### **OPALYS..... sept. 2001 à sept. 2002**

Soutenu dans le cadre des programmes SYNERGIE UT-INSA sur les NTE, ce projet a favorisé un partage d'expériences pédagogiques des enseignants du réseau autour de la conception-fabrication de systèmes mécaniques. Un bilan des compétences mises en jeu en matière de conception, fabrication et calcul de structures a été réalisé pour s'insérer dans un support pédagogique fédérateur s'appuyant sur l'expertise de chacun des membres du projet.

### **3 Activités de recherche**

Après mon doctorat à l'Université Bordeaux 1, j'ai intégré, en tant qu'enseignant chercheur contractuel, le LASMIS - FRE CNRS 2719 de l'Université de Technologie de Troyes où je participe plus particulièrement à l'axe de recherche « Intégration pour la Conception ». Dans le paragraphe 3.1 je fais état de trois thématiques scientifiques que j'ai développées au cours de ces six dernières années. Le paragraphe 3.2 présente un récapitulatif des collaborations internationales et industrielles passées ou en cours. Le dernier paragraphe propose un bilan des publications et des communications réalisées à ce jour.

#### **3.1 Travaux en cours au LASMIS**

J'ai choisi de décliner mes activités au sein du LASMIS en trois sujets majeurs afin de structurer ma recherche autour d'un pilier fondateur (premier thème ci-dessus) et de deux orientations (les deux suivants) nouvelles permettant un positionnement scientifique original et personnel. Ces trois sujets s'inscrivent clairement dans l'axe de recherche « Intégration pour la Conception » :

- méthodes d'ingénierie ;
- gestion du cycle de vie des produits ;
- dynamique des connaissances industrielles.

##### **3.1.1 Méthodes d'ingénierie : guide de bonnes pratiques en conception mécanique**

Un grand nombre de méthodes de conception existe afin d'orienter et de structurer les activités d'ingénierie d'une équipe de projet. Cette importante diversité m'a semblé rendre difficile le choix précis sur comment et quand utiliser au mieux ces méthodes en regard d'un contexte donné. Soulignons que celles-ci exploitent des techniques et des outils supports spécifiques. Enfin, la définition et la mise en œuvre une approche d'ingénierie universelle et générique pouvant répondre à tous les besoins n'est pas réaliste. Dans cette logique, j'ai contribué à l'élaboration d'un état des lieux en matière de méthodes de conception afin de proposer un guide de bonnes pratiques permettant aux acteurs du projet de choisir les techniques et outils pertinents en regard des tâches à réaliser. Les principales publications et communications associées à ces travaux sont : [11, 22, 33, 37, 43, 49].

##### **3.1.2 Gestion du cycle de vie des produits : échange et gestion de données techniques dans un contexte d'ingénierie collaborative**

Dans le cadre des différents encadrements que j'ai conduits, les méthodes et les outils d'ingénierie simultanée et d'entreprise étendue ont été étudiés afin d'identifier le cadre conceptuel et les technologies clé nécessaires au développement d'applications logicielles. Avec ces travaux, j'ai contribué à la gestion des données techniques dans les activités métier (conception, calcul de structures, industrialisation, fabrication ou encore certification) avec le partage de données CAO, EF ou GDT, ainsi que dans le travail collaboratif. J'ai ainsi pu définir des méthodes et des outils pour une gestion efficace du cycle de vie des produits. Enfin, des procédures ont été développées pour une meilleure interopérabilité logicielle et multi-systèmes notamment entre CFAO et calcul sous le contrôle de SGDT.

Les principales publications associées à ces travaux sont : [1, 2, 3, 4, 5, 6, 92].

### **3.1.3 Dynamique des connaissances industrielles : traçabilité et capitalisation en ingénierie mécanique**

Dans une logique d'ingénierie concourante et de conception intégrée de nombreux travaux tendent à proposer une intégration des connaissances et des savoir-faire métier. L'objectif de ce thème de recherche est de poser les bases scientifiques visant à la définition de méthodes, modèles et outils supports de la traçabilité-capitalisation des connaissances liées au produit dans le domaine de l'ingénierie mécanique. Pour mettre en œuvre ce type d'aide, j'ai proposée une approche centrée sur la spécification de méthodes de saisie, de gestion, de restitution et réutilisation du patrimoine informationnel de conception dans le cadre d'une architecture informatique ad hoc. Les principales publications associées à ces travaux sont : [7, 9, 10, 12, 13, 14, 90].

### **3.1.4 Bilan scientifique et perspectives de recherche**

Ces travaux m'ont permis de réaliser des publications dans des revues et ouvrages collectifs [1] à [18], ainsi que de communications internationales [19] à [63] et nationales [64] à [88] au sein des communautés scientifiques telles que : ASME, CIRP, Design Society (à laquelle je suis affilié), IEEE, IFIP, IMACS, IPSE, AFM, AIP-PRIMECA, GDR-MACS (où je contribue à l'animation du GT IS3C). Soulignons, pour finir, j'ai assuré la coordination de revues internationales et nationales ainsi que d'ouvrages [89] à [93].

En terme de perspectives, la poursuite de ces recherches passe par le développement de nouveaux outils et méthodes d'assistance en ingénierie des produits et plus spécifiquement en conception mécanique. A partir des besoins déjà identifiés, qui ne prétendent pas être exhaustifs, j'ai pour objectif d'améliorer l'efficacité des processus d'ingénierie grâce à la réutilisation d'historiques de conception et à l'intégration de connaissances et savoir-faire métiers.

Cette approche nécessite la définition et la mise en place d'un environnement ad hoc qui prendra en compte les solutions de gestion du cycle de vie des produits et la dynamique des connaissances industrielles. Dans cet environnement, les acteurs de la conception pourront archiver, capitaliser, rechercher et réutiliser les informations pertinentes pour leur projet d'ingénierie. Cette proposition s'articulera en deux parties, l'une portant sur l'environnement nécessaire à un support efficace de l'information, l'autre s'intéressant à la méthode pour assister au mieux les concepteurs dans leur travail. Derniers thèmes, plus prospectifs, sont ceux de l'intégration des problématiques de sûreté de fonctionnement et de maintenance dans la conception des produits ainsi que de la qualité et de la sécurité des informations techniques toujours pour une meilleure fiabilité et une performance accrue des activités d'ingénierie.

### 3.1.5 Développement de la recherche et production scientifique

Le tableau suivant récapitule ma production scientifique détaillée paragraphe 3.4 et traduit l'évolution quantitative et qualitative de mes recherches depuis mon doctorat jusqu'au terme de ces six années d'enseignant chercheur.

Bilan statistique de la recherche	Pré-doctorat	Post-doctorat
Revue internationale à comité de lecture		7
Revue nationale à comité de lecture		5
Chapitres d'ouvrage	3	3
Conférences internationales à comité de lecture	5	39
Coordination de revues et d'ouvrages		5

## 3.2 Encadrement de la recherche

Durant ces années à l'UTT, j'ai eu l'opportunité d'engager des projets scientifiques dans le cadre d'encadrement de DEA, DRT et de doctorats dont deux à 100% sur dérogation de conseil scientifique de l'établissement qui aboutiront sous peu à une soutenance.

### 3.2.1 Encadrement doctoral

- G. Ducellier, à soutenir fin 2007, taux d'encadrement 50%, co-direction avec le Prof. E. Caillaud (Univ. Louis Pasteur – Strasbourg 1) :  
Titre : *Gestion des connaissances des projets d'ingénierie : contribution à la conception collaborative en génie mécanique*
- PJ Li, à soutenir fin 2006, taux d'encadrement 30%, co-direction avec le Prof. X.S. Qin (Northwestern Polytechnical Univ., Xi'an, Chine) :  
Titre : *Remote Fault Diagnosis of Electromechanical Equipment*
- S. Charles, à soutenir le 13 décembre 2005, taux d'encadrement 100% (sur dérogation du conseil scientifique de l'Université de Technologie de Troyes) :  
Titre : *Gestion intégrée des données CAO et EF – contribution à la liaison entre conception mécanique et calcul de structures*  
Jury : A. Bernard (Ecole Centrale de Nantes – Rapporteur), J. Bonini (Snecma), (A. Bouras (Université Lumière Lyon 2 – Rapporteur), D. Coutellier (ENSIAME), B. Eynard (directeur), P. Lafon (Univ. de Technologie de Troyes), F. Pourroy (Université Joseph Fourier Grenoble 1).
- P. Nowak, à soutenir fin 2005, taux d'encadrement 100% (sur dérogation du conseil scientifique de l'Université de Technologie de Troyes) :  
Titre : *Modélisation intégrée des alternatives de conception – contribution à la traçabilité et réutilisation des connaissances en projets d'ingénierie mécanique.*

### 3.2.2 Encadrement de DRT

- Th. Gallet, soutenu le 24 novembre 2003, spécialité Ingénierie des Systèmes de l'Université de Technologie de Troyes, taux d'encadrement 80%, co-direction avec le Prof J.L. Chaboche  
Titre : *Méthode de déploiement d'un SGDT en ingénierie mécanique et aéronautique*  
Jury : M. Bigand (Ecole Centrale de Lille – Rapporteur), F. Bonnafous-Boucher (Dassault Data Service), E. Caillaud (Université Louis Pasteur – Rapporteur), J.L. Chaboche (co-directeur), J.C. Cordier (Snecma Moteurs), D. Coutellier (ENSIAME – Président du jury), B. Eynard (co-directeur), F. Lafon (Snecma Moteurs), X. Rakotomamonjy (EADS/CCR).

Th. Gallet travaille désormais pour Snecma Moteurs en tant qu'ingénieur PLM.

- B. Carratt, soutenu le 4 octobre 2002, spécialité Ingénierie des Systèmes de l'Université de Technologie de Troyes, taux d'encadrement 80%, co-direction avec le Prof. J. Lu  
Titre : *Ingénierie collaborative et gestion de données techniques en certification aéronautique*  
Jury : Y. Baudier (EADS/CCR), B. Eynard (co-directeur), J.B. Fonbonne (Snecma Moteurs), J. Lu (co-directeur), O. Marchand (PSA – Peugeot Citroën), R. Moore (University of Warwick), J.F. Petiot (Ecole Centrale de Nantes – Rapporteur), G. Ris (Université Henri Poincaré Nancy 1 – Président du jury), M. Tollenaere (INP de Grenoble – Rapporteur).

B. Carratt travaille désormais pour Snecma Moteurs en tant qu'ingénieur responsable du projet entreprise étendue.

### 3.2.3 Encadrement de DEA

- G. Ducellier, septembre 2004, spécialité Conception Mécanique et Ingénierie Simultanée de l'Université de Technologie de Troyes, *Etude et développement d'un workflow non déterministe intégrant le cycle de vie des données CAO* ; il prépare actuellement un doctorat (allocation du conseil général) sous ma direction au LASMIS ;
- L. Girouard, septembre 2004, spécialité Conception Mécanique et Ingénierie Simultanée de l'Université de Technologie de Troyes, *Etude et mise en oeuvre d'un outil de modélisation du produit intégré au prototype IPPOP* ; elle travaille désormais en tant qu'ingénieur PLM chez Airbus ;
- L. Li, septembre 2004, spécialité Conception Mécanique et Ingénierie Simultanée de l'Université de Technologie de Troyes, *Spécification de procédures pour l'échange de données techniques CAO et GDT* ; elle prépare actuellement un doctorat à l'Université de Shanghai ;
- A. Odinet, septembre 2003, spécialité Conception Mécanique et Ingénierie Simultanée de l'Université de Technologie de Troyes, *Contribution à un environnement Web d'ingénierie collaborative et de visualisation de données CAO et calcul* ; il travaille désormais en tant qu'ingénieur pour une SSII au Canada ;
- R. Postansque, septembre 2003, spécialité Conception Mécanique et Ingénierie Simultanée de l'Université de Technologie de Troyes, *Co-operative and competitive design agents in CAD/CAM platforms* ; il travaille désormais en tant qu'administrateur CAO/GDT pour une filiale d'Hutchinson ;
- B. Wang, septembre 2003, spécialité Conception Mécanique et Ingénierie Simultanée de l'Université de Technologie de Troyes, *Etude d'une mémoire métier pour capitaliser les procédés de traitement de surface en génie de précontrainte* ; il prépare actuellement un doctorat (allocation du conseil régional) sous la direction de Ph. Belloy au LASMIS,

- S. Charles, septembre 2002, spécialité Conception Mécanique et Ingénierie Simultanée de l'Université de Technologie de Troyes, *Apport de l'échange de données techniques dans la gestion des codes de calcul* ; il prépare actuellement un doctorat (allocation ministérielle) sous ma direction au LASMIS ;
- M. Gouel, septembre 2001, spécialité Conception Mécanique et Ingénierie Simultanée de l'Université de Technologie de Troyes, *Echange de données techniques dans un contexte de conception coopérative et d'entreprise étendue* ; elle travaille désormais en tant qu'ingénieur pour Airbus-CIMPA ;
- P. Nowak, septembre 2001, spécialité Conception Mécanique et Ingénierie Simultanée de l'Université de Technologie de Troyes, *Etude de la conception d'un système à retour de force innovant et haute fidélité pour un simulateur médical à base de réalité virtuelle* ; il prépare actuellement un doctorat (sur financement industriel) sous ma direction au LASMIS ;
- P. Dupouy, septembre 1998, spécialité Automatique et Productique de l'Université Bordeaux 1, *Evaluation technico-économique de la performance en conception des produits* ; il travaille désormais pour une SSII ;
- P. Boutin, septembre 1997, spécialité Automatique et Productique de l'Université Bordeaux 1, *Modélisation et traçabilité des choix et décisions dans le processus de conception des produits* ; Après la préparation et l'obtention d'un doctorat au Laboratoire SIC à l'Ecole de Mines de St Etienne, il travaille en tant que consultant ERP.

### 3.2.4 Bilan des encadrements de la recherche

96/97	97/98	00/01	01/02	02/03	03/04	04/05
DEA P. Boutin						
	DEA P. Dupouy					
		DRT (Snecma Moteurs) B. Carratt				
		DEA M. Gouel				
		DEA P. Nowak	Doctorat (Projet RNTL) P. Nowak			
			DRT (Snecma Moteurs) Th. Gallet			
			DEA S. Charles	Doctorat (Ministère) S. Charles – soutenance le 13 déc. 2005		
				DEA A. Odinot		
				DEA R. Postansque		
				DEA BQ Wang		
					Doctorat (Projet Asia-Link) PJ Li	

					DEA G. Ducellier	Doctorat G. Ducellier
					DEA L. Girouard	
					DEA L. Li	

### 3.3 Projets de recherche et collaborations industrielles

Dans le cadre des programmes scientifiques et actions de transfert de technologies que j'ai mené j'ai pu coordonner les projets et relayer l'action du chef de file au sein de l'UTT. Ce goût de la gestion et des relations industrielles m'a conduit tout dernièrement à m'investir dans le projet de pôle de compétitivité sur les technologies de la sécurité porté par l'établissement.

#### 3.3.1 Projets internationaux

##### **VRL-KCiP<sup>12</sup> ..... depuis juin 2004**

Je contribue au Réseau d'EXcellence, le projet VRL-KCiP (*Virtual Research Laboratory – Knowledge Community in Production*) financé dans le cadre du 6<sup>e</sup> PCRD et qui associe 24 équipes de recherche de 15 pays différents pour créer un organisme de recherche étendue de dimension européenne sur la conception et la production. Les principaux objectifs sont : le développement de nouveaux outils et d'environnements pour l'ingénierie collaborative et la fabrication, la définition de modèles de produit supports de la gestion des connaissances dans les processus de conception et de production.

##### **ASIA Link - PAEDEIA<sup>13</sup> ..... oct. 2002 à déc. 2005**

Je participe en tant que coordonnateur local au projet PAEDEIA (*Promoting and Assisting Engineering Design Education in China*) qui associe l'UTT aux partenaires suivants University of Strathclyde (UK), Denmark Technical University, Northwestern Polytechnical University de Xian (Chine) dans le cadre du programme européen ASIA Link. Il vise à favoriser les échanges universitaires Europe-Asie et la formation dans le domaine de la conception et la fabrication de produits.

##### **ODD et DODD ..... sept. 1999 à nov. 2003**

Les projets ODD et DODD (*Dissemination of Open Dynamic Design*) financés dans le cadre du programme européen *Leonardo de Vinci* ont eu pour objectif d'étudier les pratiques industrielles et académiques en matière d'ingénierie des produits. J'ai participé à la proposition de nouveaux outils et méthodes de conception et de formation à ces activités. J'ai aussi fait office de coordonnateur UTT pour ces projets. Ces derniers ont réuni des universitaires et industriels d'Allemagne, de Finlande, de France, de Grande Bretagne, d'Irlande et des Pays-Bas.

##### **ENHANCE<sup>14</sup> ..... sept. 2000 à juin 2002**

Le projet européen ENHANCE (*ENHance AeroNautical Concurrent Engineering*) d'une durée de 3 ans a été financé dans le cadre du 5<sup>e</sup> PCRD. Ce projet signifiant "Ingénierie Concurrente en Aéronautique" associait les industriels de l'aéronautique comme Airbus, Alenia, Dassault Aviation,

<sup>12</sup> <http://www.vrl-kcip.org>

<sup>13</sup> <http://www.dmem.strath.ac.uk/asialinkpaedeia>

<sup>14</sup> <http://www.enhanceproject.com>

Messier Dowty, Rolls Royce, Sextant, Snecma Moteurs, des centres de recherche et des PMI. Il avait pour objectifs : d'instaurer les conditions d'une coopération nouvelle et d'envergure entre les acteurs du secteur aéronautique européen, sur méthodes, organisations et moyens, ainsi que d'établir les méthodes de travail et standards communs qui gouverneront ce secteur d'activité. J'ai assuré une sous-traitance scientifique ainsi que de nombreuses missions de développement technologique de dans le cadre d'ENHANCE pour le compte de Snecma Moteurs.

**CEEMM..... oct. 1998 à oct. 1999**

J'ai participé au projet Sino-Européen *Concurrent Engineering and Enterprise Modelling Methodology* (CEEMM). Le but de ce projet est de proposer et développer une méthodologie pour la conduite des processus d'ingénierie et de production dans l'industrie aéronautique chinoise et européenne. Les partenaires européens du projet étaient l'Université de Karlsruhe et la société Siemens. Les partenaires chinois étaient Beijing University of Aeronautic and Astronautic, Tsinghua University, et la société AViation Industries of China.

**IIMB/DC..... oct. 1997 à sept. 1999**

Dans le cadre du Groupe de Travail ESPRIT *Integration in Manufacturing and Beyond* (IiMB), j'ai collaboré au développement des travaux menés par le sous-groupe Design Coordination (DC). L'objectif était de proposer une amélioration de la conception par la structuration et coordination des activités afin d'atteindre des performances optimales. Le sous-groupe était composé essentiellement d'universitaires venant du Danemark, de Finlande, de France, de Grande Bretagne, d'Irlande et des Pays-Bas.

### 3.3.2 Projets nationaux et régionaux

**IPPOP<sup>15</sup>..... déc. 2001 à juin 2005**

Dans le cadre du Réseau National de Technologies Logicielles, le projet Intégration Produit-Processus-Organisation pour l'amélioration de Performances en ingénierie (IPPOP) associe l'UTT à l'Université Bordeaux 1, l'Université Henri Poincaré Nancy 1 et l'INP de Grenoble ainsi qu'à des partenaires industriels ou de transferts de technologie : les sociétés Opencascade, EADS-CCR, Alstom Moteurs et les associations GOSET et ESTIA Innovation. Le projet IPPOP s'inscrit dans une démarche d'intégration des dimensions Produit, Processus et Organisation d'une part, et d'extension des logiciels de CFAO et GDT existants en prenant en compte les aspects technologiques liés à la conception d'autre part.

J'ai assuré la coordination UTT et la gestion financière local du projet. Scientifique j'ai principalement participé à la définition du modèle de processus, secondairement à la validation des modèles de produit et d'organisation et enfin au suivi l'implémentation du démonstrateur IPPOP.

**I3C..... juin 2001 à juin 2005**

L'opération Intégration des Connaissances en Conception Coopérative (I3C) a été financée dans le cadre du Pôle TOA. J'ai piloté cette opération pour fournir les moyens technologiques et logiciels nécessaires à deux actions de recherche associant l'UTT d'une part à l'URCA/IFTS et d'autre part à l'UTC respectivement sur la conception de produits pour la fabrication rapide et sur l'utilisation des calculs en avant-projet.

<sup>15</sup> <http://ippop.laps.u-bordeaux1.fr>

### 3.3.3 Collaborations industrielles

**ESTIA Innovation..... mars 2004 à nov. 2004**

Ce projet a porté sur une contribution aux méthodes de déploiement des SGDT et l'intégration de la gestion du cycle de vie des produits dans les activités d'ingénierie mécanique. Il était fortement axé vers les PME d'Aquitaine afin de favoriser la promotion des technologies PLM.

**EADS-CCR ..... oct. 2003 à mars 2004**

Le projet s'est intéressé à la nouvelle version de la norme STEP intégrant le paramétrage et l'historique de construction d'un modèle CAO et sur le développement d'un démonstrateur permettant la conversion de données entre le format STEP étudié et Catia V5 pour simplifier l'échange de données techniques dans le secteur aéronautique.

**Snecma Moteurs..... sept. 2002 à sept. 2003**

Ce projet s'est déroulé dans le cadre de l'accompagnement d'un DRT (Thomas Gallet) sur la définition d'une méthode de déploiement de chaînes conception-industrialisation de turbopropulseurs et l'implémentation d'un projet pilote au sein d'un environnement XAO intégrant GDT, CAO, IAO.

**Snecma Moteurs..... sept. 2000 à sept. 2002**

Dans le cadre d'une sous-traitance de recherche au sein du projet européen ENHANCE, j'ai encadré le travail d'un DRT (Bruno Carratt) et de deux stages de DEA (Marianne Gouel et Sébastien Charles) sur l'ingénierie collaborative et la gestion de données techniques en conception, calcul et certification aéronautique. J'ai aussi assuré directement des activités de conseils sur les thèmes ci-dessus qui étaient au cœur de ce projet de transfert de technologies.

**AMRI-KSB ..... juillet 1998 à jan. 1999**

Durant cette étude une analyse de la gestion d'un projet de conception a été effectuée. Le projet visait au développement d'une gamme d'actionneurs multi-énergie. A l'issue de ce travail des préconisations en terme de d'organisation et de méthode de conception ont été faites

**LAFON ..... fév. 1998 à oct. 1998**

Ce projet a porté sur l'application de méthode GIM dans le cadre de l'amélioration de l'échange d'information entre bureau d'études et production pour le développement de produits dédiés au marché pétrolier.

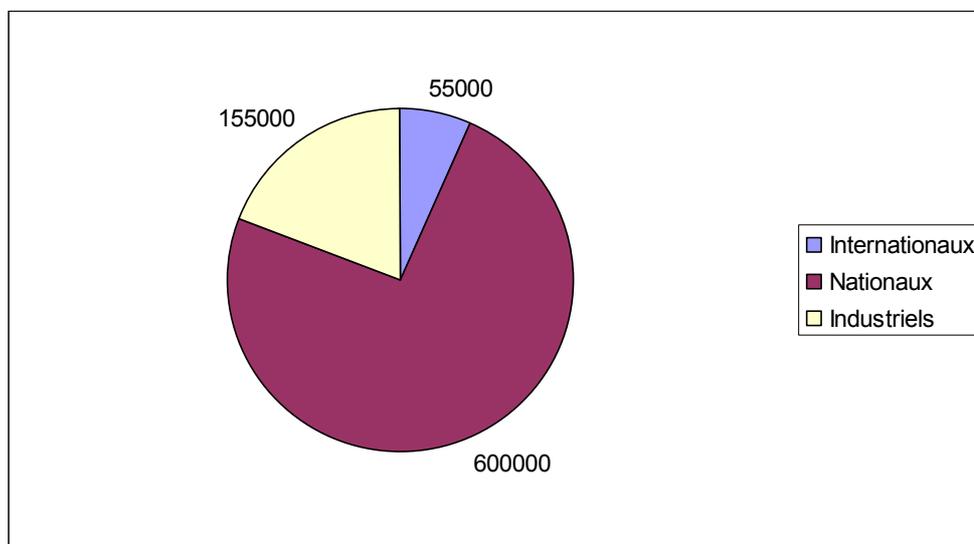
### 3.3.4 Bilan et perspectives

Le graphique ci-dessous synthétise les montants des différents projets dont j'ai gérés ou gère les activités depuis mon arrivée à l'UTT il y a six ans. Les budgets sont conséquents et représentent une somme totale de 810 000 euros HT sachant qu'ils se répartissent au plan international (ASIA Link, DODD, ODD et ENHANCE), au niveau national (IPPOP et I3C) et terme industriel (EADS-CCR, ESTIA Innovation, Snecma Moteurs). Soulignons qu'une importante activité d'animation et de coordination m'a été nécessaire pour allouer les moyens et les hommes afin de répondre le plus efficacement aux obligations et engagements scientifiques pris dans le cadre de ces différents projets.

En terme de projets de recherche internationaux, un nouveau projet ASIA Link a été accepté par la commission européenne. Ce projet élargie le consortium du précédant projet (2002-2005) à l'université de Malte au niveau européen et à une seconde université chinoise, une université pakistanaise et du Bangladesh côté Asie.

Au niveau national, un nouveau projet RNTL a été déposé dans la suite d'IPPOP avec un consortium élargie pour proposer un espace collaboratif pour l'ingénierie virtuelle dans le cadre de

l'appel d'offre 2005 de l'Agence Nationale de Recherche. Au plan régional et sein du Pôle TOA, un nouveau projet débutera dans les mois à venir en associant l'UTT, l'ENSAM, l'URCA sur le thème d'une place de projet collaboratif. Enfin, la suite qui sera donnée au Pôle TOA est en cours de réflexion afin de définir de nouveaux axes de développements scientifiques avec par exemple les systèmes automatisés et mécatroniques, la sûreté de fonctionnement et la maintenance, les systèmes d'aide à la décision.



En regard des collaborations industrielles, celles existantes avec l'aéronautique (Snecma, EADS-CCR, Hispano-Suiza) sont à toujours d'actualité et le développement de partenariats avec l'automobile est à envisager (PSA, Faurecia, Sanden).

Pour finir ma mission de coordination et d'animation sur le projet de Pôle de compétitivité « Technologies de la Sécurité » va très certainement conduire à une intensification des relations industrielles sur les thèmes de la sûreté, la fiabilité et la durabilité des systèmes et des produits

### 3.4 Publications / communications personnelles

#### 3.4.1 Articles de revues scientifiques à comité de lectures

##### Internationaux (7)

- [1] Eynard B., Gallet T., Roucoules L., Ducellier G., PDM System Implementation based on UML, *Mathematics and Computers in Simulation*, vol. 70, n° 5-6, pp. 247-442, 2006.
- [2] Song H., Eynard B., Lafon P., Roucoules L., Towards Integration of CAx Systems and a Multiple-View Product Modeller in Mechanical Design, *Acta Polytechnica*, vol. 45, n° 3, pp. 26-31, 2005.
- [3] Merlo C., Eynard B., Girard Ph., Odinet A., Gallet T., Compared Implementations of PDM Systems based on UML Specifications, *International Journal of Product Lifecycle Management*, vol. 1, n° 1, pp. 52-69, 2005.
- [4] Eynard B., Liénard S., Charles S., Odinet A., Web based Collaborative Engineering Support System: Applications in Mechanical Design and Structural Analysis, *Concurrent Engineering: Research & Applications*, vol. 13, n° 2, pp. 145-153, 2005.
- [5] Charles S., Eynard B., Bartholomew P., Paleczny C., Standardisation of the Finite Element Analysis Data Exchanges in Aeronautics Concurrent Engineering, *Journal of Computing and Information Science in Engineering*, vol. 5, n° 1, pp. 63-66, 2005.
- [6] Eynard B., Gallet T., Nowak P., Roucoules L., UML based Specifications of PDM Product Structure and Workflow, *Computers in Industry*, vol. 55, n° 3, pp. 301-316, 2004.
- [7] Roucoules L., Skander A., Eynard B., XML-based Knowledge Management for DFM, *International Journal of Agile Manufacturing*, vol. 7, n° 1, pp. 71-79, 2004.

##### Nationaux (5)

- [8] Wang B., Eynard B., Roucoules L., Belloy Ph., Gestion des connaissances en génie de précontrainte : élaboration d'une mémoire métier dédiée aux procédés de traitement de surface, *Revue Française de Gestion Industrielle*, vol. 24, n° 1, pp. 81-92, 2005.
- [9] Nowak P., Postansque R., Lafon P., Eynard B., Implémentation de KBE : Etude de cas en conception mécanique, *Document Numérique*, vol. 8, n° 1, pp. 107-121, 2004.
- [10] Charles S., Eynard B., Ducellier G., Li L., Rakotomamonjy X., Standardisation des échanges de modèles géométriques 3D paramétrés non figés, *Revue Internationale de CFAO et d'Informatique Graphique*, vol. 18, n° 4, pp. 389-407, 2003.
- [11] Charles S., Gerson Ph., Eynard B., Ramond B., Green G., Open Dynamic Design: A European Educational Framework, *Revue internationale de CFAO et d'informatique graphique*, vol. 18, n° 3, pp. 367-379, 2003.
- [12] Eynard B., Lemerrier M., Matta N., Construction d'une mémoire de projet en ingénierie mécanique utilisant les technologies Web, *Document Numérique*, vol. 5, n° 3-4, pp. 155-171, 2001.

#### 3.4.2 Chapitres d'ouvrage (6)

- [13] Nowak P., Postansque R., Eynard B., Sellini F., Applications de système multi-agents coopératifs en conception assistée par ordinateur, *Gestion dynamique des connaissances industrielles*, Traité IC2 – série Informatique et systèmes d'information, Hermès Science Publications, Paris, pp. 295-313, ISBN 2-7462-0952-7, 2004.
- [14] Girard P., Eynard B., Integration of product – process – organisation for advanced engineering design, *Perspectives from Europe and Asia on Engineering Design and Manufacture*, Edited by X.T. Yan, C.Y. Jiang, N.P. Juster, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, pp. 587-598, ISBN 1-4020-2211-5, 2004.

- 
- [15] Eynard B., Gomes S., Collaborative and remote design of mechatronic products: Case studies based on student projects, *Perspectives from Europe and Asia on Engineering Design and Manufacture*, Edited by X.T. Yan, C.Y. Jiang, N.P. Juster, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, pp. 261-270, ISBN 1-4020-2211-5, 2004.
- [16] Eynard B., Girard Ph., Doumeingts G., Control of engineering process through integration design activities and product knowledge, *Integration of Process Knowledge into Design Support Systems*, Edited by H. Kals, F. Van Houten, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, pp. 351-360, ISBN 0-7923-5655-1, 1999.
- [17] Girard Ph., Eynard B., Doumeingts G., Proposal to control the systems design process : application to manufactured products, *Integrated Design and Manufacturing in Mechanical Engineering '98*, Edited by J.L. Batoz, P. Chedmail, G. Cognet, C. Fortin, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, pp. 537-544, ISBN 0-7923-6024-9, 1999.
- [18] Doumeingts G., Girard Ph., Eynard B., GIM/GRAI Integrated Methodology for product development, *Design for X - Concurrent Engineering imperatives*, Edited by G.Q. Huang, Chapman & Hall, London, pp. 153-172, ISBN 0-402-78750-4, 1996.

### 3.4.3 Conférences internationales avec comité de lecture et actes (44)

- [19] Ducellier G., Eynard B., Caillaud E., Spécification de principes et règles de conception pour la standardisation en ingénierie collaborative, *4ème Conférence Internationale sur la Conception et Production Intégrées - CPI 2005*, Casablanca, Maroc, 9-11 novembre 2005.
- [20] Wang B., Belloy Ph., Song H., Eynard B., Methods and tools for the formalization and integration of design and manufacturing knowledge - Application for the shot peening process, *12th International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management - IE&EM 2005*, Chongqing, China, November 6-9, 2005.
- [21] Eynard B., Roucoules L., PLM Education in Europe and China, *International Seminar on China-Europe Engineering Education - CEEE 2005*, Chongqing, China, November 6-8, 2005.<sup>16</sup>
- [22] Yan X.T., Tan X., Eynard B., Jiang C., Hein L., Qin X.S., Tang H., Fan Z., Zhao C., Cooperation: Promoting Engineering Education in China - A dissemination of the project results in the European Union's Asia-Link Programme, *International Seminar on China-Europe Engineering Education - CEEE 2005*, Chongqing, China, November 6-8, 2005.
- [23] Charles S., Eynard B., Specification of Simulation Data Management Environment Integrated with PDM, *International Conference on Engineering Design – ICED'05*, Melbourne, Australia, August 15-18, 2005.
- [24] Nowak P., Eynard B., Managing Design Alternatives: From the Alternatives Model Towards an Aided Design System, *International Conference on Engineering Design – ICED'05*, Melbourne, Australia, August 15-18, 2005.
- [25] Eynard B., Merlo C., Pol G., Towards PLM Implementation Method in SME, *International Conference on Engineering Design – ICED'05*, Melbourne, Australia, August 15-18, 2005.
- [26] Li P.J., Qin X.S., Eynard B., Adjallah K.H., Fault Detection and Diagnosis Methodology based on Configuration Simulation Model, *17th IMACS World Congress*, Paris, France, July 11-15, 2005.
- [27] Charles S., Eynard B., Integration of CAD and FEA Data in a PDM Environment: Specification of a STEP Simulation Data Management Schema, *17th IMACS World Congress*, Paris, France, July 11-15, 2005.
- [28] Gomes S., Serrafiero P., Monticolo D., Eynard B., Extracting Engineering Knowledge from PLM systems: an experimental approach, *International Conference on Product Lifecycle Management – PLM'05*, Lyon, France, July 11-13, 2005.
- [29] Charles S., Ducellier G., Li L., Eynard B., Improvement of 3D Data Exchanges in the Product Lifecycle Management, *International Conference on Product Lifecycle Management – PLM'05*, Lyon, France, July 11-13, 2005.

---

<sup>16</sup> Keynote paper of the CEEE 2005 Seminar

- 
- [30] Li P.J., Qin X.S., Adjallah K.H., Eynard B., Diagnosis Task Decomposition for Complex Equipment Remote Monitoring, *6ème Congrès international de génie industriel – GI'2005*, Besançon, France, 7-10 juin 2005.
- [31] Callot M., Saint-Marc L., Nowak P., Eynard B., Enforce Engineering Collaboration, *eChallenges Conference - e2004*, Vienna, Austria, October 27-29, 2004.
- [32] Song H., Eynard B., Roucoules L., Lafon P., Integration framework for a CAx system and multiple-views product modeller in mechanical design, *4th International Conference on Advanced Engineering Design - AED 2004*, Glasgow, Scotland, UK, September 5-8, 2004.
- [33] Remond D., Toumine A., Eynard B., Troussier N., Daidié A., Devaujany J.P., Gomes S., Roucoules L., Web education portal for the teaching of mechanical design and manufacturing, *Europe Asia Symposium on Advanced Engineering Design and Manufacture - EASED 2004*, Xi'an, China, April 19-21, 2004.
- [34] Nowak P., Eynard B., Roucoules L., Design alternatives management based on product and process modelling, *5th International Symposium on Tools and Methods of Competitive Engineering - TMCE 2004*, Lausanne, Switzerland, April 13-17, 2004.
- [35] Nowak P., Rose B., Saint-Marc L., Callot M., Eynard B., Gzara-Yesilbas L., Lombard M., Towards a design process model enabling the integration of product, process and organisation, *5th International Conference on Integrated Design and Manufacturing in Mechanical Engineering – IDMME'04*, Bath, UK, April 5-7, 2004.
- [36] Eynard B., Lombard M., Matta N., Renaud J., Cartographie des recherches en gestion des connaissances industrielles au sein du Groupe DIXIT, *5ème Congrès International de Génie Industriel – GI'03*, Québec, Canada, 26-29 octobre 2003.
- [37] Gerson P., Charles S., Eynard B., Ramond B., Green G., Open dynamic design: The developments in the industrial world of mechanical engineering based products and some answers from educational institutions, *3ème Colloque International sur la Conception et Production Intégrées - CPI 2003*, Meknès, Maroc, 22-24 octobre 2003.
- [38] Eynard B., Ramond B., Green G., Gerson P., First impressions of the relationships between ICED03 and the ODD-project, *International Engineering and Product Design Education Conference - IEPDE 2003*, Dorset, UK, September 10-11, 2003.
- [39] Nowak P., Eynard B., Roucoules L., A design alternatives assessment and management approach, *ASME 2003 Design Engineering Technical Conferences - DETC'03*, Chicago, USA, September 2-6, 2003.
- [40] Nowak P., Merlo C., Eynard B., Gallet T., From design process specification towards PDM workflow configuration, *13th International Conference on Engineering Design – ICED'03*, Stockholm, Sweden, August 19-21, 2003.
- [41] Gallet T., Eynard B., Moreau D., Use of object oriented approach in product structure and workflow specifications in PDM system, *Multi-Conferences Computational Engineering in Systems Applications - CESA 2003*, Lille, France, July 9-11, 2003.
- [42] Eynard B., Charles C., Paleczny C., Gallet T., Echange et gestion de données techniques en ingénierie mécanique chez un motoriste avion, *22ème Conférence Internationale sur la CFAO, le PLM et les Nouvelles Technologies de Conception et de Fabrication - MICAD 2003*, Paris, France, 1-3 avril 2003.
- [43] Troussier N., Daidié A., DeVaujany J.P., Eynard B., Gomes S., Rémond D., Roucoules L., Toumine A., Exemple d'application des TIC pour un projet de création de support pédagogique, *Colloque International des Technologies de l'Information et de la Communication dans les Enseignements d'ingénieurs et dans l'industrie – TICE 2002*, Lyon, France, 13-15 novembre 2002.
- [44] Nowak P., Roucoules L., Eynard B., Product Meta-Modelling: an approach for linking product models, *IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics - SMC 2002*, Hammamet, Tunisia, October 6-9, 2002.
- [45] Roucoules L., Skander A., Eynard B., Knowledge management and XML-based application for manufacturing integration in design, *9th IPSE International Conference on Concurrent Engineering - CE 2002*, Cranfield, UK, July 27-31, 2002.
-

- [46] Eynard B., Roucoules L., Yan X.T., Knowledge integration approach for product modelling using an opensource CAD system, *5th Knowledge Intensive CAD IFIP5.2 Workshop – KIC'5*, St Julian, Malta, July 23-25, 2002.
- [47] Matta N., Eynard B., Roucoules L., Lemercier M., Continuous capitalisation of design knowledge, *European Conference on Artificial Intelligent - ECAI 2002*, Lyon, France, July 22-23, 2002.
- [48] Eynard B., Merlo C., Carratt B., Aeronautics Product Development and Certification Workflow based on Process Modelling, *8th International Conference on Concurrent Enterprising - ICE 2002*, Roma, Italy, June 17-19, 2002.
- [49] Roucoules L., Eynard B., Geoffroy Ch., Rosielle N., ETEX: a collaborative and inter-cultural design experiment, *4th International Conference on Integrated Design and Manufacturing in Mechanical Engineering - IDMME'02*, Clermont Ferrand, France, May 14-16, 2002.
- [50] Eynard B., Ramond B., Gerson Ph., Green G., Comparatif des pratiques industrielles en ingénierie de produits mécaniques, *2ème Colloque International sur la Conception et Production Intégrées - CPI 2001*, Fès, Maroc, 24-26 octobre 2001.
- [51] Carratt B., Eynard B., Calm J.F., Concurrent aviation certification, *European Safety & Reliability International Conference - ESREL'2001*, Torino, Italy, September 16-20, 2001.
- [52] Eynard B., Lafon P., Towards a mechanical systems modelling and optimal embodiment method, *13th International Conference on Engineering Design - ICED'01*, Glasgow, Scotland, UK, August 21-23, 2001.
- [53] Gomes S., Eynard B., Magnon L., A multi-site experience using a computer supported collaborative work tool, *13th International Conference on Engineering Design - ICED'01*, Glasgow, Scotland, UK, August 21-23, 2001.
- [54] Roucoules L., Eynard B., Background and specifications for a computer co-operative design environment for concurrent engineering, *8th IPSE International Conference on Concurrent Engineering - CE 2001*, Anaheim, USA, July 28 - August 1, 2001.
- [55] Carratt B., Alaux T., Eynard B., Applications d'un système de gestion de données techniques chez un motoriste avion, *20ème Conférence Internationale sur la CFAO, la Simulation et les Nouvelles Technologies de Conception et de Fabrication - MICAD 2001*, Paris, France, 6-8 mars 2001.
- [56] Eynard B., Belloy Ph., Lafon P., Towards an Integration of Knowledge in Mechanical Engineering, *3rd International Conference on Integrated Design and Manufacturing in Mechanical Engineering - IDMME'00*, Montréal, Québec, Canada, May 16-19, 2000.
- [57] Eynard B., Girard Ph., Le modèle de produit : outil didactique en conception mécanique, *3rd International Conference on Integrated Design and Manufacturing in Mechanical Engineering - IDMME'00*, Montréal, Québec, Canada, May 16-19, 2000.
- [58] Girard Ph., Eynard B., Rimmer D., Hein L., Re-engineering of design processes in a Design Coordination environment, *12th International Conference on Engineering Design - ICED'99*, Munich, Germany, August 24-26, 1999.
- [59] Dupouy P., Girard Ph., Eynard B., Merle C., Proposition pour un système d'évaluation de la performance technico-économique en ingénierie des produits, *3ème Congrès International de Génie Industriel - GI'99*, Montréal, Canada, 26-28 mai 1999.
- [60] Eynard B., Girard Ph., Doumeingts G., Control of engineering processes through integration of design activities and product knowledge, *CIRP Design Seminar*, Enschede, The Netherlands, March 24-26, 1999.
- [61] Eynard B., Girard Ph., Doumeingts G., Démarche de reconfiguration des processus d'ingénierie des produits, *18ème Conférence Internationale sur la CFAO, la Simulation et les Nouvelles Technologies de Conception et de Fabrication - MICAD 1999*, Paris, France, 9-12 février 1999.
- [62] Girard Ph., Eynard B., Doumeingts G., Proposal to control the systems design process: application to manufactured products, *2nd International Conference on Integrated Design and in Mechanical Engineering - IDMME'98*, Compiègne, France, May 27-29, 1998.

- [63] Eynard B., Girard Ph., Chen D., Un Modèle Produit support à la conduite de processus de conception, *2ème Congrès International de Génie Industriel - GI'97*, Albi, France, 3-5 septembre 1997.

#### 3.4.4 Conférences nationales et séminaires avec ou sans actes

- [64] Charles S., Eynard B., Intégration d'un environnement de gestion de données de simulation avec un SGDT, *17ème Congrès Français de Mécanique - CFM 2005*, Troyes, France, 29 août - 2 septembre 2005.
- [65] Eynard B., Du système d'information technique à la gestion des connaissances industrielles, *Séminaire invitée au LICIA*, Strasbourg, France, 22 juin 2004.
- [66] Odinet A., Applagnat F., Merlo C., Eynard B., Diffusion des technologies PLM au sein des entreprises d'Aquitaine, *Journée thématique AIP-PRIMECA*, Lille, France, 6 mai 2004.
- [67] Eynard B., Capitalisation de connaissances et conception de produits mécaniques, *Journée du GDR MACS*, Paris, France, 5 mars 2004.
- [68] Postansque R., Nowak P., Eynard B., Lafon P., Formulation de connaissances métier et intégration dans un modèleur CAO, *2ème Colloque Coopération Innovation et Technologies - CITE 2003*, Troyes, France, 3-4 décembre 2003.
- [69] Charles S., Eynard B., Free Creativity of Open Dynamic Designer based on Computer Support, *Workshop of Dissemination of Open Dynamic Design – DODD 2003*, Glasgow, Scotland, UK, October 28-29, 2003.
- [70] Eynard B., De la modélisation de produit à la gestion des données techniques, *Journées du GDR MACS*, Bordeaux, France, 15-16 octobre 2003.
- [71] Charles S., Eynard B., Paleczny C., Vers une standardisation des échanges de données en calcul de structure dans l'industrie aéronautique, *XVIème Congrès Français de Mécanique - CFM 2003*, Nice, France, 1-5 septembre 2003.
- [72] Charles S., Eynard B., Gerson P., Green G., Open Dynamic Design : une étude européenne de l'enseignement de la conception de produits mécaniques, *Colloque CONFERE 2003*, Belfort, France, 3-4 juillet 2003.
- [73] Charles S., Odinet A., Eynard B., Liénard S., Environnement Web d'ingénierie collaborative et de visualisation éléments finis pré et post-traitement, *8ème Colloque national sur la Productique et le Conception Mécanique Intégrée - AIP-PRIMECA'2003*, La Plagne, France, 31 mars - 2 avril 2003.
- [74] Eynard B., Moreau D., Charles S., Gomes S., Enseignement de la gestion de données techniques sur la base de Pro/INTRALINK, *Journée thématique AIP-PRIMECA*, Nancy, France, 23 janvier 2003.
- [75] Eynard B., Carratt B., Processus de certification et support informationnel dans l'aéronautique, *Séminaire du Groupement de Recherche en Productique*, Grenoble, France, 21-22 mars 2002.
- [76] Eynard B., Roucoules L., Matta N., Capitalisation de connaissances en ingénierie collaborative : de la modélisation des données du produit à la traçabilité de la logique de conception, *Colloque sur l'Ingénierie de la Production et des Organisations Industrielles - IPI 2002*, Autrans, France, 28-30 janvier 2002.
- [77] Eynard B., Lemerrier M., Matta N., Apports des technologies Internet et du langage XML dans la constitution d'une mémoire de projet en conception de produits, *Colloque Coopération Innovation et Technologies - CITE 2001*, Troyes, France, 29-30 novembre 2001.
- [78] Eynard B., Merlo C., Carratt B., De la modélisation de processus à la spécification de workflow GDT, *Séminaire Simulation de Produits, de Procédés et de Processus industriel - S3P2001*, Bidart, France, 15-16 novembre 2001.
- [79] Lombard M., Eynard B., Dynamique Collective des Connaissances Industrielles : perspectives, *Séminaire du Groupement de Recherche en Productique*, Toulouse, France, 8-9 novembre 2001.
- [80] Eynard B., Lafon P., Lu J., Aide au choix de procédés de traitement de surface : application à l'optimisation de la durée de vie de composants mécaniques, *XVème Congrès Français de Mécanique – CFM 2001*, Nancy, France, 3-7 septembre 2001.

- 
- [81] Belloy Ph., Foucard E., Eynard B., Lafon P., Roucoules L., Prise en compte des connaissances, savoir et savoir-faire, dans la conception de produits mécaniques : application à la conception d'une liaison pivot, *Journée thématique AIP-PRIMECA*, Grenoble, France, 22 mai 2001
- [82] Girard Ph., Merlo C., Eynard B., Modélisation des connaissances pour la conduite de la conception, *Journée thématique AIP-PRIMECA*, Grenoble, France, 22 mai 2001.
- [83] Gomes S., Eynard B., Magnon L., Application du collecticiel ACSP en configuration multisites : cas du projet de conception d'une nouvelle table d'examen, *7ème Colloque sur la Conception Mécanique Intégrée*, La Plagne, France, 4-6 avril 2001.
- [84] Eynard B., Intégration de connaissances et capitalisation de savoir-faire : outil d'aide en conception, *Séminaire du Groupement de Recherche en Productique*, Annecy, France, 23-24 mars 2000.
- [85] Girard Ph., Eynard B., Doumeingts G., Control of design, *China Europe Network for Integration in Manufacturing - CENIM*, Karlsruhe, Germany, October 5-7, 1999.
- [86] Eynard B., Girard Ph., Doumeingts G., Modélisation intégrée des activités d'ingénierie et de la connaissance du produit, *6ème Colloque sur la Conception Mécanique Intégrée*, La Plagne, France, 7-8 avril 1999.
- [87] Eynard B., Girard Ph., Chen D., Doumeingts G., Research works of LAP/GRAI related to Design Coordination, *IiMB/SG3/DC meeting Esprit Working Group 21108*, Copenhagen, Denmark, 20-22 mars 1998.
- [88] Girard Ph., Eynard B., Proposition pour la conduite de l'ingénierie dans le cadre de la conception des produits, *Séminaire du Groupement de Recherche en Productique*, Cachan, France, 16-17 octobre 1997.

### 3.4.5 Coordination de numéros spéciaux de revues et d'ouvrages scientifiques (5)

- [89] Eynard B., Bigand M., Object-Oriented Modelling in Design and Production, *Computers in Industry*, vol. 55, n°3, ISSN 0166-3615, 2004.
- [90] Eynard B., Lombard M., Matta N., Renaud J., Gestion dynamique des connaissances industrielles, *Traité IC2 – série Informatique et systèmes d'information*, Hermès Science Publications, Paris, ISBN 2-7462-0952-7, 2004.
- [91] Eynard B., Matta N., Coopération et organisation numériques, *Document Numérique*, vol. 8, n° 1, ISBN 2-7462-0896-2, 2004.
- [92] Eynard B., Caillaud E., De l'échange de données techniques au PLM, *Revue Internationale de CFAO et d'Informatique Graphique*, vol. 18, n° 4, ISBN 2-7462-1162-9, 2003.
- [93] Simone C., Matta N., Eynard B., Espaces numériques d'information et de coopération, *Document Numérique*, vol. 5, n° 3-4, ISBN 2-7462-0509-2, 2001.

### 3.4.6 Thèse et DEA

- [94] B. Eynard, Modélisation du produit et des activités de conception - Contribution à la conduite et à la traçabilité du processus d'ingénierie, Thèse de doctorat de l'Université Bordeaux 1, 1999.
- [95] B. Eynard, Définition d'un modèle de produit afin de gérer l'activité de conception mécanique dans un environnement d'ingénierie simultanée, Mémoire de DEA Automatique et Productique de l'Université Bordeaux 1, 1994.

### 3.4.7 Rapports internes

- [96] Eynard B., Lombard M., Rose B., Noël F., Modélisation des données collaboratives - R1.3 version finale, Projet IPPOP, janvier 2005.
- [97] Eynard B., Lafon P., Roucoules L., Bilan 2003-2004 de l'Opération I3C, Pôle TOA, décembre 2004.
- [98] Eynard B., Roucoules L., Technical Part of the 2nd year Intermediate Report, ASIA Link – PAEDEIA Project, octobre 2004.
- [99] Wang B., Eynard B., Roucoules L., Survey of French MSc in Engineering Design and Manufacturing, ASIA Link – PAEDEIA Project, juin 2004.

- [100] S. Charles, Eynard B., Développement du démonstrateur - Livrable 3, Projet EADS/CCR - Parametrized STEP to Catia V5, mars 2004.
- [101] Eynard B., Lafon P., Roucoules L., Bilan 2002-2003 de l'Opération I3C, Pôle TOA, décembre 2003.
- [102] S. Charles, Eynard B., Mise en correspondance entre les modèles - Livrable 2, Projet EADS/CCR - Parametrized STEP to Catia V5, décembre 2003.
- [103] S. Charles, Eynard B., Caractérisation de la méthode - Livrable 1, Projet EADS/CCR - Parametrized STEP to Catia V5, novembre 2003.
- [104] Eynard B., Roucoules L., Technical Part of the 1st year Intermediate Report, ASIA Link - PAEDEIA Project, octobre 2003.
- [105] Eynard B., Lombard M., Rose B., Noël F., Modélisation des données collaboratives - R1.3 version intermédiaire, Projet IPPOP, juin 2003.
- [106] Eynard B., Nowak P., Lombard M., Rose B., Merlo C., Callot M., Modèle du processus d'ingénierie R2.1 - version finale, mars 2003.
- [107] Eynard B., Roucoules L., Carratt B., Charles S., Nowak P., Rapport d'avancement Snecma Moteurs DA401471-5, Projet ENHANCE, mai 2002.
- [108] Eynard B., Roucoules L., Carratt B., Charles S., Nowak P., Rapport d'avancement Snecma Moteurs DA401471-4, Projet ENHANCE, mars 2002.
- [109] Eynard B., Roucoules L., Carratt B., Gouel M., Charles S., Rapport d'avancement Snecma Moteurs DA401471-3, Projet ENHANCE, décembre 2001.
- [110] Eynard B., Charles S., Open Dynamic Design – Survey of ICED 2001, Projet ODD, septembre 2001.
- [111] Eynard B., Charles S., Open Dynamic Design – 2nd Industrial Practices Study of a French Design Department Projet ODD, juillet 2001.
- [112] Eynard B., Roucoules L., Carratt B., Gouel M., Charles S., Rapport d'avancement Snecma Moteurs DA401471-2, Projet ENHANCE, mai 2001
- [113] Eynard B., Matta N., Roucoules L., Carratt B., Gouel M., Charles S., Rapport d'avancement Snecma Moteurs DA401471-1, Projet ENHANCE, mars 2001.
- [114] Eynard B., Cimolai A., Open Dynamic Design – Practices Study of a French Design Department, Projet ODD, septembre 2000.
- [115] Eynard B., Girard Ph., Doumeingts G., Rapport d'étude : actionneur multi-énergie, Projet AMRI/KSB, juillet 1998.
- [116] Marty P., Eynard B., Girard Ph., Doumeingts G., Amélioration de l'échange d'informations entre le Bureau d'Etudes et la Production, Etude pilote LAFON/ADESO/GRAI - Programme Esprit TBPIT 21597, juin 1998.
- [117] Doumeingts G., Malhéné N., Eynard B., TIME GUIDE Methodology version 2.0, Eurêka TIME GUIDE EU 1157 - Deliverable 1.1, octobre 1996.
- [118] Colom J., Doumeingts G., Malhéné N., Eynard B., *GIM's industrial application in Clemessy*, Eurêka TIME GUIDE EU 1157 - Deliverable 4.4, mai 1996.

## **4 Activités administratives et d'intérêt collectif**

### **4.1 Enseignements**

#### **Membre du CEVU**

- Elu du collège enseignant-chercheur au Conseil des Etudes et de la Vie Universitaire de l'Université de Technologie Troyes depuis nov. 2002.

- Elu du collège étudiants de 3ème cycle au Conseil des Etudes et de la Vie Universitaire de l'Université Bordeaux 1 (déc. 1996 à nov. 1998) ;

**Membre du bureau de département .....**

Elu du collège enseignant-chercheur au bureau de département de Génie des Systèmes Mécaniques de l'UTT (sept. 1999 à nov. 2003) ;

## 4.2 Recherche

### Membre du CS

Elu du collège enseignant-chercheur au Conseil Scientifique de l'Université de Technologie Troyes depuis nov. 2002

#### 4.2.1 Animation de projets

- Président du Pôle régional de recherche et de transfert sur les *Technologies Organisationnelles et d'Accompagnement* (TOA), depuis janvier 2004. Ce Pôle est financé dans le cadre CPER 2000-2006 pour un budget global d'environ 3,18 Meuros et représente un potentiel d'une centaine de chercheurs de Champagne-Ardenne répartis entre le CER ENSAM de Châlons en Champagne, l'URCA et l'UTT autour de la mise en oeuvre des STICs dans la production de biens et de services ;
- Coordonnateur du projet de Pôle de Compétitivité sur les *Technologies de la Sécurité* porté par l'UTT, depuis avril 2005 ;
- Correspondant scientifique et technique de l'UTT au sein du projet européen *ASIA Link-PAEDEIA* (2002-2005) ;
- Responsable de l'opération *Intégration de Connaissances en Conception Coopérative* qui sert de support à deux projets du LASMIS dans le cadre du Pôle TOA (2000-2004) ;
- Correspondant scientifique et technique de l'UTT au sein du projet *RNTL IPPOP* et membre du comité de pilotage du projet (2001-2005) ;
- Correspondant UTT dans le cadre des projets européens *ODD et DODD* (2000-2003).

#### 4.2.2 Rayonnement scientifique

- Membre de l'Editorial Board de l'*International Journal of Product Lifecycle Management* ;
- Coordonnateur associé d'un numéro spécial de *Computers in Industry*, de deux numéros spéciaux de *Document numérique*, d'un numéro spécial de *RCFAO* et d'un traité *IC2 – séries Informatique et systèmes d'information* ;
- Evalueur d'articles pour *Computers in Industry*, *International Journal of Manufacturing Technology and Management*, *International Journal of Product Development*, *Journal of Zhejiang University Science*, *Document numérique*, *Revue internationale de CFAO et d'informatique graphique* ;
- Membre des comités scientifiques de *PLM'2006*, *IE&EM'2005*, *EASED'2004* au plan international et *CITE'2006*, *CFM'2005*, *C2EI'2004*, *CITE'2003*, *GCCGI'2002*, *CITE'2001* au niveau national ;
- Evalueur de communications pour *IDMME'2006*, *IMACS'2005*, *ASME-DAC'2004 et 2003*, *IEEE-CESA'2003* ;
- Expert de projets scientifiques soumis dans le cadre de l'appel d'offre du *RNT Logicielles 2005* ;

- Expert dans le cadre de l'étude « *Technologies Clés 2010* » pour le compte de la DIGITIP du MEFI ;
- Expert de projets scientifiques pour les régions : Rhône Alpes - *thématique STIC / Entreprises Virtuelles* ; Aquitaine - *Pôle de recherche EITICA* ;
- Membre des jurys de thèse : de *V. Robin*, le 5 décembre 2005 à l'*Université Bordeaux I*, de *A. Monovskaya*, le 7 mars 2005 à l'*Université Technique d'Etat d'Orel* - Russie ; de *M. Labrousse*, le 13 juillet 2004 à l'*Ecole Centrale de Nantes* ;
- Membre du comité d'animation du *GT IS3C* (Ingénierie des Systèmes de Conception et Conduite du Cycle de vie du produit) du pôle STP (Sciences et Techniques de Production) du GDR MACS (Modélisation, Analyse et Conduite des Systèmes dynamiques) : depuis 2003 ;
- Membre du comité de pilotage et d'animation au sein du groupe de recherche DYXIT 2001-2003 ayant donné naissance au *GT C2EI* (Compétences Connaissances en Entreprise Industrielle) du pôle STP du GDR MACS ;
- Membre du groupe de travail n°6 - *Conception en productique, produit /processus* du GRP (Groupement de Recherche en Productique) : 1999-2003.



## Partie B

# De l'échange de données techniques à la dynamique des connaissances industrielles

### Sommaire

<b>5</b>	<b>Introduction</b> .....	<b>37</b>
<b>6</b>	<b>Conception de produits et ingénierie simultanée</b> .....	<b>39</b>
6.1	Conception de produits manufacturés .....	39
6.2	Etat des lieux des méthodes d'ingénierie .....	39
6.3	Conclusion et perspectives sur les méthodes d'ingénierie .....	44
<b>7</b>	<b>Gestion du cycle de vie des produits</b> .....	<b>46</b>
7.1	Echange de données techniques .....	47
7.2	Gestion des données techniques .....	59
7.3	Environnements d'ingénierie collaborative .....	70
7.4	Conclusion et perspectives autour du PLM .....	81
<b>8</b>	<b>Dynamique des connaissances industrielles</b> .....	<b>83</b>
8.1	Traçabilité des projets d'ingénierie .....	83
8.2	Gestion des alternatives de conception .....	90
8.3	Ingénierie mécanique à partir de connaissances .....	95
8.4	Conclusion en matière de connaissances industrielles .....	100
<b>9</b>	<b>Perspectives et projet de recherche</b> .....	<b>101</b>
<b>10</b>	<b>Bibliographie</b> .....	<b>104</b>



## 5 Introduction

De nos jours, le développement de produits mécaniques associe un grand nombre de technologies et de métiers (les exemples les plus représentatifs étant les secteurs de l'aéronautique, de l'automobile ou des biens de grandes consommations). L'objectif du LASMIS<sup>17</sup> - FRE CNRS 2719 est de développer des méthodes, des modèles et des outils pour la conception intégrée de systèmes mécaniques. A partir d'un cahier des charges, il s'agit de définir des solutions techniquement viables et d'élaborer des prototypes virtuels ou physiques en tenant compte d'un ensemble de critères (comportements des matériaux, simulations de tenue mécanique ou de durée de vie, optimisation, fabrication, etc.) au plus tôt dans le processus de conception. Pour ce faire, il faut fournir des environnements informatique et méthodologique adapté aux contraintes de l'ingénierie simultanée. Autour de la problématique de la conception intégrée de produits mécaniques et dans une approche pluridisciplinaire, le LASMIS réunit des spécialistes issus de domaines scientifiques comme la mécanique du solide (numérique et expérimentale), des matériaux, des mathématiques appliquées, du génie mécanique et de la productique.

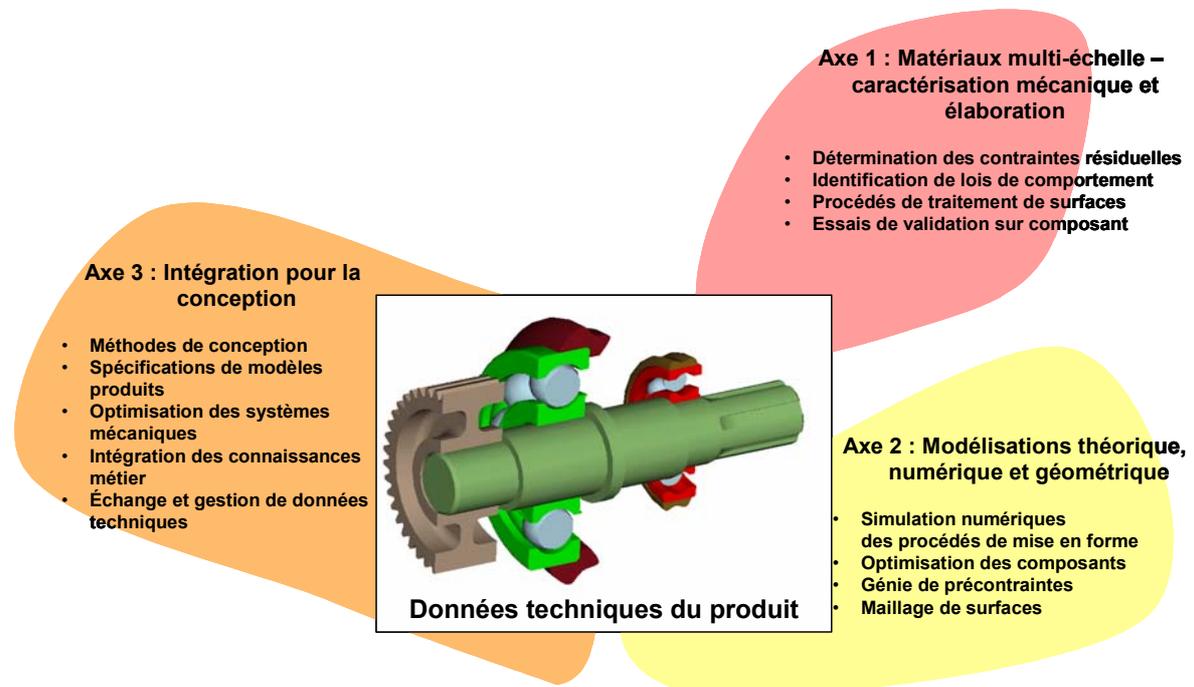


Figure 1 : Les activités du LASMIS

En réponse à ces objectifs scientifiques de développement d'environnements informatique et méthodologique adaptés aux contraintes de l'ingénierie simultanée, le LASMIS est organisé en trois axes de recherche (Figure 1) :

- Matériaux multi-échelle - caractérisation mécanique et élaboration : analyse du comportement, de l'endommagement, de la rupture des matériaux et des composants mécaniques sous sollicitations complexes, étude des procédés de génération de contraintes résiduelles et de leur mesure ;

<sup>17</sup> <http://www-lasmis.utt.fr>

- Modélisations théorique, numérique et géométrique : développement de modèles mécaniques, numériques et géométriques généraux (3D) pour leur implémentation dans des codes de calcul de structures pour la simulation numérique des procédés ;
- Intégration pour la conception : mise en oeuvre d'une plate-forme d'ingénierie intégrée et collaborative permettant la coopération des acteurs et l'intégration des connaissances métier durant le processus de conception.

Nos activités de recherche se situent dans l'axe « Intégration pour la Conception » où nous apportons nos compétences scientifiques dans les domaines du génie mécanique et de la productique. Au cours des six années passées au sein de cette équipe, nous avons développé différents sujets de recherche qui sont résumés dans la suite de manuscrit au travers de trois thèmes principaux : méthodes d'ingénierie, gestion du cycle de vie des produits, dynamique des connaissances industrielles.

Dans le premier thème (chapitre 6), nous nous intéressons aux méthodes d'ingénierie de produits. L'importante diversité des méthodes de conception fait qu'il n'est guère facile de savoir précisément quand et comment utiliser au mieux celles-ci en regard d'un contexte donné. A partir de ce constat, un état des lieux en matière de méthodes d'ingénierie a été élaboré afin de proposer un guide de bonnes pratiques permettant aux acteurs du projet de choisir les techniques et outils pertinents vis-à-vis des tâches à réaliser.

Sur le second thème (chapitre 7), nous développons une expertise sur le thème global de la gestion du cycle de vie des produits (ou PLM – *Product Lifecycle Management*). Les principaux résultats portent sur la définition, d'une part, de méthodes et d'outils pour une gestion efficace des données techniques d'un projet d'ingénierie et, d'autre part, de procédures pour de meilleures interopérabilité logicielle et intégration multi-systèmes notamment entre CFAO, calcul EF et SGDT.

Pour le dernier thème (chapitre 8), nous travaillons principalement sur des fondements scientifiques contribuant à l'élaboration de méthodes et à la spécification de modèles ainsi que d'outils supports de la traçabilité-capitalisation de connaissances liées au produit dans le domaine de l'ingénierie mécanique. Pour mettre en oeuvre ce type d'aide, l'approche proposée est centrée sur la spécification de méthodes de saisie, de gestion, de restitution et réutilisation du patrimoine informationnel de conception dans le cadre d'architectures informatiques ad hoc telles que les applications de *Knowledge Based Engineering*.

Enfin, au chapitre 9, nous concluons notre projet scientifique avec les perspectives que nous souhaitons donner à nos travaux en pérennisant l'existant, développé depuis six ans, mais aussi en explorant de nouveaux sujets comme l'intégration de la sûreté de fonctionnement et de la maintenance dans la conception des produits, ainsi que la qualité et la sécurité des informations techniques.

## 6 Conception de produits et ingénierie simultanée

### 6.1 Conception de produits manufacturés

Compte tenu du contexte économique actuel et de l'esprit de compétition qui en résulte, la R&D est devenu un facteur déterminant de réussite pour les entreprises manufacturières. Le besoin permanent d'innovation et la prise en considération simultanée des exigences du client et des contraintes de production, de logistique ou de maintenance demandent aux équipes de projet une réactivité et une efficacité toujours plus grandes. L'émergence de nouvelles approches organisationnelles et managériales, ainsi que la maturité des technologies de l'information et de la communication nécessitent une adaptation fréquente voire une remise en cause des modes de travail, des savoir-faire et des compétences des acteurs de l'ingénierie.

Dans ce contexte, il faut repenser et accompagner l'évolution des méthodes de conception, notre vision de ces méthodes s'inscrit clairement dans celle communément reconnue par la Design Society<sup>18</sup> comme fondatrice i.e. : *Engineering Design – A Systematic Approach* (Pahl & Beitz, 1984). Toutefois de ce cadre relativement général, l'axe de recherche « Intégration pour la conception » a positionné son approche de l'ingénierie simultanée et de la conception intégrée dans la suite de celles proposées respectivement par (Andreasen & Hien, 1987), (Sohlenius, 1992) et (Tichkiewitch, 1994). Au-delà de la classique concourance des tâches d'ingénierie, nous centrons notre recherche sur l'intégration des connaissances et des savoir-faire métier ( Figure 2) afin de favoriser l'émergence des solutions technologiques et donc de la définition du produit sur la base des spécifications fonctionnelles issues du cahier des charges (Eynard *et al.*, 2000 - [56]).

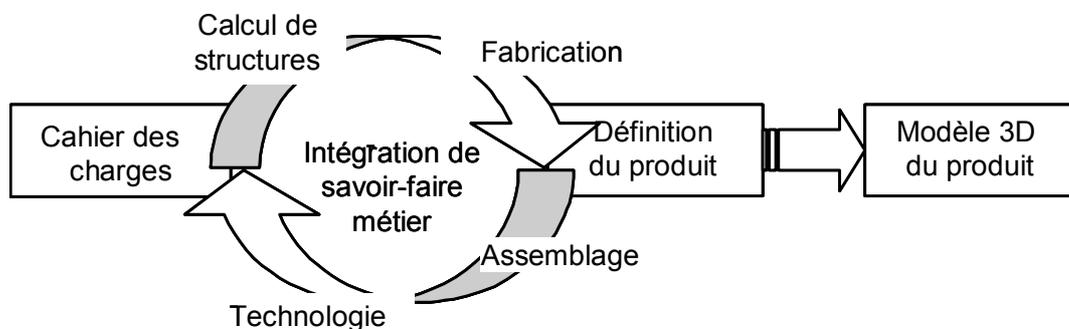


Figure 2 : Intégration des savoir-faire métier et émergence de la définition du produit

### 6.2 Etat des lieux des méthodes d'ingénierie

Dans ce paragraphe, nous présentons le résultat d'une analyse des méthodes et techniques de conception effectuée dans le cadre d'un projet européen ODD (*Open Dynamic Design*, Charles *et al.*, 2003 - [11]). Cette analyse s'est appuyée dans un premier temps sur une étude bibliographique des ouvrages traitant de conception de produits, communément exploités pour l'enseignement, que nous avons ensuite confrontée à un examen des démarches plus pragmatiquement utilisées en milieu industriel.

<sup>18</sup> <http://www.designsociety.org>

### 6.2.1 Objectifs du projet *Open Dynamic Design*

Initié à partir d'un réseau ERASMUS/SOCRATES d'universités européennes, le consortium ODD s'est constitué autour d'un intérêt commun pour l'enseignement de la conception de produits. Il s'est étoffé au fil du temps et a grandi de façon à associer l'Hanzehogeschool de Groningen - NL (Coordonnateur du projet ODD), l'Université de Glasgow - UK, la Fachhochschule de Furtwangen - D, le Galway Mayo Institute of Technology - IRL, le Oulo Polytechnic Institute - FIN, les Universités de Technologie de Compiègne et de Troyes - F ainsi qu'un certain nombre d'entreprises (Green & Gerson, 1999). Sur cette base de compétences à la fois académiques et industrielles, le consortium s'est donné pour objectifs :

- d'observer des projets d'ingénierie dans différentes configurations ;
- d'extraire les facteurs et éléments clés communs ou de différenciation pour analyser le succès ou l'échec du projet ;
- de comparer et confronter les approches académiques de la conception avec les pratiques industrielles ;
- de définir une sélection de méthodes, de techniques ou d'outils pour les entreprises ;
- de développer une base commune de modules de formation dans le domaine de l'ingénierie.

De décembre 1998 à novembre 2003, un certain nombre d'analyses de terrain au sein de bureaux d'études et observations de projets ou de stages d'étudiants ont été réalisées à l'échelle européenne afin de recenser et d'étudier les méthodes, les techniques et les outils d'ingénierie utilisés (Eynard *et al.*, 2001 - [50]).

Le projet ODD a aussi permis la mise en place de nouvelles activités et le maintien de celles issues du réseau ERASMUS/SOCRATES initial :

- réunions de travail, semaines intensives et ateliers de conception ;
- échange d'étudiants et d'enseignants au sein du consortium ;
- stages industriels dans différents pays de l'Union Européenne ;
- développement d'un cursus international en ingénierie de produits ;
- une formation en conception mécanique dans une logique de pédagogie par projets.

Durant cette période, des études ont abouti à des résultats significatifs pour les industriels partenaires qui ont développé et commercialisé les produits conçus par les étudiants. Citons à titre d'exemple : Philips au Pays-Bas ou Bosch en Allemagne.

### 6.2.2 Proposition d'une formation européenne en conception

Pour identifier les méthodes de conception et leurs pratiques (paragraphe 6.2.3), les membres du projet se sont intéressés à la mise en oeuvre de techniques d'enseignement s'appuyant sur l'observation participative, l'apprentissage par l'action, le partage d'expérience et le vécu en contexte industriel ou pseudo-industriel (Schön, 1987). L'accent a été mis sur l'apport des projets, de la collaboration avec des ingénieurs expérimentés et des équipes de conception, des stages en entreprise et de toutes autres formes d'activités permettant à l'étudiant d'être en situation quasi professionnelle. Cette approche, qui constitue le cœur du référentiel européen de formation proposé, s'articule autour des thèmes suivants développés dans les enseignements d'ingénierie de chacun des partenaires du consortium (Figure 3) :

- enseignements conventionnels toujours couplés avec des travaux pratiques ;
- apprentissage et maîtrise des technologies par l'observation et le partage d'expérience avec des experts ;
- cas d'étude industriels avec la participation des ingénieurs de conception pour un échange de points de vue (rupture créative des étudiants, savoir-faire et expertises des ingénieurs) ;

- périodes de découverte et d'insertion dans le monde de l'entreprise avec une confrontation et un retour d'expérience vis-à-vis des enseignements.

Sur la base de ces principes l'Université de Glasgow et l'Hanzehogeschool de Groningen ont développé avec succès des formations en conception de produits de niveau Bachelor et Master of Engineering (Green & MacDonald, 1990), (Gerson, 1995) et (Green & Kennedy, 1997).

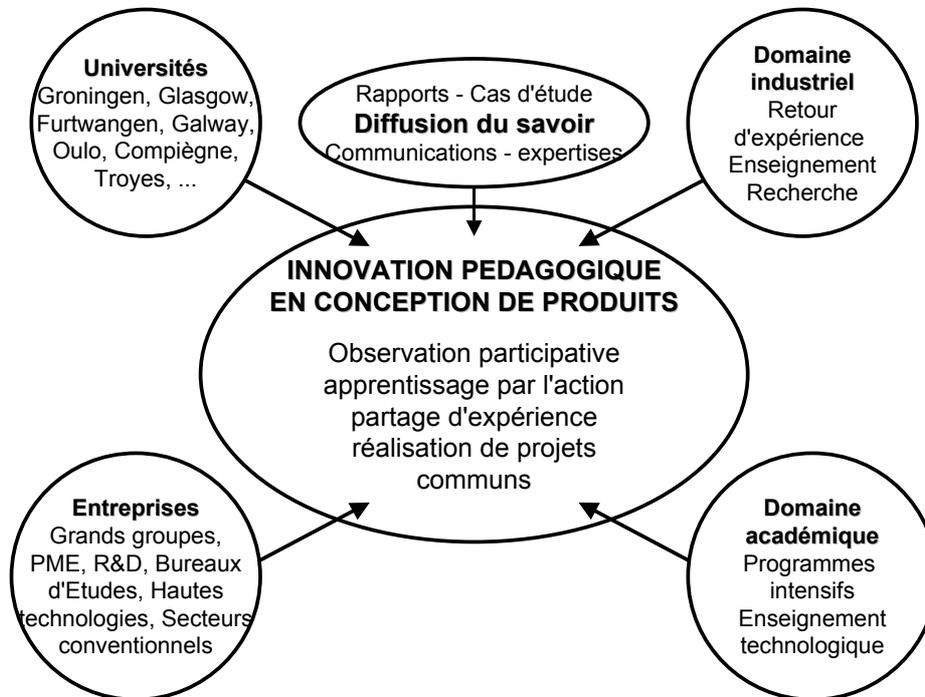


Figure 3 : Enseignement et apprentissage de la conception de produits

### 6.2.3 Approches académiques versus industrielles

#### 6.2.3.1 Méthodes, techniques, outils de conception académiques

Une étude bibliographique d'ouvrages traitant de la conception de produits (Asimow, 1962), (Palh & Beitz, 1984), (Andreasen & Hein, 1987), (Hubka & Eder, 1988), (Cross, 1989), (Pugh, 1990), (Ullman, 1992), (Roozenburg & Eekles, 1995), (Tollenaere *et al.*, 1998), (Duchamp, 1999) et (Marty & Linares, 1999), nous a permis de mettre en évidence la grande diversité des méthodes, des techniques et des outils d'ingénierie.

Ci-dessous, nous proposons quelques exemples éléments de cette étude (Tableau 1) :

- - les méthodes systématiques et structurées, la gestion de projet, les démarches intégrées et concourantes, les approches de créativité et d'innovation ;
- - les techniques d'Analyse de la Valeur, d'Analyse Fonctionnelle, de QFD et d'AMDEC ;
- - les outils de CAO, de FAO, de Simulation Numérique, ou d'Aide à l'Innovation.

L'ensemble de cette offre représente pour le concepteur un support très riche pour gagner en efficacité, performance et créativité. Mais face à cette diversité, il est difficile de s'orienter vers le choix de la meilleure méthode ou de l'outil le plus approprié en regard du projet qu'il faut mener à bien à moindre coût et dans des délais toujours plus courts. La stratégie adoptée au sein du consortium ODD a été d'examiner les pratiques industrielles en matière de conception puis de les confronter avec les approches académiques et scientifiques qui sont habituellement présentées aux étudiants durant leur formation d'ingénieur.

Tableau 1 : Bilan des méthodes, techniques et outils

<b>Boîte à outils du concepteur</b>					
<b>Tâches d'ingénierie</b>	<b>Méthodes</b>	<b>Techniques</b>	<b>Outils</b>	<b>Vision</b>	
				<b>Ens.</b>	<b>Indus.</b>
<i>Analyse</i>		Méthodes par éléments finis,	Simulation numérique	Expliquer	
<i>Représentation</i>		Schéma, dessin présentation	CFAO		
<i>Synthèse</i>		Etude morphologique	CAO		Suivre le leader
<i>Evaluation</i> - <i>Enrichissement</i>		AV/AF, DfX, AMDEC, QFD, Taguchi, TRIZ			
<b>Tâches de management</b>					
<i>Compréhension</i>	Pahl & Beitz, Pugh, etc.			Expliquer	Expérience
<i>Organisation</i>	Gestion de projet				
<i>Apprentissage</i>				Capitaliser les savoir-faire	

### 6.2.3.2 Analyse des pratiques industrielles

L'étude, qui s'est intéressée à l'identification des pratiques en terme de conception a été menée auprès d'entreprises de tailles différentes et de domaines d'activité variés de façon à rester le plus exhaustif possible.

#### 6.2.3.2.1 Investigations par étude de terrain

Afin de mettre en évidence les bonnes pratiques industrielles, nous avons adopté une méthode d'investigation s'appuyant sur des études de terrain dans des secteurs très différents de l'industrie et ce dans de la plupart des pays de l'Union Européenne (Eynard *et al.*, 2001 - [50]) Ces études ont été menées dans des entreprises fabriquant aussi bien de l'électro-ménager que des machines spéciales, des systèmes de télécommunication ou du mobilier urbain et d'exposition. En plus d'une grande diversité des natures des produits développés et de technologies mises en œuvre, nous avons introduit un facteur d'analyse supplémentaire avec la dimension inter-culturelle. Cette dimension a été considérée afin de souligner la richesse des échanges voire les freins aux coopérations intra-européennes induits par les comportements identitaires et les logiques de pensée propres à chaque pays de l'Union.

Les études de terrain s'appuyaient sur un questionnaire à remplir par un chargé d'audit, le plus souvent un acteur immergé dans un projet jugé représentatif par l'entreprise. Un premier travail nécessitant des itérations entre le chargé d'audit et l'enseignant-chercheur responsable de l'enquête avait pour but de fixer une première version du questionnaire la plus précise possible. Sur la base de cette première version, le chargé d'audit et l'enseignant-chercheur organisaient une réunion de qualification des résultats avec trois ou quatre acteurs clés du projet et de l'entreprise pour s'assurer de

la validité des informations recueillies. Ensuite, à partir des commentaires et remarques issus de la réunion, le chargé d'audit rédigeait une nouvelle version du questionnaire qui était cette fois validée par simple lecture du document de la part des audités. Une fois les dernières recommandations prises en compte le questionnaire était soumis à la direction de l'entreprise afin d'obtenir l'autorisation d'exploiter le document dans le cadre du projet ODD.

En effet, le questionnaire était ensuite transmis à certains membres du consortium chargés d'analyser son contenu, d'extraire les méthodes, les techniques et les outils les plus couramment employés tout en considérant le contexte industriel. Pour ce faire les relecteurs exploitaient une grille d'identification s'appuyant sur :

- la caractérisation du projet et du produit ;
- les acquis et les savoir-faire de l'entreprise ;
- l'influence des personnes clé ;
- les aides extérieures impliquées dans le projet ;
- l'environnement économique-industriel.

Au terme du projet ODD, une quarantaine de questionnaires a été dépouillée. Ceci nous fournit un échantillon suffisamment représentatif pour argumenter de la pertinence des observations effectuées.

#### 6.2.3.2 Résultats des études de terrain

Le dépouillement des résultats des études a permis au consortium ODD (Gerson & Green, 2001) d'établir une classification en matière de méthodes de conception (Figure 4). Il est rare que le fonctionnement du bureau d'études d'une entreprise n'obéisse qu'à une seule des cinq composantes décrites ci-dessous. Généralement, ce fonctionnement peut être décrit par une combinaison de plusieurs de ces modèles. Par exemple, nous pouvons caractériser les entreprises françaises étudiées (principalement des PME), par une association du modèle systématique et de la gestion économique et temporelle de projet.

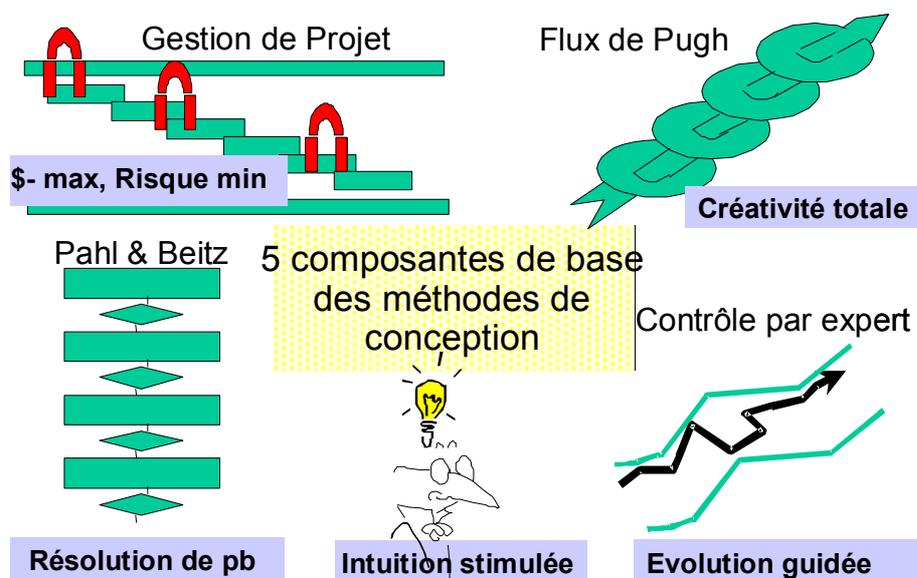


Figure 4 : Composantes de base des méthodes de conception

La confrontation des questionnaires issus de différents pays de l'Union Européenne a mis en évidence les facteurs clés qui influencent fortement le déroulement d'un projet :

- la culture et la structure de l'entreprise (souvent liées à la propre culture du pays) ;
- l'environnement technologique du produit ;
- la complexité du produit ;
- les contraintes légales ;
- l'implication dans le projet des décideurs de l'entreprise.

Ces facteurs orientent fortement la sélection du type de techniques ou d'outils qui pourront être mis à profit pour atteindre les objectifs stratégiques et industriels. Les facteurs les plus complexes à faire évoluer sont la culture et la structure de la société. La modification de ceux-ci peut demander de jusqu'à une dizaine d'année. Par conséquent avant de chercher à les modifier, peut être faut-il considérer leur impact dans la stratégie et le management de l'entreprise.

En comparant les modes de gestion des équipes de projet, il est possible de faire ressortir une nuance culturelle forte, celle du temps nécessaire à un jeune ingénieur pour obtenir une maturité technique vis-à-vis de ses pairs. Bien que possédant de bonnes bases scientifiques et technologiques, sa compétence pour mettre en pratique ses connaissances ne sera pas reconnue de la même manière suivant les pays. En Allemagne et en France où la culture de l'ingénieur est solidement implantée, la durée nécessaire pour faire ses preuves est d'environ cinq ans tandis qu'elle sera d'un à deux ans au Royaume-Uni ou aux Pays-Bas où le pragmatisme en terme de management fait plutôt référence.

Cette logique se retrouve dans la gestion des projets où en France il est toujours demandé de valider les choix techniques avec la hiérarchie tandis qu'aux Pays-Bas une confiance plus large est accordée aux concepteurs. Ils possèdent en général une plus grande marge de manœuvre pour innover. Autre exemple intéressant, celui de la Finlande où l'ingénieur expérimenté se positionne en tant que catalyseur et stimulateur de la créativité des novices. Cette démarche a démontré toute son efficacité dans le développement des technologies réseau et de la téléphonie mobile qui demandait une forte innovation de la part des entreprises.

Les résultats du projet ODD ont également fait ressortir un fort besoin d'adéquation ou d'adaptation de la méthode employée en fonction des environnements technique, économique, organisationnel, humain voire culturel dans lesquels se déroule le projet industriel.

A titre d'exemple, si ce dernier est réalisé dans un logique de R&D à moyen terme avec par contre d'un niveau technologique élevé, une méthode de type ingénierie simultanée ne se justifie pas. Elle pourrait même, par une gestion trop stricte des délais, faire avorter le projet par manque de temps et d'espace de créativité des concepteurs. Inversement le développement d'un bien de grande consommation va demander un important respect des délais et une forte réactivité. Autre exemple, si les techniques ad hoc ne font pas partie de la culture et de la formation d'un ingénieur, alors son implication dans des séances de créativité ou dans un groupe de recherche intensive de concepts ne sera pas suffisante pour apporter des résultats concrets. Rappelons qu'il est difficile et coûteux en temps de changer une organisation et des habitudes de travail. Dans cette logique, une proposition clé du consortium ODD est d'adapter et de moduler la méthode de conception en regard du contexte du projet.

### **6.3 Conclusion et perspectives sur les méthodes d'ingénierie**

Ce premier chapitre de synthèse de nos travaux de recherche n'a pas pour objectif d'être exhaustif ou de vouloir figer le débat sur les méthodes de conception. Bien au contraire, il s'agit pour nous de situer le sujet et de cadrer notre domaine de recherche sur la conception intégrée de produits manufacturés. Grâce à l'expérience ODD, nous avons pu constituer un réseau européen de collègues

s'intéressant à l'enseignement de la conception dans son sens le plus classique du terme avec toutefois une volonté certaine d'innovation pédagogique via l'observation participative, l'apprentissage par l'action, le partage d'expérience et le vécu en contexte industriel.

Ces travaux ont trouvé des prolongements naturels dans les activités comme les projets pédagogiques autour des TICE<sup>19</sup> avec APOLYS, MECAGORA M8 ou encore Campus Numérique Région M2 (paragraphe 2.3). De même, cet intérêt pour l'enseignement de la conception de produits nous a conduit à participer activement au projet européen ASIA Link - PAEDEIA (paragraphe 3.3.1) afin de partager notre savoir-faire et nos compétences pédagogiques avec nos collègues chinois de *Northwestern Polytechnical University* à Xi'an.

A contrario, ces travaux n'ont pas eu pour vocation de développer un thème de recherche en didactique de la conception stricto-sensu. Il a s'agit pour nous de présenter de ce chapitre une partie des activités menées autour du sujet de la conception de produits et en lien avec nos préoccupations scientifiques. Ces points vont donc naturellement faire l'objet des deux prochains chapitres avec d'une part la gestion du cycle de vie des produits et la dynamique des connaissances industrielles d'autre part ; ces thèmes s'entendant bien évidemment toujours dans un contexte de conception intégrée.



*Ces travaux ont fait l'objet de plusieurs publications dans une revue nationale et dans le cadre de conférences internationales :*

[11] Charles S., Gerson Ph., Eynard B., Ramond B., Green G., Open Dynamic Design: A European Educational Framework, *Revue internationale de CFAO et d'informatique graphique*, vol. 18, n° 3, pp. 367-379, 2003.

[21] Eynard B., Roucoules L., PLM Education in Europe and China, *International Seminar on China-Europe Engineering Education - CEEE 2005*, Chongqing, China, November 6-8, 2005.

[33] Remond D., Toumine A., Eynard B., Troussier N., Daidié A., Devaujany J.P., Gomes S., Roucoules L., Web education portal for the teaching of mechanical design and manufacturing, *Europe Asia Symposium on Advanced Engineering Design and Manufacture - EASED 2004*, Xi'an, China, April 19-21, 2004.

[37] Gerson P., Charles S., Eynard B., Ramond B., Green G., Open dynamic design: The developments in the industrial world of mechanical engineering based products and some answers from educational institutions, *3ème Colloque International sur la Conception et Production Intégrées - CPI 2003*, Meknès, Maroc, 22-24 octobre 2003.

[38] Eynard B., Ramond B., Green G., Gerson P., First impressions of the relationships between ICED03 and the ODD-project, *International Engineering and Product Design Education Conference - IEPDE 2003*, Dorset, UK, September 10-11, 2003.

[43] Troussier N., Daidié A., DeVaujany J.P., Eynard B., Gomes S., Rémond D., Roucoules L., Toumine A., Exemple d'application des TIC pour un projet de création de support pédagogique, *Colloque International des Technologies de l'Information et de la Communication dans les Enseignements d'ingénieurs et dans l'industrie – TICE 2002*, Lyon, France, 13-15 novembre 2002.

[50] Eynard B., Ramond B., Gerson Ph., Green G., Comparatif des pratiques industrielles en ingénierie de produits mécaniques, *2ème Colloque International sur la Conception et Production Intégrées - CPI 2001*, Fès, Maroc, 24-26 octobre 2001.

<sup>19</sup> Technologies de l'Information et de la Communication en Enseignement

## 7 Gestion du cycle de vie des produits

Après avoir fortement rationalisé et optimisé l'outil de production, les grands groupes industriels cherchent désormais à obtenir de nouveaux gains de productivité et à améliorer leurs performances au niveau des processus de développement de produits. Dans cette logique, ces groupes s'intéressent à la gestion de la matière d'œuvre de l'ingénierie (les données techniques) et s'orientent vers une meilleure maîtrise du patrimoine informationnel qu'elle représente. Les principales entreprises du secteur aéronautique et spatial ou encore automobile se positionnent en tant que précurseur et chef de file dans ce domaine avec le déploiement de systèmes de gestion de données techniques (SGDT), de définition collaborative des produits ou de gestion de leurs cycles de vie (CIMdata, 2003). A ce titre de nombreux projets européens ont permis à ces entreprises l'évaluation, le test et la validation de plates-formes qui sont maintenant en cours de mise en œuvre (Braudel *et al.*, 2001, VIVACE, 2005).

Les SGDT permettent de structurer l'ensemble des données d'ingénierie et offrent désormais une couverture ou une interaction fonctionnelle importante des différents processus d'entreprise. Nés au milieu des années 80 pour répondre aux problèmes de contrôle des mises à jour des modèles CAO, les SGDT ont évolué petit à petit vers une gestion de toutes les références informationnelles d'un produit couvrant l'ensemble du cycle de vie depuis l'expression du besoin jusqu'au retrait du marché. Ils assurent un grand nombre de fonctionnalités (Maurino, 1995, Randoing, 1995) dont les plus courantes sont :

- le référencement, l'organisation et le stockage-archivage des données suivant une typologie définie par l'utilisateur (nomenclatures, plans, dessins, gammes, notices techniques, etc.) ;
- le partage, la diffusion et la sécurisation des fichiers tout en contrôlant la disponibilité en fonction des sites, des services, des groupes ou des personnes et les autorisations d'accès pour consultation, modification, validation ou destruction des données ;
- la distribution informationnelle (workflow) suivant le traitement des dossiers, les procédures qualité et la planification du projet établis par l'entreprise.

L'évolution actuelle des SGDT s'oriente vers des solutions de gestion du cycle de vie des produits mieux connues sous l'anglicisme *Product Lifecycle Management* - PLM (Debaecker, 2004, Saaksvuori & Immoen, 2004, Stark *et al.*, 2004). Une des définitions communément admise pour le PLM est : *A strategic business approach that applies a consistent set of business solution in support of the collaborative creation, management, dissemination, and use of product definition information across the extended enterprise from concept to end of life - integrating people, processes, business systems, and information* (CIMdata, 2003). Le PLM tend aussi vers une forte intégration et interopérabilité avec les progiciels ERP - *Enterprise Resource Planning*, SCM - *Supply Chain Management* et CRM - *Customer Relationship Management* (Kovacs & Paganelli, 2003, Botta-Genoulaz *et al.*, 2005). Sur un autre plan, le PLM s'est fortement développé avec l'apport des technologies de l'information et de la communication pour accentuer leur capacité de gestion et de diffusion des données au sein de l'entreprise ou de réseaux d'entreprises (Liu & Xu, 2001).

Le thème du PLM est actuellement en très forte vogue : création d'une revue spécifique IJPLM<sup>20</sup> ; parution de numéros spéciaux de revues avec RCFAO<sup>21</sup> vol. 18, n°4, 2003, JCISE<sup>22</sup> vol. 4,

<sup>20</sup> <http://www.inderscience.com/ijplm>

<sup>21</sup> <http://rcfao.revuesonline.com/>

<sup>22</sup> <http://asudesign.asu.edu/links/journal/index.html>

n°4, 2004, IJPD<sup>23</sup> vol. 2, n° 1-2, 2005 ; organisation de conférences internationales dédiées PLM'2003<sup>24</sup> et PLM'2005<sup>25</sup> ou encore NordPLM'2006<sup>26</sup> ; et enfin déroulement de sessions thématiques dans de nombreuses conférences internationales comme ASME DETC & CIE, CIRP Lifecycle Engineering, IPSE/CE, ICED, IDMME, INCOM ou encore TMCE. Au-delà de l'effet de mode ou de l'opportunité scientifique et économique (certes parfois bien réel), notre point de vue sur le PLM est qu'il représente un champ de recherche encore très important tant sur les outils et leur intégration et interopérabilité (Morris *et al.*, 2004, Peak *et al.*, 2004) que sur les méthodes à la fois pour leur implémentation et leur exploitation (Helms, 2002, Terzi, 2005).

Nous avons donc développé ce thème du PLM au travers de trois sous-thèmes : les échanges de données techniques de faciliter l'interopérabilité des systèmes ; la gestion des données techniques avec à la fois le déploiement des logiciels et leur utilisation pour fiabiliser et réduire les temps de développement ; et enfin la contribution à l'ingénierie collaborative avec la mise en oeuvre d'environnement web ad hoc pour la conception de produits ou le calcul par éléments finis.

## 7.1 Echange de données techniques

Un des objectifs de base du PLM est de simplifier la communication et le partage d'information entre les acteurs de la conception. Au sein, d'un projet il est nécessaire de pouvoir diffuser et transmettre les travaux de chacun dans un format numérique directement interprétable par les logiciels des partenaires. C'est donc tout naturellement que nous avons orienté un part de nos activités de recherche sur les échanges de données techniques.

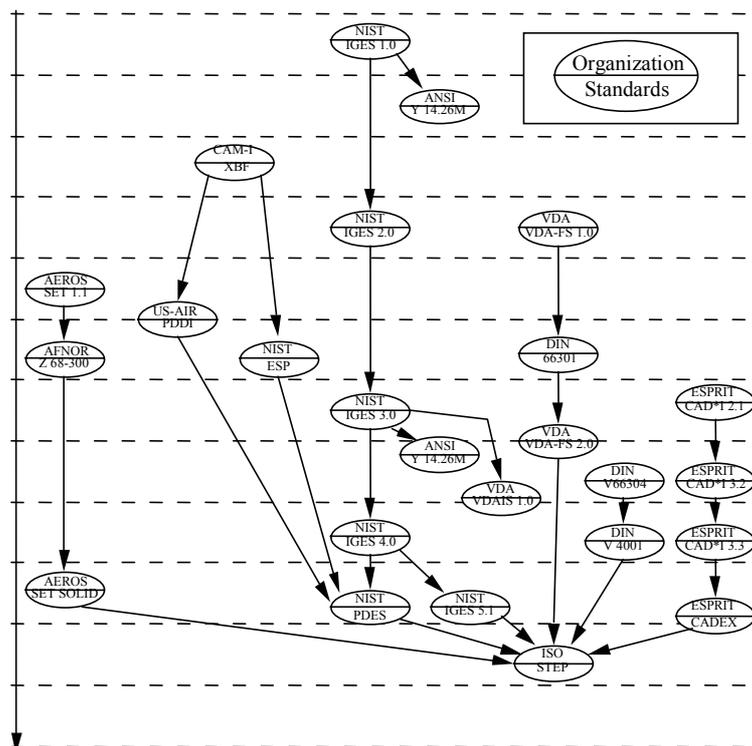


Figure 5 : 25 ans de développement de standard d'échange de données

<sup>23</sup> <http://www.inderscience.com/ijpd>

<sup>24</sup> <http://web.mecheng.iisc.ernet.in/~plm03/>

<sup>25</sup> <http://iutccrral.univ-lyon2.fr/plm05/index.htm>

<sup>26</sup> <http://www.ppd.chalmers.se/m/ppd/nordplm06/>

Un grand nombre de formats et de standards existent et sont disponibles sachant que chaque génération de technologies informatiques tend à rendre les précédents obsolètes. Un panorama de 25 ans de développement des formats neutres d'échange de données CAO rappelle l'ampleur des travaux qui ont été réalisés dans ce domaine (Figure 5). Il montre aussi le relatif consensus qui a pu se faire autour de la norme ISO 10303 STEP (*Standard for the Exchange of Product model data* - ISO 10303-1, 1994, Pratt, 2005).

Arrivée à maturité au milieu des années 90, cette norme s'est peu à peu imposée comme leader dans le domaine de la CAO notamment avec l'intégration d'une interface standard dans la plupart de ces logiciels sous notamment l'impulsion des industries automobile et aéronautique. Cependant dans des domaines comme le calcul de structures, la démarche de standardisation a été plus tardive. Ce n'est que récemment qu'un protocole d'application à part entière a été proposé (ISO 10303-209, 2001, Charles *et al.*, 2005 - [5]). Enfin, concernant le transfert de modèles CAO paramétrés et avec historique de construction, la norme STEP propose désormais des éléments tangibles (Charles *et al.*, 2003 - [10], Pratt, 2004) qui restent encore à implémenter de manière industrielle dans les logiciels.

Dans le cadre des échanges de données techniques, ces deux sujets particuliers ont fait l'objet de nos centres d'intérêt au cours de ces quatre dernières années.

### **7.1.1 Echanges de fichiers éléments finis**

La diversité et le nombre de logiciels disponibles sur le marché de la CAO et du calcul posent de grandes difficultés en matière d'échange de données au point qu'il est devenu essentiel d'uniformiser et de simplifier ces échanges. Il faut pour cela se munir d'un format neutre, pérenne, évolutif qui balaie un large éventail de domaines d'application. La norme STEP propose un format de donnée qui vise à répondre à ces attentes (Bloor & Owen, 1991, Bouazza, 1995, Chambolle, 1999). En effet, cette norme permet de traiter la représentation et l'échange de modèles de produits en couvrant l'intégralité de leur cycle de vie dans un grand nombre de champs d'applications (mécanique, architecture et génie civil, électronique, construction navale, etc.).

Fort de ce constat, il nous a semblé intéressant d'étudier le protocole d'application dédié au calcul de structures afin de voir s'il répond aux attentes communes de la CAO et de la simulation numérique.

#### **7.1.1.1 Echange de données CAO et EF**

Pour tester les performances de formats issus de la normalisation STEP, l'AP203 pour les modèles CAO (ISO 10303-203, 1994) et l'AP209 pour les données éléments finis (ISO 10303-209, 2001) comme standard d'échange de données au sien d'un projet d'ingénierie mécanique, un scénario industriel d'expérimentation impliquant deux partenaires géographiquement distants (P1 et P2), a été défini. La démarche de travail globale était la suivante :

- récupérer la géométrie de deux modèles de pièces différents issus du même assemblage, une aube de compresseur pour P2 et le support correspondant pour P1 ;
- définir conjointement les conditions de maillage et de chargement ;
- modéliser les maillages, les chargements et les conditions aux limites sur les modèles géométriques (étudier éventuellement la conversion du format AP203 en format AP209) ;
- réaliser un échange mutuel des pièces pré-traitées (étudier l'utilisation de l'AP209 comme support d'échange) ;
- réaliser chez P2 le calcul par éléments finis de l'assemblage de l'aube traitée par P2 avec le support traité par P1 ;
- réaliser chez P1 le calcul de l'assemblage du support traité par P1 avec l'aube traitée par P2 ;

- comparer les résultats pour conclure sur la faisabilité de ce type de travail collaboratif.

La Figure 6 décrit le scénario d'échange de données et d'exécution distribuée de calcul entre les partenaires P1 et P2.

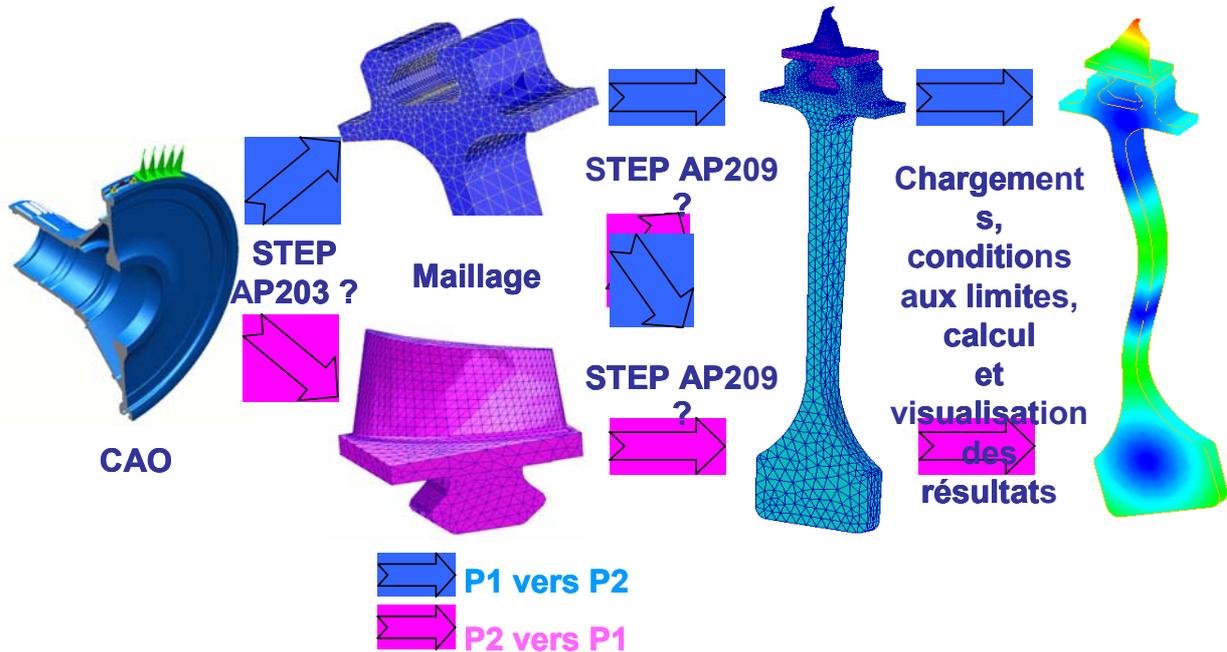


Figure 6 : Scénario d'échange de données CAO et Calcul

### 7.1.1.2 STEP AP209

Les protocoles d'application (AP) de STEP représentent les modèles de données spécifiques et exploitables pour un domaine d'activité industriel ou un métier et pour à une phase du cycle de vie d'un produit issu de ce domaine (Palmer & Gilbert, 1998, Hardwick *et al.*, 2000). Le protocole d'application AP209 propose un format complet et évolutif pour les données issues de logiciels de calcul de structures (Hunten, 2000). L'AP209 est dédié aux échanges en matière de conception mécanique et de calcul de structures pour des métaux homogènes ou des matériaux composites isotropes ou anisotropes avec ou sans informations relatives au modèle 3D associé. Ce protocole prend en compte les données géométriques des produits, les données d'assemblage des pièces, les modèles de calculs par éléments finis associés, les propriétés des matériaux et les résultats des calculs (Charles *et al.*, 2003 - [71]).

L'AP209 intègre aussi un large éventail de données propres au calcul de structures et aux méthodes éléments finis et prévoit un grand nombre de cas de chargement et de propriétés de matériau. Cependant, rien ne garantit son efficacité en raison du faible nombre de retour d'expérience dont il a fait l'objet en terme d'implémentation. La jeunesse de ce format combinée à une mise en oeuvre relativement rare dans les logiciels dédiés à la CAO et au calcul ont fait que STEP AP209 demeure encore peu utilisé par l'industrie. Afin de vérifier les performances et la fiabilité de ce format que nous avons eu recours à la réalisation de cas tests pour le compte d'une entreprise aéronautique.

### 7.1.1.3 Développement de cas-tests

Les cas-tests réalisés avaient deux préoccupations majeures. La première concernait l'utilisation du protocole d'application STEP AP203 en tant que format neutre d'échange d'informations géométriques entre les logiciels Catia (CAO) et Patran (pré-traitement). La seconde portait sur l'échange de données de pré-traitement à l'aide du format neutre STEP AP209. Comme que l'AP 203

a déjà fait l'objet de nombreuses études en CAO (Féru & Viel, 1998), il nous semble plus judicieux de nous concentrer sur l'AP209.

Samcef, un des logiciels de calcul utilisé dans le scénario d'échange de fichiers pré-traités entre les partenaires, ne propose pas d'interface de lecture et d'écriture de fichier STEP AP209. Nous avons donc eu recours à Patran pour écrire les données de pré-traitement des tests et au développement d'un utilitaire de conversion STEP AP209 / Samcef pour récupérer ces mêmes données. Le but de cet utilitaire est de démontrer la faisabilité de l'échange de données pré-traitées sur la base de l'AP209 de la norme STEP. Dans ces cas test, seules les données les plus pertinentes et les plus représentatives des préoccupations des spécialistes du calcul de structures ont été retenues pour notre étude. Ainsi le convertisseur prend en compte principalement les informations propres aux nœuds, mailles, propriétés des matériaux, conditions aux limites et chargements.

Un nombre suffisant de cas-tests ont été réalisés afin d'être en mesure de conclure sur l'efficacité de l'AP209. Des conversions ont été effectuées sur des fichiers STEP AP209 de pièces de compresseur dont le type de maillage et de chargement diffère, tout d'abord sur une aube puis sur une section de son disque support. Les modèles 3D de ces pièces ont préalablement été convertis et exportés en STEP AP209 par le logiciel de pré-traitement Patran. L'étape suivante des cas-tests consiste à convertir les fichiers STEP AP209 de l'aube et du disque aux formats natifs des logiciels de pré-traitement des deux partenaires et d'en vérifier la qualité.

#### 7.1.1.4 Analyse des résultats

Les résultats des cas-tests ont permis de mettre en avant les principales difficultés d'implémentation de l'AP209 et le coût en terme de temps des conversions de format.

Les modèles 3D des fichiers récupérés lors des premiers essais présentaient des incohérences au niveau de la représentation des mailles. Les nœuds semblaient correctement positionnés étant donné qu'ils respectaient la topologie des mailles, mais les arrêtes les reliant étaient distordues au point que les éléments étaient difformes. Le problème venait du fait que les règles de STEP régissant l'ordre d'énumération des nœuds dans une maille sont différentes de celles de Samcef. L'origine possible de cette différence est que l'élaboration de la norme STEP AP209 n'est pas le fruit d'une collaboration de toutes les sociétés commercialisant des logiciels de calcul, mais plutôt le résultat d'un consortium américain restreint (MSC, Boeing, Lockheed Martin, etc). Ceci peut expliquer pourquoi les règles d'ordonnancement sont adaptées à Patran (utilisé à l'époque par Boeing) et faiblement compatibles avec Samcef. Ainsi, il y a de fortes chances que ce problème de conversion ne soit pas seulement lié à Samcef et qu'il se reproduise dans d'autres cas de figure et pour d'autres logiciels de calcul.

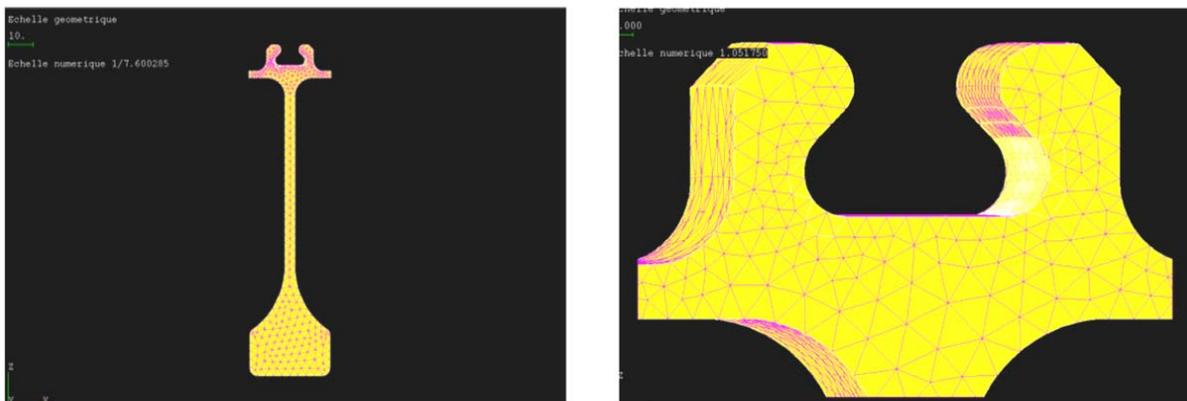


Figure 7 : Visualisation sous Samcef d'une section du disque après conversion

Une relecture détaillée du fascicule 104 (ressource intégrée applicative du calcul par éléments finis - ISO 10303-104, 2000) de la norme STEP nous a permis de remédier à ce problème en établissant une correspondance avec le format natif Samcef que nous avons ensuite implémentée dans le convertisseur. Suite à ces modifications, les résultats d'échanges sont devenus concluants comme en témoigne la capture d'écran du maillage d'une portion de disque support d'aube de la Figure 7 (à titre indicatif, ce modèle comporte 15000 mailles tétraédriques, 5000 mailles triangulaires et 25000 nœuds environ).

La réorganisation des nœuds dans les mailles n'apporte pas seulement des difficultés d'implémentation supplémentaires. Elle est également coûteuse en temps puisqu'elle doit être opérée sur chaque élément du maillage (ce qui se chiffre en minutes pour le cas du disque). Les temps de conversion assez importants sont l'autre point essentiel qui est ressorti de cette étude. Un fichier STEP AP209 est très souvent plus volumineux que le format natif dont il est issu, ce qui fait que sa lecture et donc la récupération des données demandent plus de temps. La norme STEP prend en compte de nombreuses informations annexes aux données techniques et la syntaxe de ces dernières n'est pas très concise car élaborée pour être interprétable par l'homme et pas uniquement par la machine. Ce choix syntaxique reste discutable car il contribue à rendre ce format plus lourd à convertir et à échanger sans pour autant l'enrichir véritablement vis-à-vis des stricts besoins des spécialistes du calcul ; si ce n'est en terme de lisibilité et d'appropriation. Toutefois ce dernier point dépasse le simple cadre des échanges de données éléments finis.

#### **7.1.1.5 Synthèse**

L'étude réalisée a été riche en enseignements dans la mesure où elle nous a notamment permis de nous confronter aux difficultés d'implémentation de la norme STEP sur un domaine encore peu exploré i.e. le calcul de structures. Le point principalement ressorti cette étude est la relative lourdeur d'intégration d'une interface STEP. Le grand nombre de concepts et d'informations comportés par la norme fait qu'elle demeure assez complexe à appréhender sans une certaine connaissance du sujet. L'autre difficulté réside dans le fait que STEP n'est pas adaptée à tous les types de représentations de maillages et structuration des données associées comme le montre les problèmes rencontrés pour Samcef. Ceci peut impliquer un effort d'adaptation et d'implémentation pouvant se révéler coûteux en temps. Les fichiers STEP, de part le grand nombre de données qu'ils contiennent, sont souvent assez volumineux, surtout en calcul de structures, alors que leur taille pourrait être réduite sans pour autant dégrader les informations qu'ils manipulent en utilisant simplement une syntaxe plus concise.

Bien que l'AP209 puisse être considéré par certains aspects, notamment d'implémentation, imparfait, il ne faut toutefois pas perdre de vue que les cas test réalisés ont concrètement démontré son efficacité et sa fiabilité d'utilisation. De ce fait, le protocole d'application 209 de STEP peut répondre aux attentes industrielles en matière d'échange de données de calcul. Il ne faut également pas perdre de vue le fait que le format STEP AP209 est encore relativement récent puisque qu'il a atteint le statut de norme internationale ISO en 2001.

#### **7.1.2 Echanges de modèles CAO paramétrés**

Après le domaine des échanges de données appliquées au calcul de structures, nous nous sommes intéressés à un sujet encore plus novateur avec l'interopérabilité de modèles CAO paramétrés. Auparavant, les transferts de données au format neutre se bornaient à l'échange de modèles géométriques figés (ou dit « morts ») pour lesquels il était impossible de modifier les dimensions de la pièce ou de changer les paramètres de certaines opérations (par exemple la profondeur d'un trou borgne).

Toujours dans une approche PLM et avec le même souci de simplifier le partage d'information au sien des équipes de projet, il est intéressant d'échanger des fichiers CAO « complets » et directement réutilisables afin d'éviter les pertes de temps dans la reconstruction ou la manipulation de modèles. Ces gains de temps peuvent alors être alloués à des tâches plus productives que la simple récupération de données. De plus, les habitudes et les pratiques des concepteurs ont fortement évolué ces dernières années avec la généralisation dans les logiciels CAO de fonctionnalités telles que les arborescences de modèles et les historiques de constructions auxquelles les formats neutres ne sont pas adaptés.

Dans les paragraphes suivants, nous présentons les différents types de données qu'il serait pertinent d'intégrer à un format neutre STEP en regard des nouveaux modes de travail et pratiques d'ingénierie.

### **7.1.2.1 Historique de construction**

Les modèles CAO 3D actuels sont constitués d'un ensemble d'entités géométriques et topologiques « *form features* » (Figure 8) organisées de façon hiérarchique dans un arbre de modèle (Bidarra & Bronsvort, 2000). Cette arborescence constitue en quelque sorte un historique des entités appelées lors de la création d'un objet CAO. La séquence d'emploi de ces entités est symbolisée par des liaisons père - fils entre les composants du modèle ou autrement dit les nœuds. Cet ordre d'énumération est d'une importance capitale. Le déplacement d'un des nœuds de l'arbre peut avoir une forte incidence sur l'ensemble de ses nœuds enfants. Par exemple, un trou qui repose sur une protrusion (il est dans ce cas considéré comme fils de la protrusion) ne peut être parent de cette protrusion si la logique de construction veut être respectée. Toutefois, certains logiciels permettent de créer des géométries vides dans l'espace auquel cas ces entités sont généralement destinées à être fusionnées à de la matière (dans une logique d'opération booléenne).

Dans une réutilisation intensive des fichiers CAO, il paraît pertinent de récupérer les données d'historique de construction pour pouvoir échanger les informations relatives à la démarche ou la logique de modélisation de la pièce par le concepteur. Les dernières évolutions de la norme STEP s'intéressent à l'échange des données relative à l'historique de construction ainsi qu'aux paramètres, contraintes et relations des modèles (ISO, 10303-108, 2003, Charles *et al.*, 2005 - [29]) afin de palier aux problèmes mentionnés lors du transfert de géométries dites « mortes ».

### **7.1.2.2 Paramètres, contraintes et relations**

Afin de créer des modèles 3D qui répondent parfaitement aux besoins de partage intensif de modèles par les concepteurs, il est désormais classique d'avoir recours à l'utilisation de paramètres, de contraintes et de relations entre les entités géométriques et dimensionnelles. Ces éléments sont généralement créés dans le but de garantir que les objets modélisés puissent assurer les fonctions qui leurs sont attribuées. Ainsi, une pièce correctement contrainte peut être échangée avec une relative pérennité entre différents concepteurs et équipes de projet utilisant le même logiciel. Par exemple, si deux plans sont définis comme étant liés par une contrainte de perpendicularité, quelque soient les modifications apportées aux dimensions du modèle géométrique, l'angle de 90° sera conservé.

Ces paramètres, contraintes et relations ont pour objectif d'assurer la cohérence des fichiers échangés. Si un contexte multi-systèmes est considéré, à ce jour aucun format ne permet de partager ces types de données entre des logiciels différents. Les développements récents de la norme STEP semblent prometteurs puisqu'ils s'orientent vers l'échange des données de paramètres, de contraintes et de relations explicites (Pratt *et al.*, 2005). Ce terme « explicite » indique que les paramètres,

contraintes et relations sont précisés par le concepteur et qu'elles ne sont pas le résultat d'une construction géométrique impliquant la création semi-automatique de ceux-ci par le logiciel CAO

### 7.1.2.3 Construction d'esquisse

Les entités de construction des modèles CAO 3D s'appuient la plupart du temps sur des contours 2D appelés esquisses. Ces esquisses sont constituées d'un ensemble d'entités géométriques, dimensionnelles, de contraintes, de relations et quelques fois d'un historique de construction (Figure 8). Lors du passage de cette forme bidimensionnelle à une forme tridimensionnelle certaines contraintes explicites sont perdues. C'est pourquoi, il est intéressant, lors des échanges de données géométriques 3D, de fournir également les esquisses qui sont à son origine. De plus, la façon dont sont modélisées les esquisses reflète assez souvent les intentions du concepteur.

### 7.1.2.4 Modèles CAO paramétrés non figés

Le fascicule 108 de la norme STEP s'intitule « *Parameterization and constraints for explicit geometric product models* » (ISO 10303-108, 2003). Ce fascicule fait partie des ressources intégrées applicatives pour la représentation et les échanges de données techniques. Il a atteint le statut de *Draft International Standard* - DIS sous la référence ISO 10303-108 en février 2003, ce qui signifie qu'il n'était pas à cette date totalement achevé et que par conséquent il serait encore amené à évoluer. Les résultats de l'étude que nous avons menée se sont appuyés sur cette version du fascicule 108.

Il spécifie les représentations générales des données paramétriques et des relations de contraintes établies entre les instances d'un modèle. Le transfert de ces données et de celles relatives aux formes des modèles de type Brep permet une identification des données géométriques clé qui pilotent le comportement d'un fichier transmis au logiciel cible. Il propose également des modèles pour représenter les données de paramétrage des entités et des esquisses. Pour résumer, le fascicule 108 doit à terme fournir des représentations complètes permettant de décrire :

- les paramètres et relations qui associent les entités des esquisses, des pièces et des assemblages,
- les contraintes explicites qui lient les entités géométriques des modèles d'esquisses, de pièces ou d'assemblages,
- les esquisses 2D paramétrées et contraintes utilisées comme éléments de base dans les opérations de modélisation.

Ce fascicule fournit donc les bases nécessaires à l'élaboration d'un protocole d'application dédié aux échanges de données géométriques pouvant intégrer les paramètres, les relations et les contraintes d'un modèle CAO. Il est en parti élaboré pour palier aux limites du protocole d'application AP203 qui est principalement dédié aux échanges de données géométriques 3D (ISO 10303-203, 1994, Féru & Viel, 1998). En effet, ce protocole permet uniquement l'échange de fichiers CAO figés pour lesquels il est impossible de modifier les relations dimensionnelles et les contraintes ce qui limite grandement les possibilités de réutilisation des modèles. Le fascicule 108 sera principalement utilisé, en tant que ressource intégrée, dans la nouvelle version du protocole d'application STEP AP203 Edition 2 (ISO 10303-203-E2, 2000). Ce futur protocole d'application prendra donc en compte les données mentionnées ci-dessus.

### 7.1.2.5 Mise en oeuvre de la ressource intégrée 108

Afin d'évaluer le plus justement possible les capacités offertes par le fascicule 108 de la norme STEP, nous avons eu recours à la réalisation d'un démonstrateur implémentant celui-ci. Dans ce

paragraphe, nous détaillons l'étude menée pour valider les derniers développements en matière de standardisation des échanges de données géométriques paramétrées.

Dans ce démonstrateur, nous voulions tester les possibilités du fascicule 108 de STEP et par la même occasion celles des CAA APIs (*Component Application Architecture - Application Programming Interfaces*) proposées par CATIA V5 (CAA, 2002). Pour cela, nous avons donc développé un convertisseur de fichier STEP AP203 (complété avec les spécifications du fascicule 108) en natif CATIA à l'aide des CAA APIs.

L'implémentation du démonstrateur s'est globalement déroulée de la façon suivante :

- Figure 8);
- analyse des fascicules de la norme STEP en vue d'identifier les données et entités nécessaires à notre travail ;
- étude des CAA APIs pour préciser les classes sur lesquelles nous pouvions nous appuyer pour développer le convertisseur ;
- mise en correspondance des données STEP et des données CATIA ;
- création du fichier STEP relatif au fichier d'esquisse que nous voulions utiliser dans le cadre du démonstrateur. Il était nécessaire de créer ce fichier manuellement car à l'heure actuelle aucun logiciel n'est en mesure d'exporter des données d'esquisse et de contraintes en STEP et conforme au fascicule 108 ;
- implémentation du convertisseur à l'aide de Microsoft Visual C++ et des CAA APIs de CATIA V5 R9 ;
- utilisation du convertisseur pour lire le fichier STEP, convertir les données et les écrire dans un fichier au format natif CATIA : extension CATPart ;
- ouverture du fichier CATPart sous CATIA pour visualisation et vérification de sa conformité vis-à-vis de nos objectifs initiaux.

Différentes entités géométriques composent l'esquisse base de notre étude. Celles-ci permettent d'écrire dans le fichier en respectant les définitions des fascicules 42 (ISO 10303-42, 1994), 108 et 203 de STEP. Nous avons donc pris en compte les entités suivantes :

- Esquisse,
- Repère : origine, axe horizontal, axe vertical,
- Géométrie : point, ligne, cercle.

Les contraintes appliquées à l'esquisse respectant les définitions du fascicule 108 sont les :

- Dimensions paramétrées : longueurs, rayons,
- Contraintes : coïncidence, horizontalité, verticalité, perpendicularité, tangence.

Pour développer le convertisseur, nous nous sommes appuyés sur l'environnement de développement des CAA APIs de CATIA V5 dont nous voulions également tester les capacités. La réalisation d'un démonstrateur fiable et réutilisable dans d'autre contexte a demandé dans un premier temps d'établir une correspondance entre les données (ou objets) CAA APIs et les données (ou entités) STEP.

Afin de clarifier la présentation des résultats de cette étude nous avons formalisé les correspondances entre les entités CATIA et STEP dans plusieurs tableaux. Le but affiché était de pouvoir réaliser un « mapping » permettant de passer de données STEP à des données CATIA et inversement.

Les tableaux 2 et 3 ci-dessous présentent des extraits des tableaux de correspondance relatifs aux entités géométriques et aux contraintes. Le Tableau 2 a été majoritairement défini à l'aide du fascicule 108 statut DIS et des CAA APIs de la version CATIA V5 R9. Dans celui-ci, nous pouvons observer que la plupart des classes CAA APIs trouvent une équivalence dans STEP. Cependant, il

n'existe pas forcément de correspondance entre toutes les classes, et certaines d'entre elles restent non définies dans STEP et réciproquement. Pour certains cas particuliers, il arrive qu'il n'y ait pas d'équivalence logique entre les entités. Par exemple, les contraintes dimensionnelles de longueur et de rayon dans les CAA APIs ne font que préciser que l'entité géométrique désignée doit être accompagnée de l'affichage d'une cote. Alors que dans STEP il est possible de contraindre la dimension d'une entité en précisant sa valeur.

Tableau 2 : Correspondance des entités géométriques

Entités Géométriques CAA APIs	Entités géométriques STEP
<b>Points</b>	
CATISpecObject_var ⇒CreatePoint	CARTESIAN_POINT
<b>Lignes</b>	
CATISpecObject_var ⇒CreateLine	LINE
<b>Cercles</b>	
CATISpecObject_var ⇒CreateCircle	CIRCLE

Tableau 3 : Correspondance des contraintes

Contraintes CAA APIs	Contraintes STEP
<b>Contrainte d'horizontalité et de verticalité</b>	
Cst2DType_Horizontal Cst2DType_Vertical	DIRECTION_GEOMETRIC_CONSTRAINT
<b>Contrainte dimensionnelle</b>	
Cst2DType_Length	CURVE_LENGTH_GEOMETRIC_CONSTRAINT_WITH_DIMENSION
<b>Contrainte de perpendicularité</b>	
Cst2DType_Perpend	PERPENDICULAR_GEOMETRIC_CONSTRAINT
<b>Contrainte de tangence</b>	
Cst2DType_Tangent	TANGENT_GEOMETRIC_CONSTRAINT

### 7.1.2.6 Résultats

Après la mise en œuvre du démonstrateur, il s'agit de vérifier la conformité des résultats vis-à-vis du modèle d'origine. Nous analysons notamment leur adéquation en regard de la conversion des entités géométriques et des contraintes. Les différents tests effectués se révèlent satisfaisants dans l'ensemble comme en témoigne l'exemple Figure 8. Cette figure présente l'ouverture dans CATIA du fichier d'esquisse converti avec le démonstrateur.

L'analyse des résultats nous a fait prendre conscience de certaines différences mineures entre le modèle d'origine et le modèle converti. Nous pouvons pu constater dans un premier temps que les dimensions paramétrées et contraintes se chevauchent parfois, ce qui nuit à leur lisibilité. Leurs placements vis-à-vis des entités géométriques ne sont en aucun cas précisés dans le fichier STEP d'origine, c'est pourquoi ils sont le fruit d'un positionnement par défaut dans CATIA. Dans certains cas, il peut être nécessaire de les déplacer manuellement afin d'en clarifier l'affichage.

Concernant les entités géométriques de l'esquisse, la principale différence réside dans le nombre de points qui était plus important dans le modèle STEP que dans le modèle converti et édité dans CATIA. Ceci est dû au fait que chaque ligne de l'esquisse est décrite par deux points qui correspondent à son point de départ et à son point d'arrivée (nécessaires dans STEP mais pas forcément dans CATIA). Une autre différence mineure se situe dans les numéros ou identifiants des

entités géométriques. Ces numéros indiquent l'ordre de création des géométries (c'est aussi valable pour les contraintes). Ces numéros servent également lors de la création de relations entre les entités géométriques. Ceci pourrait donc poser quelques problèmes dans la cohérence des relations entre plusieurs pièces d'un assemblage. La solution consisterait à indiquer dans le fichier STEP le numéro des entités dans le champ 'nom' des données pour vérifier que l'ordre de création reste le même.

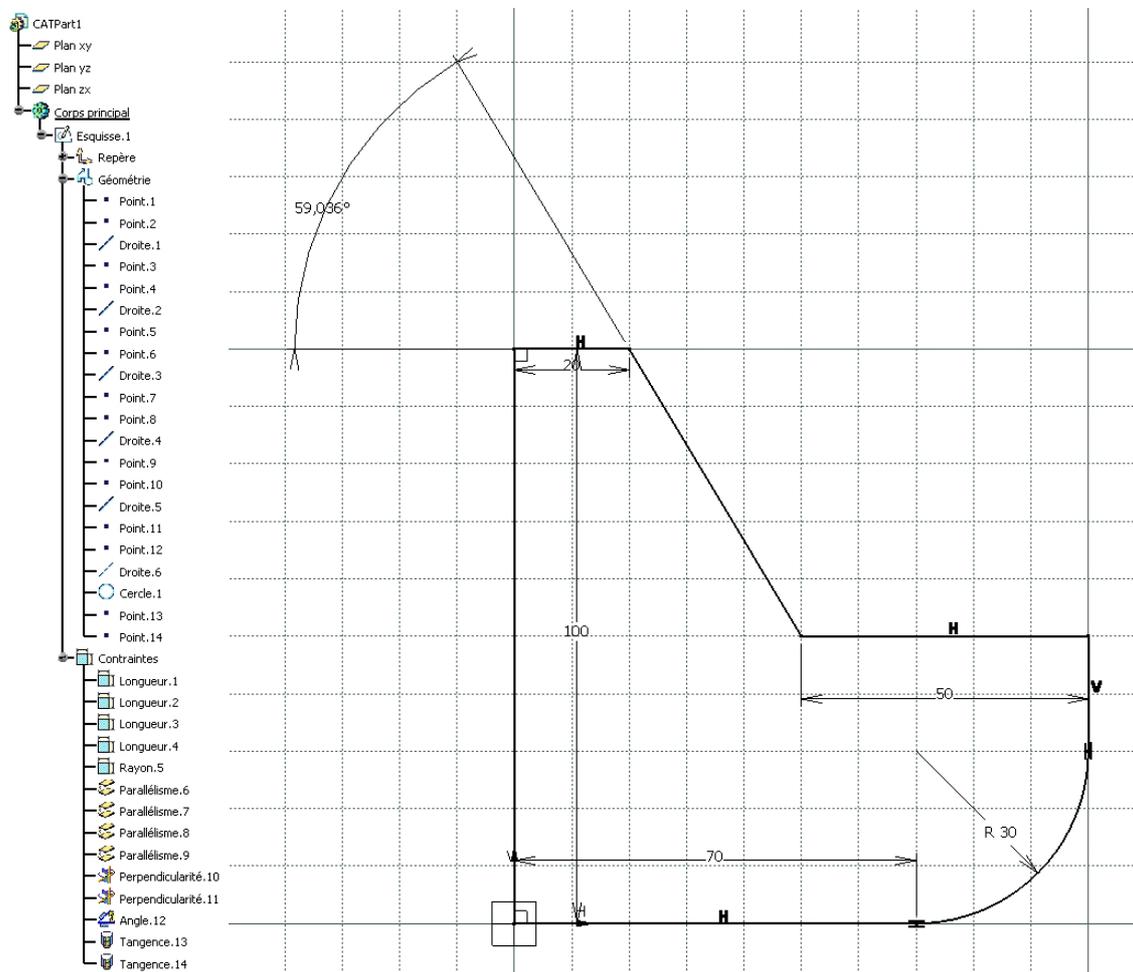


Figure 8 : Visualisation du fichier output.CATPart dans CATIA

Les contraintes, quant à elles, respectent celles du modèle d'origine. Seules les contraintes de coïncidence n'apparaissent pas. Lors de l'élaboration du fichier STEP, nous n'avons pas jugé utile de préciser que les entités géométriques sont reliées entre elles puisque leurs coordonnées sont identiques. Or, il est manifestement nécessaire de le préciser. Pour que l'esquisse soit « ISO contrainte » il faut rajouter ces contraintes de coïncidences. Elles sont relativement importantes, sinon les lignes de l'esquisse peuvent être déplacées sans que les lignes auxquelles elles sont rattachées ne suivent. Nous avons donc enrichi le fichier STEP à l'aide des contraintes de coïncidence pour parfaire la qualité du résultat de la conversion.

En résumé, les tests se sont avérés très concluants dans la mesure où nous avons démontré la possibilité d'échanger des données d'esquisse en s'appuyant sur le fascicule 108 de la norme STEP. Il nous a été possible de générer une géométrie 3D modifiable en créant un volume utilisant le contour de l'esquisse récupérée. Ainsi, nous avons validé l'échange de géométries 3D paramétrées non figées à l'aide des futurs standards proposés par l'ISO. L'implémentation que nous avons réalisée a été faite

avec CATIA mais les notions de paramètres, de relations et de contraintes adressés par les entités STEP du fascicule 108 se retrouve dans la plupart des modeleurs CAO actuels.

### 7.1.2.7 Synthèse

Dans le cadre de ce travail, nous avons souhaité mettre en avant l'apport des nouveaux fascicules de la norme STEP en matière d'échange de modèles géométriques paramétrés non figés. A travers l'étude du fascicule 108 et le développement d'un convertisseur STEP AP203+IR108 vers CATIA V5, nous avons notamment démontré la faisabilité des échanges de fichiers d'esquisse paramétrées incluant les contraintes géométriques. Le modèle récupéré répondait point pour point aux objectifs attendus dans la mesure où les données étaient identiques, à quelques détails près, au fichier d'origine. De plus, tous les éléments récupérés étaient modifiables et manipulables dans CATIA, signifiant que nous avons bien réalisé l'échange de modèle CAO paramétré non figé, ce qui constitue un pas en avant significatif dans ce domaine.

L'implémentation des nouveaux fascicules de STEP dans le futur protocole d'application AP203 Edition 2 pourra faire de cette version du protocole, une solution viable pour répondre à la problématique d'échange de modèles CAO directement réutilisables et modifiables. La simplification de la reprise des fichiers et les gains de temps, qui en découleront, pourront contribuer significativement à l'efficacité des processus de conception. Cette contribution interviendra notamment sur la dimension ingénierie collaborative, qui nécessite des échanges intensifs de données techniques, en éliminant les tâches liées au re-traitement des modèles CAO.

### 7.1.3 Conclusion

Le sujet développé ici est loin d'être clôt car comme mentionné plus haut l'évolution des technologies et langages informatiques fait qu'à chaque nouvelle génération il faut revoir ou repenser les moyens d'échanges de fichier entre logiciels et les stratégies d'interopérabilité entre systèmes. Grâce à ces travaux, nous avons pu asseoir notre savoir-faire quant à la mise en oeuvre de la norme STEP dans des domaines variés comme les échanges de données éléments finis ou les modèles CAO paramétrés. Sur la base de ces résultats plutôt concluants, nous avons développé de nouvelles applications de cette norme. Mentionnons, par exemple, la définition d'un schéma de données s'appuyant donc sur STEP et spécifique au système de gestion des données de simulation : le SDM schema (Charles & Eynard, 2005 - [27]) à l'image du PDM schema pour les SGGT (Zhang *et al.*, 1998, Machner & Ungerer, 1998). Un autre travail réalisé dans ce domaine s'intéresse à la spécification d'une approche d'interfaçage et son implémentation entre différents systèmes XAO (Song *et al.*, 2004 - [32], Song *et al.*, 2005 - [2]). Enfin, soulignons dans ce contexte que la qualité des modèles et la réduction des retraitements des données représentent des enjeux de recherche majeurs.

En terme de perspectives, nous examinons actuellement l'utilisation de format type XML au lieu du classique ASCII pour l'encodage des données STEP ou encore l'interopérabilité direct entre système dans la logique des PDM Enablers. Enfin, ces travaux trouveront des applications dans le cadre du projet RNTL IPPOP (Girard & Eynard, 2004 - [14], paragraphe 8.1.1) et des développements technologiques qui suivront.



*Ces travaux ont fait l'objet de plusieurs publications dans des revues internationales et nationales ainsi que dans le cadre de conférences internationales :*

[2] Song H., Eynard B., Lafon P., Roucoules L., Towards Integration of CAx Systems and a Multiple-View Product Modeller in Mechanical Design, *Acta Polytechnica*, vol. 45, n° 3, pp. 26-31, 2005.

[5] Charles S., Eynard B., Bartholomew P., Paleczny C., Standardisation of the Finite Element Analysis Data Exchanges in Aeronautics Concurrent Engineering, *Journal of Computing and Information Science in Engineering*, vol. 5, n° 1, pp. 63-66, 2005.

[10] Charles S., Eynard B., Ducellier G., Li L., Rakotomamonjy X., Standardisation des échanges de modèles géométriques 3D paramétrés non figés, *Revue Internationale de CFAO et d'Informatique Graphique*, vol. 18, n° 4, pp. 389-407, 2003.

[27] Charles S., Eynard B., Integration of CAD and FEA Data in a PDM Environment: Specification of a STEP Simulation Data Management Schema, *17th IMACS World Congress*, Paris, France, July 11-15, 2005.

[29] Charles S., Ducellier G., Li L., Eynard B., Improvement of 3D Data Exchanges in the Product Lifecycle Management, *International Conference on Product Lifecycle Management – PLM'05*, Lyon, France, July 11-13, 2005.

[32] Song H., Eynard B., Roucoules L., Lafon P., Integration framework for a CAx system and multiple-views product modeller in mechanical design, *4th International Conference on Advanced Engineering Design - AED 2004*, Glasgow, Scotland, UK, September 5-8, 2004.

[42] Eynard B., Charles C., Paleczny C., Gallet T., Echange et gestion de données techniques en ingénierie mécanique chez un motoriste avion, *22ème Conférence Internationale sur la CFAO, le PLM et les Nouvelles Technologies de Conception et de Fabrication - MICAD 2003*, Paris, France, 1-3 avril 2003.

☺ Ces travaux ont été conduits dans le cadre de l'encadrement du doctorat et des DEAs suivants :  
S. Charles, à soutenir fin 2005 ; sujet de la thèse : *Gestion intégrée des données CAO et EF – contribution à la liaison entre conception mécanique et calcul de structures.*

L. Li, septembre 2004 ; titre du mémoire de DEA : *Spécification de procédures pour l'échange de données techniques CAO et GDT.*

S. Charles, septembre 2002 ; titre du mémoire de DEA : *Apport de l'échange de données techniques dans la gestion des codes de calcul* ; il prépare actuellement un doctorat (allocation ministérielle) sous ma direction au LASMIS.

M. Gouel, septembre 2001 ; titre du mémoire de DEA : *Echange de données techniques dans un contexte de conception coopérative et d'entreprise étendue.*

## 7.2 Gestion des données techniques

Toujours sur le thème du PLM, nous avons acquis au cours de ces six dernières années une expertise reconnue dans le domaine des SGDT au travers de différents travaux de recherche (Eynard & Caillaud, 2003 - [92]). Afin d'améliorer la performances des processus métiers dans des contextes d'ingénierie simultanée (Sohlenius, 1992, Prasad, 1996) et d'entreprise étendue (Browne *et al.*, 1995, Jagdev & Browne, 1998), ces systèmes se révèlent désormais incontournables au même titre que la maquette numérique voilà dix ans dans l'automobile (Sadoul, 2000). S'inscrivant dans une logique de généralisation du système d'information d'entreprise (Segarra, 1999, Bacha, 2002), nous nous sommes intéressé plus particulièrement aux bénéfices à attendre de la mise en œuvre et de l'exploitation des SGDT dans les tâches traditionnelles d'ingénierie (représentant la cible fonctionnelle de ces solutions) avec le déploiement de chaînes de conception et d'industrialisation de turbopropulseur (Eynard *et al.*, 2004 - [6]). Une autre application, plus originale cette fois-ci, a porté sur l'évolution des méthodes de travail dans les processus de certification aéronautique en utilisant la capacité de partage et de distribution de l'information de ces systèmes (Eynard *et al.*, 2002 - [48]). L'intégration d'activités de nature créative (conception) d'une part et administrative (certification) d'autre part a offert un champ d'application novateur qui, dans une approche d'ingénierie collaborative, permet d'envisager des gains de performance notables dans des processus aéronautiques standardisés.

### 7.2.1 SGDT et déploiement de chaînes de conception

Nous présentons de ce paragraphe les travaux réalisés sur la spécification, l'implémentation et le déploiement de chaînes de conception et d'industrialisation aéronautique (Gallet, 2003). Nous nommons ici « chaîne » le processus de conception et d'industrialisation d'un produit, piloté par un workflow et assisté d'un SGDT. Notre étude a considéré les chaînes qui concourent aux développements de turbopropulseurs, où nous distinguons :

- les chaînes portant sur des modules majeurs du moteur : fans, compresseurs haute et basse pression, turbines haute et basse pression et la chambre de combustion.
- les chaînes d'intégration qui garantissent la cohérence des modules ci-dessus et qui développent les systèmes transversaux.

La mise en place du concept de « chaînes » a pour objectif d'augmenter la qualité des conceptions et de tracer les choix techniques en « chaînant » les activités d'un processus complexe grâce à un workflow couplé à une structuration arborescente unique du produit (arborescence produit) pour gérer les données techniques. Chaque acteur d'une chaîne peut ainsi, pour chacune de ses tâches, télécharger les données d'entrée nécessaires à la réalisation de son travail. Une fois son activité terminée, cet acteur stocke les fichiers générées dans l'arborescence produit du système VPM-Chaînes (Eynard *et al.*, 2005 - [1]). Le système fournit à l'utilisateur les données nécessaires et suffisantes tout en garantissant leur cohérence. L'utilisateur est donc déchargé des tâches de recherches et de vérifications des données qui sont souvent longues, fastidieuses et sources d'erreurs d'autant plus coûteuses qu'elles sont découvertes tardivement.

Nous proposons ici une méthode de déploiement de nouvelle chaîne de conception et d'industrialisation. Il s'agit de définir une démarche qui permette de maîtriser et fiabiliser la mise en oeuvre des systèmes de gestion de données techniques et de workflow.

#### 7.2.1.1 Modélisation du produit

Afin de structurer et de garantir la cohérence des données techniques, le SGDT modélise le produit sur la base d'une arborescence de méta-données (Figure 9). Celles-ci peuvent être classées en plusieurs types :

- les pièces ou articles : référencés par des méta données structurantes qui permettent de décomposer le produit en sous-ensembles, modules et composants élémentaires (Chen *et al.*, 2004). Ces méta-données contiennent différents attributs comme sa version, son statut dans le cycle de vie, un historique des mises à jour, le nom du propriétaire, etc.
- les documents identifiés par des méta-données spécifiant un ensemble de caractéristiques comme le nom du document, sa version, son statut dans le cycle de vie, le nom du propriétaire, l'emplacement physique du fichier associé (Eloranta *et al.*, 2001).

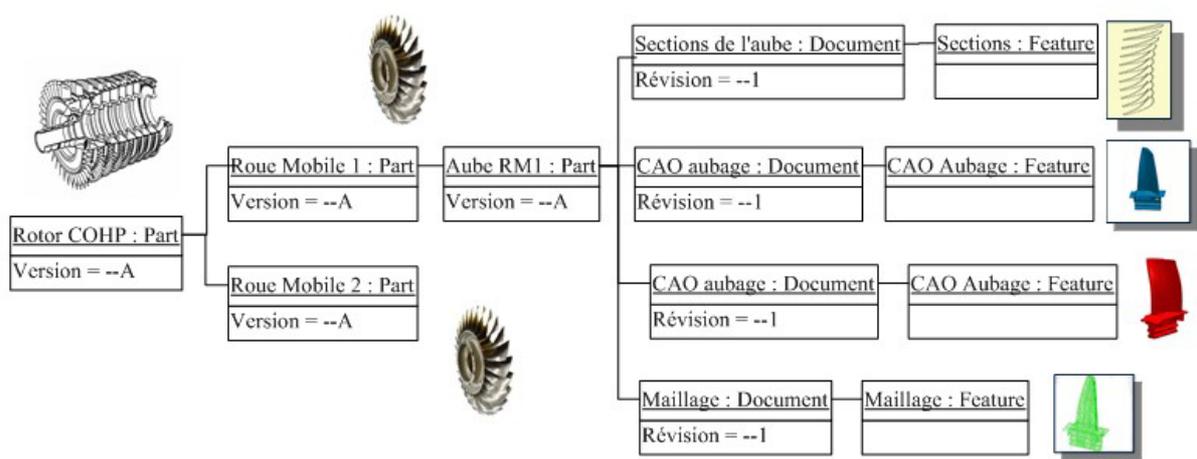


Figure 9 : Arborecence d'un compresseur haute pression de turbopropulseur

A partir de ces éléments, il est possible de décomposer le produit selon une arborescence fonctionnelle, organique, technique, etc. (Maurino, 1995). Bien que la décomposition soit arborescente, la création de liens transversaux est envisageable. Ces liens peuvent permettre de maîtriser la propagation d'une modification. Un même produit peut avoir plusieurs décompositions. Classiquement, les SGDT peuvent comporter trois vues arborescentes (Randoing, 1995) :

- une vue « *as designed* » spécifique au bureau d'études,
- une vue « *as manufactured* » dédiée à la production,
- une vue « *as maintained* » pour la maintenance.

Un des intérêts majeurs de ces systèmes réside dans leur capacité à gérer l'évolution des différentes données techniques tout au long de leur cycle de vie, tout en maintenant la cohérence et l'intégrité des informations. Deux mécanismes principaux sont en général disponibles : la révision (ou le versionnement) et la gestion de la maturité.

La révision d'un document permet de créer un nouveau document à partir d'un existant, tout en assurant la traçabilité de l'information. La révision est souvent effectuée pour tracer une évolution mineure du document. Si un changement important survient, il sera préférable de créer une « nouvelle branche » de l'arborescence en effectuant le versionnement en amont du document via une méta-donnée structurante.

La maturité d'un document permet d'évaluer l'impact du dit document dans l'évolution de la définition du produit. Ainsi, un document passe par différents niveaux de maturité ou phases de cycle de vie qui pourront avoir des effets sur d'autres documents (Figure 10).

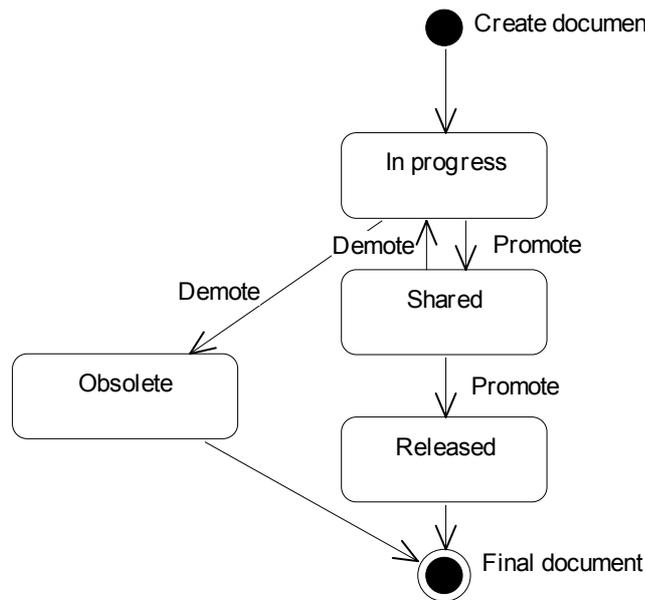


Figure 10 : Exemple de phases du cycle de vie d'un document dans un SGDT

### 7.2.1.2 Modélisation du processus

La plupart des SGDT dispose d'un module de gestion de processus ou workflow. Ce module comprend un outil de modélisation des processus : « *buildtime* », et un outil qui permet d'instancier et de gérer les processus modélisés : « *runtime* » (Saikali, 2001). Bien souvent, ces modules sont issues du monde de la gestion électronique de documents – GED (Eloranta *et al.*, 2001). Ils sont donc bien adaptés à la gestion de modifications mais ils restent incomplets pour gérer un processus de conception global.

La plupart des modules de workflow disponibles sur le marché permettent d'associer un processus de validation à un document. Une généralisation de ces processus de validation est assurée par les modules d'*Engineering Change Management* ou de gestion des modifications (Wright, 1997, Rivière 2004). Le processus générique se décompose en trois grandes phases qui contiennent plusieurs tâches :

- l'*Engineering Change Proposal* qui identifie le problème, étudie la faisabilité de la modification et décide si la modification est industriellement justifiée,
- l'*Engineering Change Investigation* qui explore les répercussions sur l'existant d'une modification et les différentes solutions envisageables,
- l'*Engineering Change Embodiment* qui gère la conception de la nouvelle solution retenue et sa validation.

(Rivière, 2004) souligne qu'un tel processus n'est pas complet. Le processus ne prend pas en compte, dans son chaînage, l'origine de la modification. Aucun indicateur de coût ou d'avancement n'est proposé et le processus est mal adapté à la capitalisation. Enfin, certaines tâches se révèlent difficiles à mener, en particulier l'analyse d'impact.

Les SGDT offrant une base informationnelle sur le produit assez complète, il devrait théoriquement être possible de gérer un processus de conception et d'industrialisation d'une manière tout aussi satisfaisante. Le principe est d'associer un processus à l'ensemble des données techniques et non un processus à une donnée. Il est alors envisageable de faire le lien entre un utilisateur, les données d'entrée et de sortie de son travail contenues dans l'arborescence du produit et sa tâche déclenchée au bon moment par le workflow (Saikali, 2001).

Le déploiement d'un SGDT s'effectue dans un contexte de système d'information d'entreprise qui inclut déjà des dizaines de logiciels métier fort hétérogènes (Zhang *et al.*, 2000, Wang & Zhang, 2002). Le SGDT visant à fédérer les fichiers issus de ces logiciels, la cohérence des liens entre le progiciel et ceux-ci est donc vital. Ainsi l'interopérabilité entre applications se trouve au cœur des préoccupations industrielles qu'il ne faut pas négliger pour un bon succès du déploiement du système (Zhang *et al.*, 1998).

### 7.2.1.3 Méthode de déploiement

Afin d'améliorer les performances et d'assurer la qualité des processus de conception et d'industrialisation, il est nécessaire de structurer la spécification et l'implémentation d'une chaîne (Gallet, 2003). Nous avons proposé une méthode de déploiement d'une nouvelle chaîne composé cinq grandes étapes (Figure 11) ; les phases de modélisation s'appuyant fortement sur le langage UML (Gzara, 2000, Merlo *et al.*, 2005 - [3]) :

- initialisation de la chaîne, définition du périmètre d'étude et mise en place du groupe de projet.
- le recueil du processus de conception et d'industrialisation et l'identification des données d'entrée et de sortie de chaque tâche. Cette étape est réalisée avec l'aide d'un spécialiste des processus et d'un expert de chaque métier intervenant dans la chaîne et de concepteurs qui réalisent chaque tâche élémentaire. A la fin de cette phase, un document synthétique reprend et spécifie toutes les données nécessaires à la mise en place de la chaîne.
- le couplage des logiciels et des codes de calcul. Afin d'obtenir une traçabilité et une qualité maximales, chaque logiciel utilisé lors du processus de conception doit exploiter uniquement les données que l'utilisateur a téléchargé. Pour ce faire, toutes les tâches où intervient un code de calculs doivent être identifiées et les noms génériques de chaque donnée d'entrée et de sortie doivent être normalisés. Le couplage consiste ensuite à permettre au logiciel de connaître le type d'activité à mener en parcourant une liste de données d'entrée, et en autorisant le code de calculs à écrire automatiquement ses données de sortie.
- l'interprétation du recueil de processus et de l'analyse des données en un workflow et une arborescence produit génériques utilisables par le système n'est pas triviale et nécessite de bonnes connaissances du métier et du système à mettre en oeuvre. Cette tâche peut être fortement compromis, si le recueil préalable de processus et des données est mal formalisé. A la fin de cette phase, le progiciel est prêt à être testé.
- la phase de validation, pendant laquelle un certain nombre de scénarii est réalisé afin de valider le déploiement du progiciel et de la chaîne. Suivant le nombre de scénarii et la qualité des phases précédentes, cette validation peut être plus ou moins rapide.

Les temps de déploiement dépendent du nombre de personnes mises à contribution, de la disponibilité des différents acteurs et du nombre de couplages sous-traités. Une durée de trois mois pour une chaîne complète paraît être un minimum. Soulignons que les deux dernières macro activités (couplage et implémentation) peuvent être réalisées en parallèle ; elles nécessitent toutes deux que les recueils de processus et de données soient achevés.

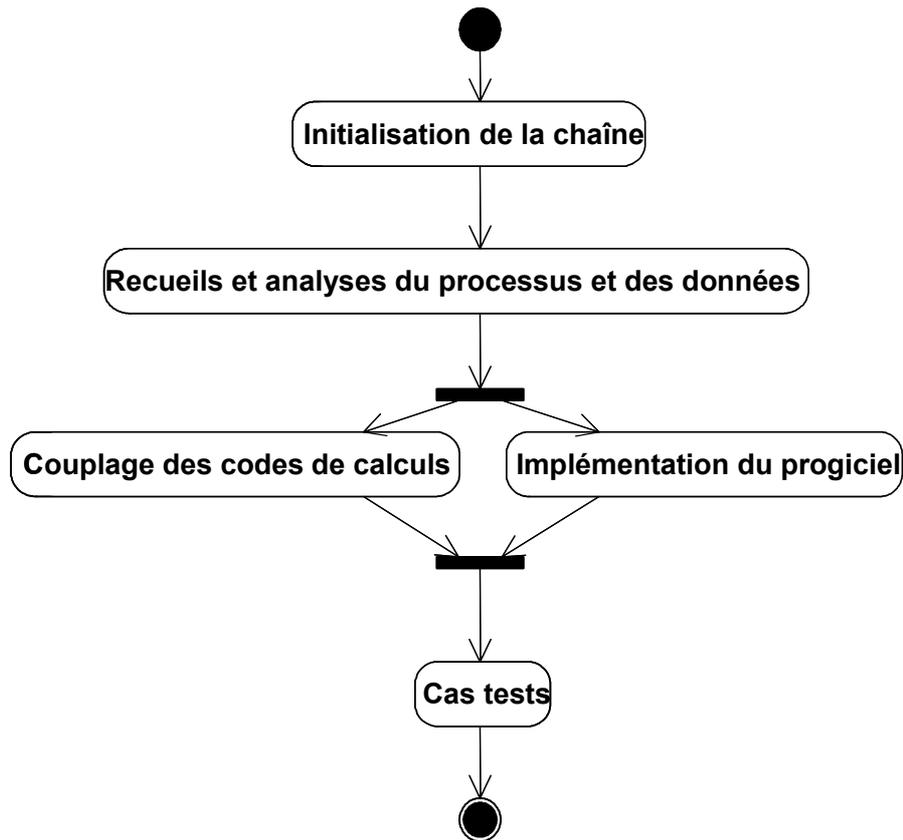


Figure 11 : Diagramme d'activité du déploiement d'une chaîne type

#### 7.2.1.4 Synthèse

Un des points forts de la méthode proposée est l'exploitation de la plupart des diagrammes du langage UML (cas d'utilisation, classes, états/transitions, activités, séquences – Booch *et al.*, 1999) qui offrent une grande complémentarité et une souplesse de modélisation du système d'information à implémenter. La méthode s'apparente aussi au démarche de *Business Process Reengineering* afin de bien comprendre l'organisation et le fonctionnement du système industriel considéré (Doumeingts & Browne 1996, Vernadat 1999). La qualité et la pertinence du recueil de données et du processus conditionnent grandement la durée et la complexité de l'implémentation. Enfin, la dimension interopérabilité XAO-SGDT est incontournable (Subrahmanian *et al.*, 2005). Elle doit être gérée avec la plus grande rigueur pour ne pas pénaliser les utilisateurs en phase d'exploitation avec des bogues et défauts de comportement des applications. Sur cette base, le SGDT est susceptible de fournir un support réel à l'ingénierie simultanée et d'assurer une distribution efficace de l'information dans l'entreprise étendue.

Après ce travail sur la mise en œuvre des SGDT dans leur cible fonctionnel conventionnel, nous montrons l'apport de ces systèmes dans une autre phase du cycle de vie du produit i.e. la certification.

#### 7.2.2 SGDT et certification aéronautique

La certification, qui assure la navigabilité et la sécurité d'un produit aéronautique, est une étape obligatoire pour son entrée en service. La certification relative à un avion ou un de ses sous-ensembles (moteur, équipements d'avionique, etc.) est un processus complexe où beaucoup d'informations sont échangées entre de nombreux acteurs concernés par cette étape. Celle-ci doit désormais s'envisager

dans une logique d'entreprise étendue où la traçabilité des documents de certification et la disponibilité de leurs dernières versions possèdent une importance majeure. Rappelons que les SGDT peuvent assurer un déploiement efficace et pérenne des concepts (coûts, délais, qualité, performance, innovation) mis en avant par les approches d'ingénierie simultanée et d'entreprise étendue qui reflètent bien les caractéristiques d'un processus de certification aéronautique tel qu'il pourra s'entendre dans le futur des développements avions (Pardessus, 2001).

### **7.2.2.1 Conception-certification intégrée**

Actuellement, suivant les recommandations de la Commission Européenne, les pays de l'Union travaillent sur la création d'une seule entité veillant à la sécurité aérienne : *the European Aviation Safety Authority* (EASA). Cette entité aura les pleins pouvoirs pour gouverner les activités de certification à l'intérieur de l'Europe et des pays associés. En adoptant des lois communes et en établissant une autorité indépendante pour la certification des produits aéronautiques, l'Europe se dotera d'un système unique à tous permettant un niveau commun et uniforme de sécurité et de protection environnementale. Grâce à ce système fédérateur, les candidats à la certification de produits aéronautiques n'auront qu'une seule série de procédures à suivre.

Afin de parvenir à réduire les coûts et les cycles de développement et d'étudier les possibles améliorations des processus de certification avec l'implémentation d'un SGDT, un scénario a été défini avec les objectifs suivants (Carratt *et al.*, 2001 - [51]) :

- gérer les données de conception et de certification
  - organiser et fédérer ces données ;
  - structurer et assurer les échanges d'information à partir de ces données.
- aider à réduire les délais et les coûts de certification :
  - assurer la cohérence et l'intégrité des informations ;
  - permettre l'élaboration d'hypothèses et des retours en arrière ;
  - faciliter la convergence de la certification.
- intégrer les métiers et les méthodes :
  - améliorer la visibilité, la fluidité et la performance des processus ;
  - aider au respect des pratiques et des préconisations de certification.

Le scénario considéré a porté sur un processus intégré de conception-certification d'une pompe à carburant suite à un événement en service sur cet équipement moteur. Cet événement ayant entraîné l'immobilisation au sol des appareils équipés de turbopropulseur intégrant ce composant, il est nécessaire de fournir et certifier une nouvelle solution technique au plus vite afin de limiter l'indisponibilité de la flotte concernée (Carratt, 2002).

### **7.2.2.2 Entreprise étendue et certification des produits**

Dans une approche d'entreprise étendue, nous avons identifié l'ensemble des participants selon le niveau d'implication et le rôle qu'ils ont au cours du processus de certification (Figure 12). Lorsque la décision est prise de proposer au client une nouvelle solution technique suite à la défaillance apparue en service sur la pompe à carburant, les ingénieurs de supportabilité avion interviennent pour faire part de leur expérience sur des événements similaires.

Un cahier des charges est rédigé pour fournir l'ensemble des informations susceptibles d'être prises en compte par les concepteurs pour définir une modification de cet équipement. L'avionneur est lui aussi impacté et devra inclure les conséquences de cette modification dans les gammes de montage-démontage détaillées dans le manuel de maintenance. De même, de nouvelles recommandations seront émises pour la mise à jour des procédures à suivre par le pilote lorsque un événement impliquant ce

type d'équipement surviendra en vol. Cet équipement moteur est produit par un fournisseur qui est aussi responsable de son développement technique. Ceci demande, en phase de conception, la mise en place de réunions de projet à distance entre les deux bureaux d'études, grâce à des applications de partage d'écran, pour examiner et manipuler des données CAO (revue de maquette numérique) mais également des informations techniques intégrant du texte, des images et éventuellement du son.

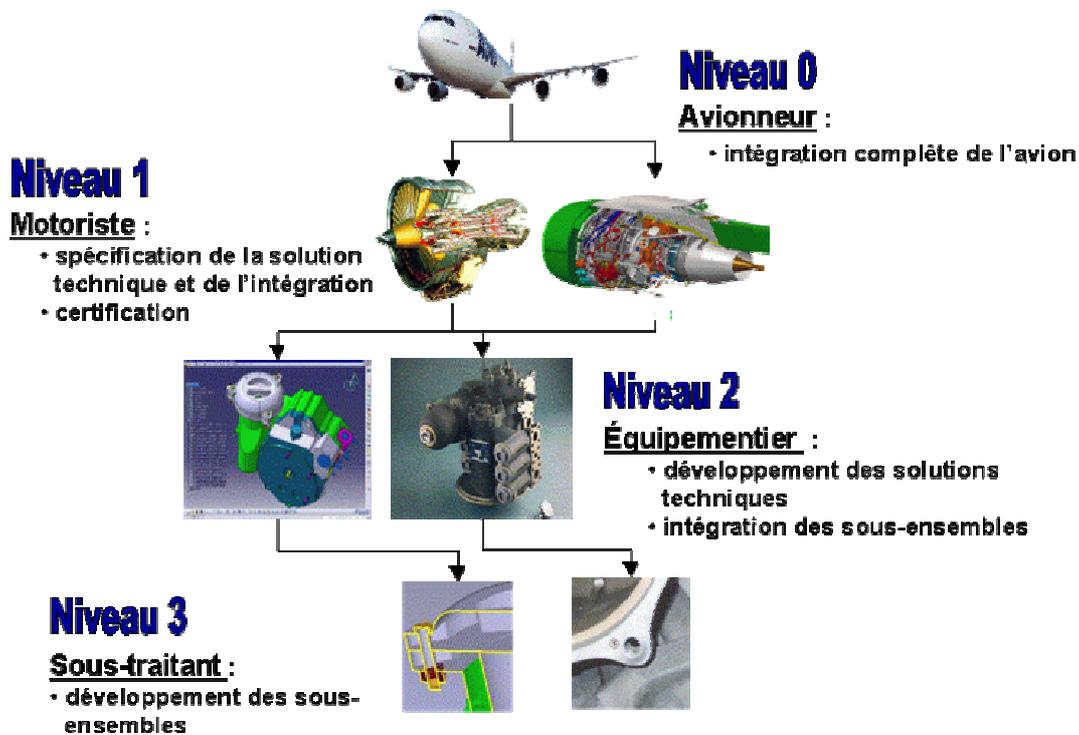


Figure 12 : Scénario d'entreprise étendue pour la certification aéronautique

Ces données sont généralement stockées dans le SGDT du motoriste et peuvent être visualisées à l'aide d'un client dit légère par l'équipementier ou tout autre acteur du projet. Dans cette configuration, les accès distants sont utilisés dès la phase de conception lors de réunions virtuelles de coopération entre l'équipementier et le motoriste pour des revues techniques du produit. Ils permettent une meilleure communication entre acteurs et une réduction des cycles de développement par un plus grand nombre d'actions entreprises plus tôt dans le cycle de développement et durant un espace de temps bien délimité indépendamment de la localisation des intervenants.

### 7.2.2.3 Workflow de certification

Les activités de certification identifiées dans le processus peuvent se transcrire sous la forme d'un workflow, dédié à la gestion de processus administratif, dont le but est d'alléger les activités de nature tertiaire et d'accélérer la distribution d'information entre acteurs (Leyman & Roller, 2000). De plus, celui-ci permet de lier à une activité l'information et les données nécessaires à sa réalisation par l'ensemble des personnes impliquées. Les différentes étapes du processus sont clairement identifiées et ne sont pas sujettes à modification dans le temps. Dans ce cas, il est facile d'automatiser le processus (Scheer, 1999).

Conformément à notre approche présentée au paragraphe 7.2.1, nous avons retenu le langage UML pour modéliser le processus intégré de conception-certification en vue de son implémentation dans un moteur de workflow. (Kettani *et al.*, 1998) ont proposé d'étendre son utilisation à la

description des activités et des processus métiers d'entreprise. Les diagrammes d'UML permet de représenter les processus et dans le cas de workflow à base d'activités de prendre compte l'ensemble des caractéristiques telles que les rôles, les acteurs, les tâches, les événements, les contrôles de flux et les cheminements de données (Marshall, 2000). C'est pourquoi, nous utilisons ce langage dans la description des activités collaboratives identifiées entre acteurs durant l'analyse globale du processus. Ainsi nous pouvons exprimer de façon simple le workflow déduit de cette analyse préalable.

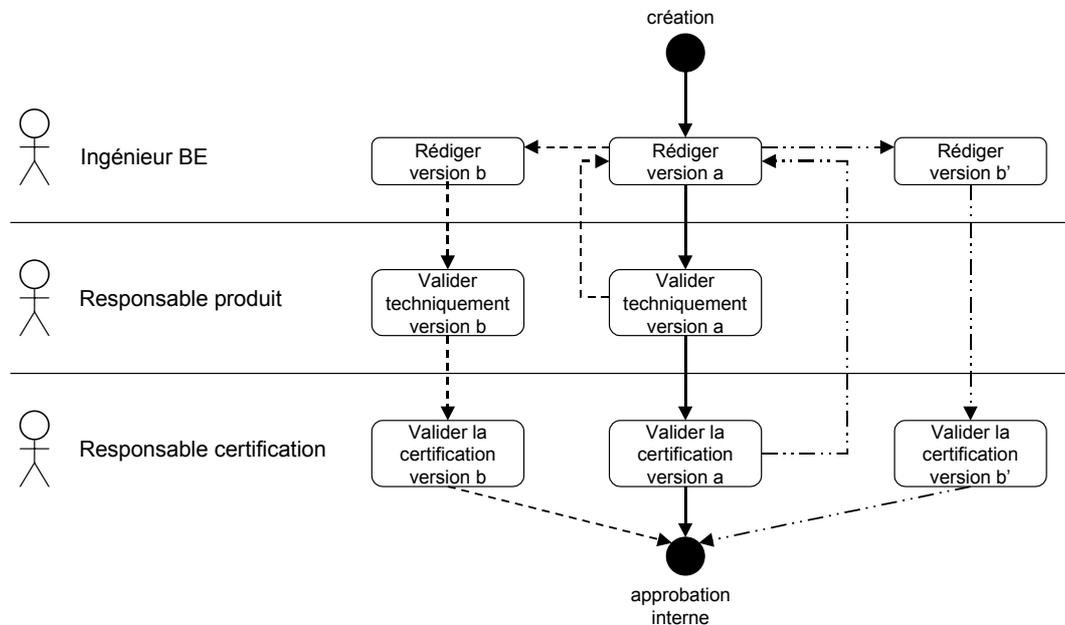


Figure 13 : Diagramme d'états / transitions d'un document de certification

La Figure 13 décrit les différents états d'un rapport de certification, considéré comme un objet dans le langage UML, depuis sa création jusqu'à son approbation. Chaque case représente un état de l'objet et peut être détaillée. Il est ainsi possible d'indiquer la ou les actions déclenchées lors de l'entrée de l'objet dans un état donné. Les activités réalisées sur l'objet tant qu'il est dans cet état et les actions engendrées lorsqu'il le quitte peuvent être décrites. Ainsi, ce diagramme permet de modéliser les états que cet objet peut prendre en fonction de l'occurrence d'événements générés par les acteurs du processus.

La Figure 14 présente la chronologie des messages entre acteurs en fonction de l'état du document dans le processus. Pour ce faire, le diagramme de séquence adopte une notation en forme de lignes de flux, chaque ligne étant associée à un objet représentant un acteur. Les messages sont décrits par des flèches à des niveaux différents entre lignes de flux. Ces messages correspondent à l'appel d'activités des objets destinataires suivant la phase du processus.

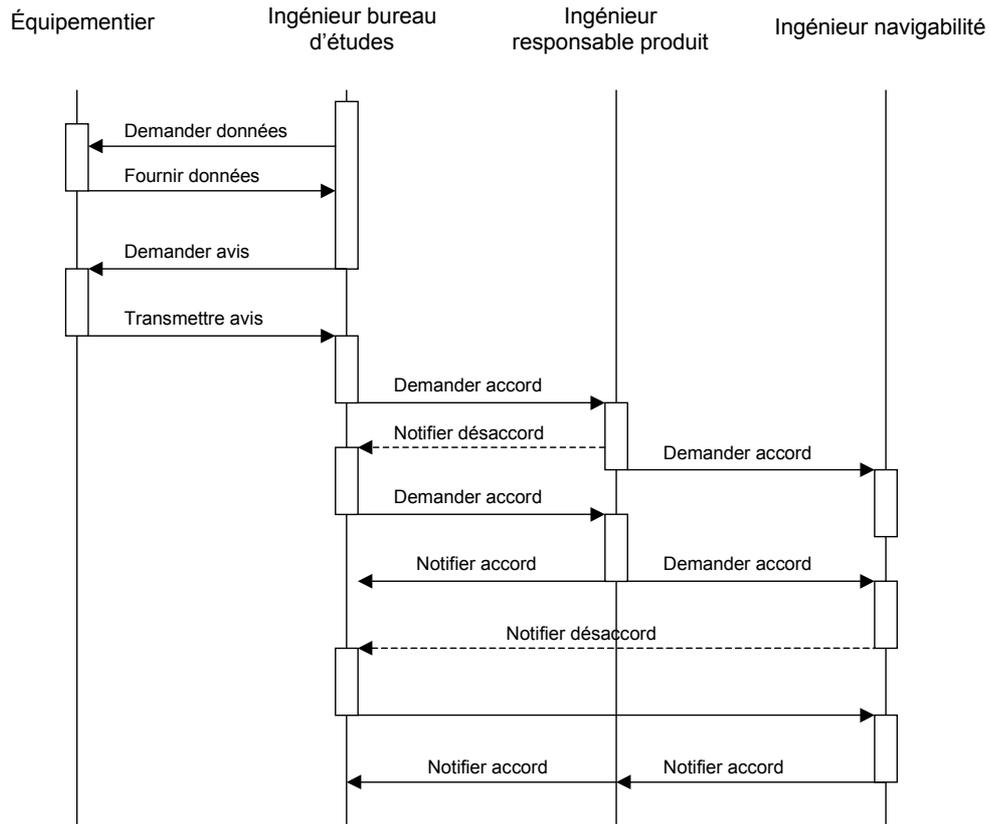


Figure 14 : Diagramme de séquence validation en interne d'un document de certification

#### 7.2.2.4 Gestion et cohérence de l'information

Dans une approche PLM, le maintien de la cohérence et de l'intégrité de l'information est un enjeu majeur afin d'avoir un référentiel unique pour l'ensemble des acteurs d'un projet. L'information est rendue disponible en fonction des droits d'accès attribués à chaque intervenant du processus. Cette disponibilité leur permet d'effectuer les activités propres au projet suivant le temps qui y est alloué et leur charge de travail globale. Pour des actions incluses dans un processus bien défini, il est alors possible de réduire les délais de certification et les coûts associés en vue d'améliorer la réactivité des partenaires dans la réponse finale apportée au client.

L'ensemble des données techniques est centralisé grâce à un serveur sécurisé hébergeant le SGDT qui délivrent entre autre l'arborescence structurelle et documentaire lié au produit avec les modèles CAO, les dossiers d'études et les rapports de certification associés (Figure 15) ainsi que l'historique de leurs différentes versions. L'intégration des documents au sein d'une arborescence fédératrice facilite l'accès et la consultation de l'ensemble des données techniques relatives à une modification précise. Là encore, la mise à jour des versions des fichiers est garantie à travers le suivi de l'évolution et de la maturité des données ainsi que la traçabilité de l'information.

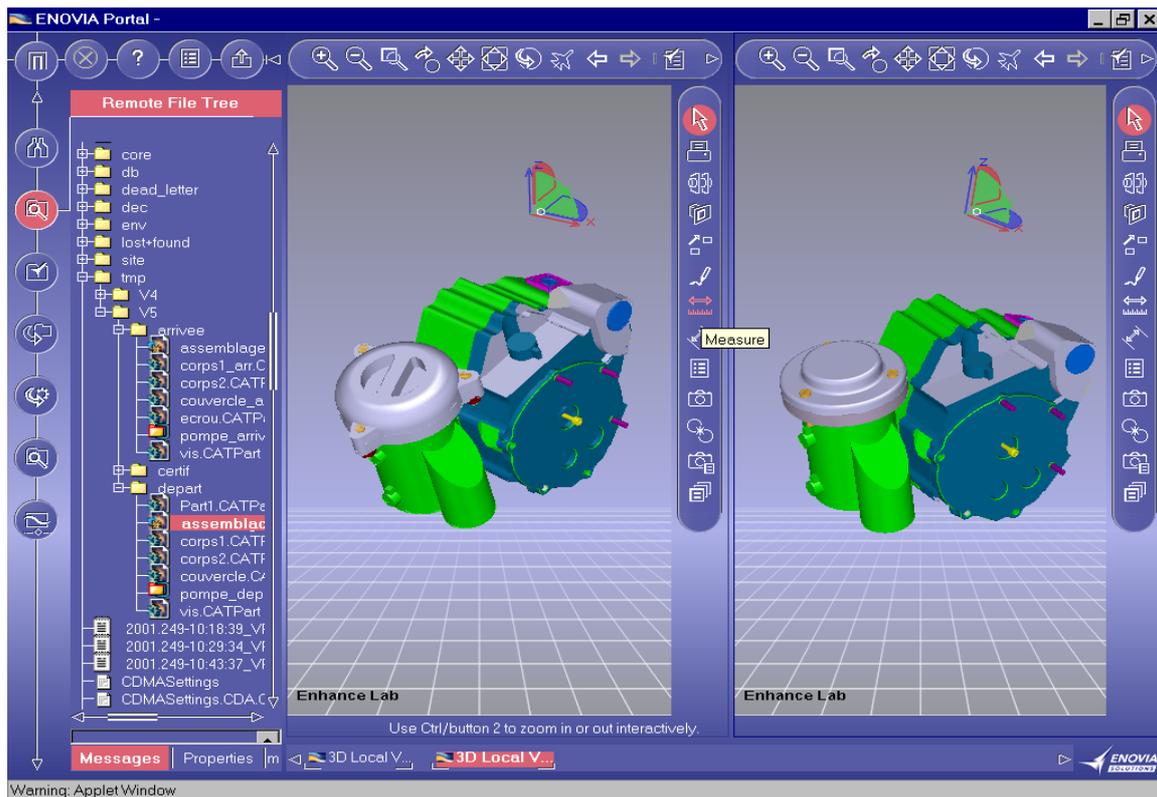


Figure 15 : Arborescence structurelle et visualisation des données liées au produit

### 7.2.2.5 Synthèse

Dans le cadre de ce travail, nous avons démontré l'applicabilité des concepts PLM dans un domaine original intégrant les contraintes de la conception avec une problématique administrative pour la délivrance du certificat de navigabilité. Le contexte d'exploitation des SGDT s'en est trouvé étendu et a prouvé les bénéfices que ces systèmes peuvent apporter dans des activités autres que la pure ingénierie. Des gains de temps ont été obtenus par la simplification et la rationalisation des accès à l'information. La fiabilité et la traçabilité des processus ont été renforcées par la formalisation des étapes clé et une automatisation des tâches routinières de diffusion des documents et de notification d'actions à réaliser. Enfin, l'utilisation systématique de la maquette numérique a permis d'éliminer toute forme d'incompréhension concernant des données techniques tout en élargissant leur audience potentielle.

### 7.2.3 Conclusion

Dans cette deuxième partie de nos recherches consacrées au PLM, nous avons montré l'importance de formaliser l'organisation, les processus et les données qui sont mises en œuvre et manipulés durant les projets d'ingénierie ou plus original comme ceux de certification (domaine spécifique et sensible en aéronautique). Le seul SGDT ne se suffit pas en lui-même pour gérer les informations techniques, il est nécessaire de définir une méthode de travail et de former les futurs utilisateurs, de préparer les diverses intégrations logicielles (XAO) et de prévoir l'évolution globale du système d'information de l'entreprise notamment en regard d'une interopérabilité renforcée avec les ERP et les SCM (Terzi, 2005). Dernier point incontournable, qui est ressorti de notre expérience, il s'agit du besoin de bien prendre en compte et d'accompagner les acteurs du projet qui exploiteront le système à terme et à qui il sera demandé une certaine adaptation des usages et pratiques de travail. Mais

cet effort d'adaptation devra contrebalancer par le bénéfice global qui sera obtenu dans la réalisation du projet et la simplification directe ou indirecte des tâches de l'utilisateur.

En terme de perspectives, la définition de modèles et de processus standards permettant de fiabiliser et de rationaliser les activités PLM représente selon nous une orientation à ne pas négliger afin de proposer des référentiels et cadres méthodologiques.

Un autre sujet en lien avec les usages et pratiques de conception est celui de l'ingénierie collaborative qui demande aux acteurs du projet un organisation distribuée et un mode de travail distant bien spécifique. Au cours d'études sur les CSCW (*Computer Supported Cooperative Work*) appliqués en conception, nous avons analysé les besoins et les développements nécessaires autour de ces environnements que nous présentons au paragraphe suivant.



*Ces travaux ont fait l'objet de plusieurs publications dans des revues internationales et dans le cadre de conférences internationales ainsi que de la coordination d'un numéro spécial de revue nationale :*

[1] Eynard B., Gallet T., Roucoules L., Ducellier G., PDM System Implementation based on UML, *Mathematics and Computers in Simulation*, vol. 70, n° 5-6, pp. 247-442, 2006.

[3] Merlo C., Eynard B., Girard Ph., Odinot A., Gallet T., Compared Implementations of PDM Systems based on UML Specifications, *International Journal of Product Lifecycle Management*, vol. 1, n° 1, pp. 52-69, 2005.

[6] Eynard B., Gallet T., Nowak P., Roucoules L., UML based Specifications of PDM Product Structure and Workflow, *Computers in Industry*, vol. 55, n° 3, pp. 301-316, 2004.

[25] Eynard B., Merlo C., Pol G., Towards PLM Implementation Method in SME, *International Conference on Engineering Design – ICED'05*, Melbourne, Australia, August 15-18, 2005.

[40] Nowak P., Merlo C., Eynard B., Gallet T., From design process specification towards PDM workflow configuration, *13th International Conference on Engineering Design – ICED'03*, Stockholm, Sweden, August 19-21, 2003.

[48] Eynard B., Merlo C., Carratt B., Aeronautics Product Development and Certification Workflow based on Process Modelling, *8th International Conference on Concurrent Enterprising - ICE 2002*, Roma, Italy, June 17-19, 2002.

[92] Eynard B., Caillaud E., De l'échange de données techniques au PLM, *Revue Internationale de CFAO et d'Informatique Graphique*, vol. 18, n° 4, ISBN 2-7462-1162-9, 2003.



*Ces travaux ont été réalisés dans le cadre de l'encadrement des DRTs et du DEA suivants :*

Th. Gallet, soutenu le 24 novembre 2003 ; sujet du DRT : *Méthode de déploiement d'un SGDT en ingénierie mécanique et aéronautique.*

B. Carratt, soutenu le 4 octobre 2002 ; sujet du DRT : *Ingénierie collaborative et gestion de données techniques en certification aéronautique.*

G. Ducellier, septembre 2004 ; titre du mémoire de DEA : *Etude et développement d'un workflow non déterministe intégrant le cycle de vie des données CAO*

### 7.3 Environnements d'ingénierie collaborative

Dans un marché toujours plus globalisé, les entreprises se doivent d'innover pour assurer leur pérennité. L'innovation doit impacter toutes les dimensions industrielles que sont le produit, les services, l'organisation afin d'améliorer la compétitivité et les performances économiques. Cette innovation peut aussi passer par des alliances industrielles et de nouveaux modes d'organisation comme l'entreprise étendue et l'entreprise virtuelle (Jagdev & Browne, 1998, Goranson, 2003), la conception distribuée (Garro *et al.*, 1995) ou l'ingénierie collaborative (Kvan, 2000) où un réseau de partenaires va travailler en commun pour développer et fabriquer des produits. Le PLM et les applications de *Computer Supported Cooperative Work* ou espace de travail coopératif répondent directement à ces besoins. Ce type d'applications assure un soutien technologique et informationnelle efficace tout en permettant une innovation accrue en matière de produits, de services ou d'organisation. Les démarches d'ingénierie collaborative et outils associés doivent aider les acteurs du projet dans leurs activités et plus particulièrement dans une réalisation distribuée et à distance de leur travail (Rodriguez & Al-Ashaab, 2005).

Les travaux présentés dans ce paragraphe visent à mettre en évidence l'importance du support logiciel dans des projets de conception impliquant des équipes multi-sites et travaillant à distance. Ce support logiciel a clairement pu se développer grâce à la maturité des technologies de l'information et notamment d'internet (Huang, 2002, Shen, 2003). Nous détaillons ici deux types d'espaces de travail collaboratif, l'un s'intéressant à la conception de produits mécatroniques et développé dans le cadre d'une projet scientifique commun avec l'UTBM (Eynard & Gomes, 2004 - [15]) et l'autre portant sur l'ingénierie mécanique avec la visualisation de données 3D et réalisé en partenariat avec un start-up de la région Toulousaine (Eynard *et al.*, 2005 - [4])

#### 7.3.1 Espace coopératif de conception de produits

L'ACSP (Atelier Coopératif de Suivi de Projet) a été développé à l'UTBM par S. Gomes (Gomes & Sagot, 2002). Il s'agit d'un environnement web offrant un support au travail collaboratif et distribué des équipes de conception (Zhang *et al.*, 2004). L'interface utilisateur de l'ACSP se décompose en quatre modules principaux de gestion des données du projet d'ingénierie, du produit à concevoir, des procédés de fabrication et des activités d'usage du produit. Les données traitées par de chacun de ces modules peuvent être considérées selon différents points de vue en interaction. Conformément aux concepts orientées objet (Eynard & Bigand, 2004 - [89]) et systémique (Le Moigne, 1977), trois points de vue sont pris en compte pour la gestion des données :

- l'aspect fonctionnel qui spécifie les objectifs et les buts du système,
- l'aspect structurel, définissant ses composants et son architecture,
- l'aspect dynamique qui décrit son comportement temporel.

Différents types de données stockées dans l'ACSP peuvent être visualisées avec les points de vue associés :

- les données du projet intègrent l'aspect structurel avec les ressources matérielles et humaines ou l'aspect dynamique avec la planification des tâches (Figure 16) ;
- les données du produit associent l'aspect fonctionnel avec les spécifications fonctionnelles, l'aspect structurel avec la nomenclature des composants, lié l'aspect géométrique via les fichiers CAO (Figure 17) ;
- les données des procédés considèrent l'ensemble des procédés de fabrication incluant l'aspect structurel avec les différentes machines, lié à l'aspect géométrique (fichiers CAO), ou encore l'aspect dynamique avec les différentes tâches de production (fabrication, assemblage, maintenance, etc.) ;

- les données d'activités d'usage relient l'aspect structurel avec différentes interactions entre l'homme et le produit dans son environnement avec l'aspect dynamique décrit à l'aide de document multimédia (séquence vidéo de l'usage du produit ou simulation d'ergonomie avec des mannequins virtuels).



Figure 16 : Planification des tâches du projet de conception

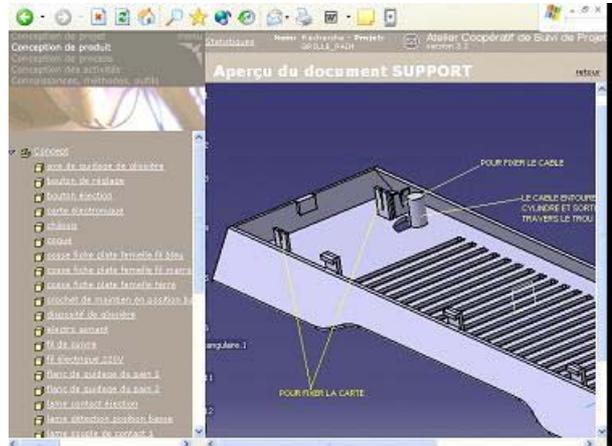


Figure 17 : Modélisation géométrique du produit liée à l'arborescence structurelle

Ces données sont complétées par celles archivées à partir des fonctionnalités de discussion en ligne et de messagerie. Afin de permettre une meilleure organisation des données l'ASCP fournit un module d'administration ainsi que de traçabilité et d'analyse des tâches des utilisateurs :

- le module d'administration assure la déclaration des projets, des groupes d'utilisateurs, etc. ainsi que la création, modification, suppression, stockage et archivage des bases de données ;
- le module de traçabilité et d'analyse des tâches des utilisateurs a pour objet de fournir des éléments qualitatifs et quantitatifs sur le travail de l'équipe de conception dans un contexte d'ingénierie collaborative.

D'un point de vue technique, l'ACSP peut être considéré comme un environnement d'ingénierie collaborative asynchrone. Il s'appuie classiquement sur un système de gestion de base de données et s'interface avec l'ensemble de la chaîne XAO : CAO, FAO, Solveur EF, etc. Il exploite aussi un architecture trois tiers conventionnelle facilitant son utilisation via n'importe quel navigateur internet (Xu & Liu, 2003).

Nous avons donc utilisé l'ACSP pour des expérimentations dans le cadre de projets pédagogiques d'ingénierie collaborative de produits mécatroniques. Ces projets se sont déroulés en mode distant entre des groupes d'étudiants distribués entre l'UTBM et l'UTT. Sur la base de ces projets un certain nombre d'analyses et de retours d'expérience a été effectué pour établir des protocoles d'organisation et de gestion des projets d'ingénierie collaborative.

### 7.3.1.1 Expérimentation de l'ACSP sur des projets mécatroniques

Afin de rendre le contexte de conception plus réaliste dans ses dimensions de pluridisciplinarité et d'étroite collaboration entre les membres de l'équipe de projet, le sujet de produits mécatroniques s'est imposé. De forts besoins d'échange d'information et de partage de savoir-faire se font ressentir pour prendre en compte toutes les phases du cycle de vie du produit et pour intégrer les technologies requises pour son développement (mécanique, matériaux, mécatronique, électronique, etc.).

En regard de la grande diversité des produits mécatroniques, l'équipe pédagogique a volontairement choisi des sujets de taille modeste et techniquement assez simple car la complexité majeure de ces projets réside dans le mode d'organisation distribuée et distant géographiquement. Durant les trois dernières années, une dizaine de projets a été réalisée par les étudiants des deux universités de technologie. Citons à titre d'illustration des sujets comme : un presse agrume, un grille pain, un hachoir électrique, une ponceuse à bande, une perceuse portative, aérogénérateur éolien, etc. Les projets se déroulent de l'analyse du besoin jusqu'à la définition et industrialisation du produit et bien évidemment avec un objectif central d'appréhender le concept d'ingénierie collaborative. Ils sont organisés de la façon suivante :

- équipes pluridisciplinaires (6 à 8 étudiants de génie mécanique et génie électrique), gérées par un chef de projet et un chef de produit sachant que les 2 universités sont distantes de 300 km,
- 10 heures de travail par semaine et par personne sur une durée de 4 mois,
- l'ACSP avec différents logiciels (CFAO, bureautique, etc.) afin de partager, échanger et capitaliser les données techniques du projet.

Nous avons retenu deux projets jugés comme représentatifs du travail des étudiants en contexte d'ingénierie collaborative. Ces deux projets sont le presse agrume électrique et le grille pain sachant qu'ils devaient respecter les contraintes suivantes :

- conformité respective aux différentes sortes et tailles de pains ou d'agrumes,
- bonne ergonomie (confort, simplicité et efficacité d'utilisation),
- sécurité maximale de l'utilisateur, surtout pour les enfants, avec une attention particulière au critère thermique pour le grille pain et au critère mécanique pour le presse agrume,
- originalité du style et de l'esthétique du produit,
- fiabilité équivalente aux produits du même segment de marché,
- coût inférieur à 15% en regard de la concurrence,
- conformité des produits avec toutes les normes en vigueur et particulièrement celles alimentaires.

### 7.3.1.2 Bilan de l'expérimentation

Au terme de ces projets, les étudiants ont présenté leurs résultats de conception intégrant différents points de vue : mercatique, ergonomie, ingénierie, fabrication, maintenance et recyclage. Le Tableau 4 résume le volume de données manipulées et stockées dans l'ACSP.

Tableau 4 : Volume de données au terme des projets

		GRILLE PAIN	PRESSE AGRUME
<b>Projet</b>	Membres	10	11
	Tâches	32	32
	Documents du projet	36	22
	<b>Total des données du projet</b>	<b>78</b>	<b>65</b>
<b>Produit</b>	Produit et composants	300	94
	Fonctions	100	91
	Documents du produit	118	83
	<b>Total des données du produit</b>	<b>518</b>	<b>268</b>
<b>Procédés</b>	Données des procédés	23	5
	Documents des procédés	18	0
	<b>Total des données des procédés</b>	<b>41</b>	<b>5</b>
<b>Communication</b>	Messages sur le forum	150	62

Ces données sont classées en regard de 3 catégories (projet, produit, procédés) ainsi qu'en terme de communication. Une première analyse montre que, malgré un volume de données de projets similaires (personnes par équipe, tâches et documents), la production de données relatives au produit ou aux procédés est presque deux fois supérieure dans le projet grille-pain. Ce tableau souligne aussi une intensité des échanges formels supérieure pour le projet grille pain par rapport au projet presse agrume (150 messages contre 62).

Sur le plan de la conception (Figure 18), l'équipe du projet grille pain a développé un vrai concept nouveau en complète adéquation avec l'expression de besoin fournie en début de projet. Ce prototype comprenait une trentaine de pièces :

- 19 composants mécaniques (porte vitrée, grille, ramasse miète, etc.),
- 10 pièces électro-mécaniques (électro-aimant, connectique, etc.),
- 4 composants électroniques : (résistances à quartz, potentiomètre, carte électronique).

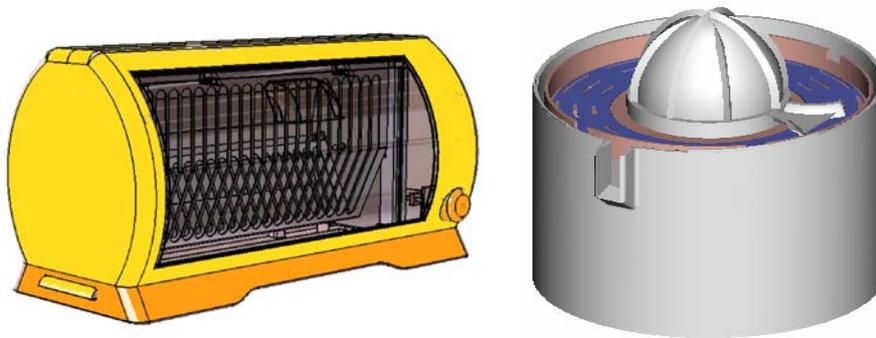


Figure 18 : Modélisation CAO des prototypes de grille pain et de presse agrume

La seconde équipe a proposé un produit quelque peu plus classique toujours en correspondance avec l'expression de besoin initiale. Ce prototype intégrait une vingtaine de pièces :

- 16 composants mécaniques (bol, engrenages, axe, vis, etc.)
- 6 pièces électro-mécaniques (moteur électrique, bouton poussoir, etc).

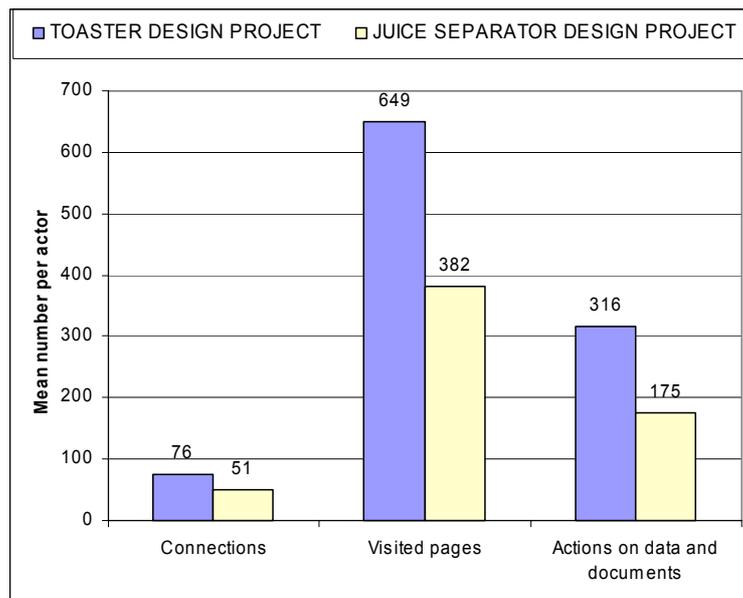


Figure 19 : Bilan des connexions au serveur et des actions sur les données

Comme support d'une activité de recherche sur les processus d'ingénierie collaborative, l'ACSP est utilisé en tant qu'outil d'expérimentation pour l'analyse de la dynamique du projet et du comportement des concepteurs au sein de l'équipe. Les premiers résultats quantitatifs et qualitatifs de cette analyse sont présentés Figure 19. Cette figure confirme la différence d'intensité de travail entre les deux projets. En regard d'un nombre équivalent de connexion au serveur, le nombre de documents et/ou d'actions réalisées (création, modification, suppression) est deux fois plus important dans un projet par rapport à l'autre.

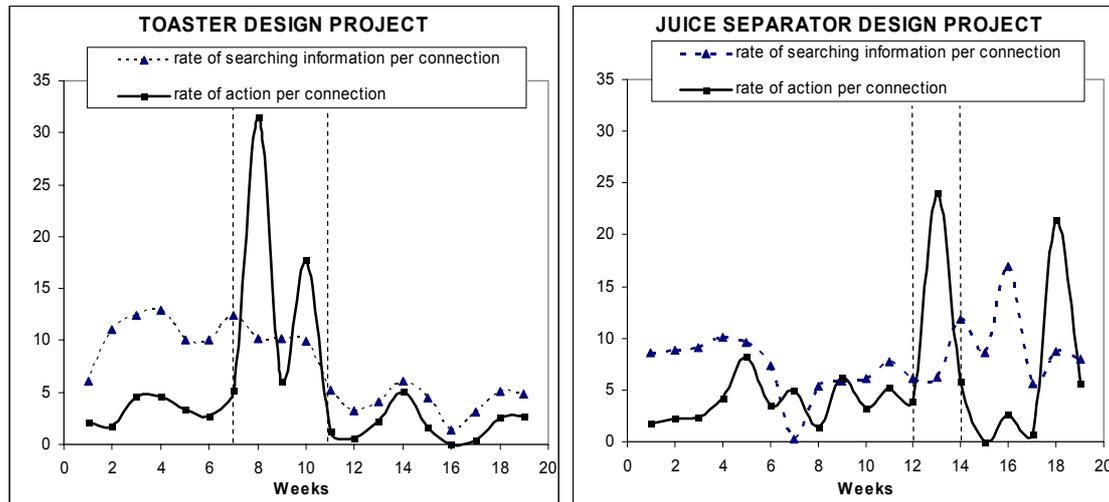


Figure 20 : Evolution temporelle des connexions et des actions sur les données pour les 2 projets considérés

Un point intéressant à analyser est l'évolution temporelle des connexions avec le nombre de pages consultées en regard des actions sur les données pour les deux projets (

Figure 20). Ceci met en évidence le comportement de l'équipe de projet par rapport aux objectifs et tâches de conception qui sont assignés par le chef de projet.

Ces deux diagrammes montrent trois phases principales durant le processus de conception :

- une phase de « familiarisation », dans laquelle l'équipe de conception découvre en même temps le sujet du projet et les outils d'ingénierie collaborative à disposition. Cette phase peut s'entendre comme une étape d'observation où la collecte d'information est largement supérieure à l'action sur les données (création, modification, suppression). Cette phase correspond aux semaines 1 à 6 pour le projet grille pain contre les semaines 1 à 11 pour le projet presse agrume. Dès la phase de familiarisation, il peut être noté la rapidité d'appropriation et de mise en route du projet au sein de l'équipe grille pain.
- une phase dite de « capitalisation », où l'équipe de conception crée et modifie un grand volume de données à chaque connexion. Cette phase peut être considérée comme la période de conception réelle où les acteurs du projet jouent leurs rôles en contribuant à alimenter l'espace collaboratif de conception avec les données nécessaires à toute l'équipe. Cette période se déroule pour le projet grille pain des semaines 7 à 11 et pour le projet presse agrume des semaines 12 à 14. Le premier projet conserve son avance en terme d'activité mais l'amplifie avec une durée de la phase de capitalisation plus conséquente.
- une phase de « régulation » vient assurer la finalisation du projet avec la gestion et l'exploitation des données capitalisées précédemment. L'équipe de conception réalise des mises à jour des données pour atteindre l'objectif final du projet. Durant cette phase, les

acteurs se connectent essentiellement pour vérifier et valider les informations. Ils effectuent nettement moins d'actions sur les données que dans la phase précédente. Cette phase court des semaines 12 à 19 pour le projet grille pain et des semaines 15 à 19 pour le projet presse agrume. Notons un pic d'activité sur les deux dernières semaines classiquement liées à la fin du projet.

### 7.3.1.3 Synthèse

Ces projets ont clairement permis aux étudiants de s'approprier les difficultés et d'identifier les écueils des activités d'ingénierie collaborative à distance et multi-sites ainsi que d'une organisation du travail distribuée en exploitant un environnement CSCW orienté web. Les résultats obtenus ne sont pas uniformes. Pour le premier projet étudié (le grille pain) la plupart des critères semblent positifs avec une intégration technologique réussie entre mécanique, électro-mécanique et électronique. Concernant le projet presse agrume, l'équipe de conception semble avoir rencontré plus de difficultés organisationnelles et a donc démarré la phase effective du projet plus tardivement. Cette équipe a opéré des modifications majeures et tardives dans les principes de solutions retenus qui peuvent s'expliquer par le retard pris en début de projet en terme de communication et de coordination. Les modifications tardives sont généralement beaucoup plus coûteuses en terme financier que celles effectuées dans les phases amont du projet (Helms, 2002).

Dernier point, l'ingénierie collaborative nécessite aussi des échanges co-localisés et communications bilatérales entre les équipes distribuées pour exposer les idées préliminaires plutôt que de remettre en cause tardivement des travaux très avancés. Lors du bilan avec les étudiants du projet presse agrume, il est ressorti que le partage d'information n'avait pas été assez pris en considération et doit être plutôt vu comme un élément clé de la réussite du projet.

### 7.3.2 Espace coopératif d'ingénierie mécanique

Le besoin croissant de partage d'information induit par la distribution multi-sites des activités et la fragmentation des entreprises a mis en avant la nécessité d'avoir recours à des moyens favorisant le travail collaboratif en mode distant (Huang & Mak, 1999). Les méthodes et outils d'ingénierie collaborative contribuent largement à simplifier la réalisation de travaux communs et partagés en co-localisation et à distance (Zhuang *et al.*, 2000). Les technologies web représentent un vecteur puissant et rapide en matière d'échange, de mise en commun et de distribution d'information entre acteurs (Huang, 2002, Zhang *et al.*, 2004). Cependant, les échanges sont freinés par la faible compatibilité des formats entre les applications informatiques.

Les problèmes de compatibilité et de manque de formats adaptés se font largement ressentir dans le domaine du calcul de structures (paragraphe 7.1.1). Pourtant le besoin d'échange de résultats de calcul devient grandissant puisque les activités de simulations numériques sont centralisées au sein d'un groupe industriel dans les départements d'ingénierie & calcul ou externalisées à des prestataires de services. Or, pour valider ou modifier les caractéristiques clé (type de maillage, cas de chargement, conditions limites, etc.) d'un calcul, il est souvent suffisant de visualiser, de consulter et de commenter des résultats à distance.

Dans ce paragraphe, nous présentons une solution visant à favoriser le partage de données éléments finis de pré et post-traitement via un environnement web s'appuyant sur l'utilisation d'APIs Java3D (Eynard *et al.*, 2005 - [4]). Nous détaillons l'architecture et les principales fonctionnalités de l'environnement d'ingénierie collaborative asynchrone développé par la société Ideamech<sup>27</sup>. Puis, nous nous intéressons au module de visualisation de données 3D (CAO et éléments finis) à l'aide

---

<sup>27</sup> <http://www.ideamech.com>

d'APIs Java3D qui a fait l'objet d'un projet commun avec la start-up toulousaine mentionnée ci-dessus afin d'améliorer les temps de téléchargement, de lecture et d'affichage des données.

### **7.3.2.1 Intégration des technologies Web dans les activités CAO et calcul**

Par pratique historique et héritage organisationnel, les entreprises de l'industrie mécanique dissocient souvent les activités d'études-conception et celles de calcul-simulation. De ce fait, les services impliqués dans un projet sont fréquemment amenés à s'échanger leurs travaux respectifs afin de confronter ou de mettre en commun leurs points de vue. Le développement de la sous-traitance ou du transfert d'activités vers des sociétés de service et d'ingénierie engendre un fort besoin de partage d'information entre le donneur d'ordre et ses fournisseurs. Inversement, ceux-ci, pour gagner en réactivité et en qualité dans leurs prestations vont chercher à obtenir l'aval du client au plus tôt sur la définition des fichiers CAO 3D et des modèles EF de pré-traitement ou sur les résultats de calcul préliminairement obtenus.

C'est dans cette logique que s'inscrit l'environnement web présenté au paragraphe suivant. La faiblesse du débit d'Internet en regard de la taille des fichiers 3D, de CAO, de pré-traitement et de post-traitement qui dépasse souvent la dizaine de Mégaoctets et qui peut excéder plusieurs centaines de Mo ont rendu nécessaire l'utilisation de formats neutres légers qui permet d'en réduire le volume. Pour répondre à cette problématique, la société Ideamech a développé l'environnement web d'ingénierie collaborative « Teamproject ».

### **7.3.2.2 Teamproject**

Dans le cycle de développement du produit, beaucoup d'entreprises utilisent des échanges itératifs : un modèle CAO est généré et mis à jour pendant toute la durée du projet, des décisions sont prises lors des réunions d'avancements et des revues de projet jusqu'au lancement en production. Pendant ces phases, différents intervenants du projet ont souvent leur mot à dire quant l'évolution de la définition du produit (chef de projet, designers, concepteurs, ingénieurs calcul, etc.). Cette situation conduit à de fréquents échanges et partages d'information.

Teamproject est un espace de travail collaboratif asynchrone qui permet la coordination, la communication et la coopération durant l'ingénierie du produit :

- gérer des projets et des intervenants délocalisés,
- gérer et partager l'information,
- visualiser des modèles CAO et éléments finis (ingénierie mécanique)

Teamproject propose une interface utilisateur conviviale avec un espace de gestion de projets, de partage documentaire, de messagerie et des modules de visualisation 3D des modèles CAO et éléments finis. Il a été développé autour d'un noyau central sur lequel viennent se greffer un certain nombre de modules (Figure 21).

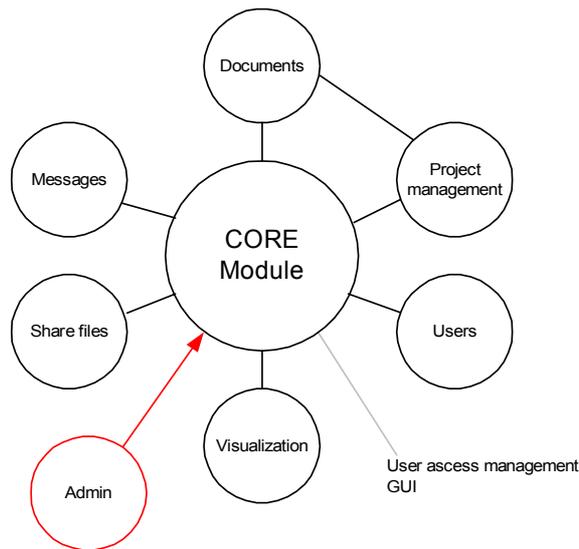


Figure 21 : Architecture modulaire de Teamproject

### 7.3.2.2.1 Gestion de projets et de documents

Lorsqu'un projet est composé de plusieurs membres qui travaillent sur des activités différentes, la gestion des données peut devenir difficile. Teamproject assure aux acteurs d'un même projet un partage d'information. Les utilisateurs qui ont accès à plusieurs projets peuvent rechercher n'importe quel document grâce à un moteur de recherche par mots clés.

En matière de gestion de projets, Teamproject permet le suivi de planning et du déroulement de projets avec une organisation sur deux niveaux : les milestones (ensemble de tâches - Figure 22) et les tâches. Lorsqu'un projet est créé, le chef de projet définit des milestones et des tâches qui sont attribuées aux différents acteurs. Chaque milestone peut inclure plusieurs tâches qui peuvent être attribuées à d'autres collaborateurs avec une date de début et de fin, une brève description de leur contenu et des livraisons associées. Pendant le déroulement du projet, chaque collaborateur a une information mise à jour sur le statut de sa contribution à l'avancement général du projet.

Milestone/Tasks	Action(s)	Start date	Deadline	Owner	Deliverable(s)	Status
Milestone #1	<input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	12/14/01	01/15/02	Alfano Jean-Pierre	Amount: 2	A:1 O:1 OD:0
Task #1-1	<input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	12/12/01	12/15/01	Alfano Jean-Pierre	MS-Word document	Closed on 12/14/01
Task #1-2	<input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	12/21/01	01/07/02	Alfano Jean-Pierre	MS-Excel spreadsheet	OPEN
Milestone #2	<input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	01/15/02	01/30/02	Alfano Jean-Pierre	Amount: 2	A:0 O:2 OD:0
Task #2-1	<input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	01/15/02	01/22/02	Alfano Jean-Pierre	Finite Element Model	OPEN
Task #2-2	<input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	01/22/02	01/30/02	Alfano Jean-Pierre	NASTRAN Results	OPEN

Legend:  Milestone  New task  Close task  View details  Edit

Figure 22 : Statut d'un projet dans Teamproject

Concernant la gestion documentaire, l'insertion des documents dans la base est réalisée de deux manières : (1) en fermant une tâche pour laquelle une fourniture est requise, ou (2) en créant une

nouvelle fiche document. Divers paramètres sont nécessaires à l'insertion d'un document dans la base : nom de projet, auteur, révision, type de document, fichier et description. La base de documents est aussi accessible par tous les acteurs d'un projet à tout moment et les documents peuvent être identifiés par différentes caractéristiques : date, type, mots clés relatifs à l'extension ou le nom de fichier, le titre, la description, etc.

### 7.3.2.2.2 Messages et fichiers partagés

Les différents utilisateurs peuvent créer, éditer et effacer des messages assimilables à des « post-it » qui s'affichent sur l'interface graphique par rapport à une sélection des destinataires auxquels ils sont adressés. Le module de fichiers partagés permet l'échange de fichiers dans leur version de travail. Ce module est assimilable à une application FTP interfacée ou tout simplement à un espace disque délocalisé.

### 7.3.2.2.3 Visualisation de données CAO et EF

Grâce à un simple *plugin* VRML 3D, Teamproject permet aux utilisateurs de visualiser des modèles CAO 3D et éléments finis des produits développés au sein de leur équipe projet.

Pour les fichiers CAO, la navigation dans le modèle est assurée grâce à une organisation hiérarchique qui permet la sélection des pièces pour lesquelles une visualisation est souhaitée. Les modèles peuvent ensuite être manipulés dynamiquement en 3D à l'aide de fonctionnalités utiles telles que : rotation, zoom, pan, refit (Figure 23). De plus, les informations associées aux modèles CAO telles que les noms de pièces, les révisions, le nom de l'auteur et la version native sont aussi disponibles dans Teamproject.

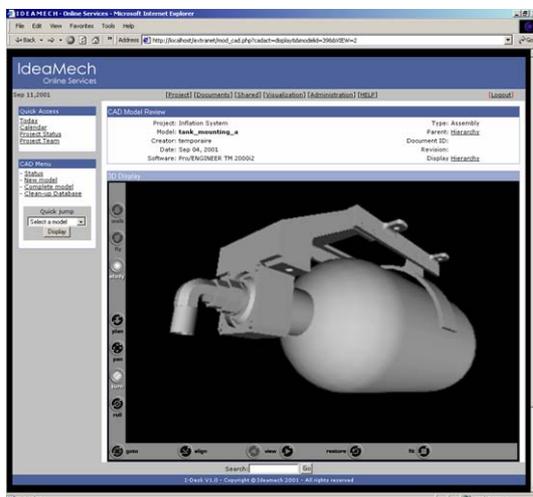


Figure 23 : Affichage d'un modèle CAO

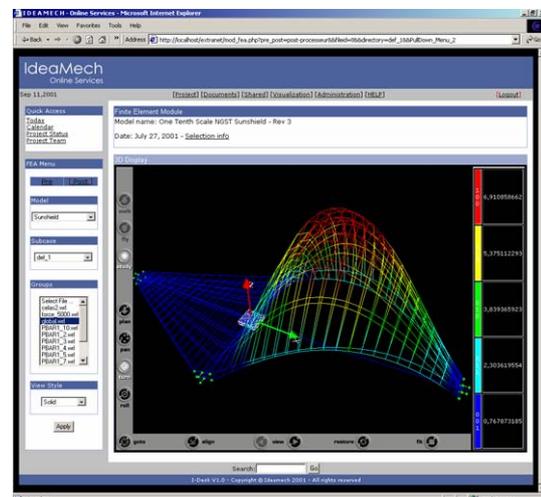


Figure 24 : Affichage de résultats de modèle EF

Pour les modèles éléments finis, les fonctions de visualisation ont été intégrées à Teamproject pour donner aux utilisateurs la possibilité de consulter toutes les informations relatives au calcul de structures sans avoir à installer de logiciel spécialisé à cet effet (Figure 24). Toutes les informations relatives au pré-traitement sont disponibles dans l'espace de visualisation éléments finis : maillage, conditions aux limites appliquées au modèle, matériaux et propriétés, chargements. Les fonctionnalités de post-traitement proposées permettent aux utilisateurs de consulter et d'évaluer les résultats de

calculs menés au cours du projet. Les utilisateurs peuvent afficher et manipuler des vues déformées avec des distributions de déplacements ou de contraintes.

### 7.3.2.3 Développement d'un nouveau visualiseur de données EF

Pour améliorer les performances en terme de partage et de visualisation des données EF avec Teamproject en regard du viewer exploitant préliminairement le format VRLM, une nouvelle architecture de visualiseur a été étudiée. La technologie retenue, suite à l'analyse présentée dans (Eynard *et al.*, 2005 - [4]), est Java3D. Les raisons de ce choix s'appuient sur la stabilité de Java, le grand nombre de fonctionnalités disponibles sous forme de bibliothèques logicielles et la forte adéquation avec internet via les Java Servlets Protocol.

#### 7.3.2.3.1 Architecture du visualiseur

L'architecture logicielle du nouveau visualiseur est composé de six modules : interface utilisateur, pré-traitement, interopérabilité, solveur EF, post-traitement, base documentaire.

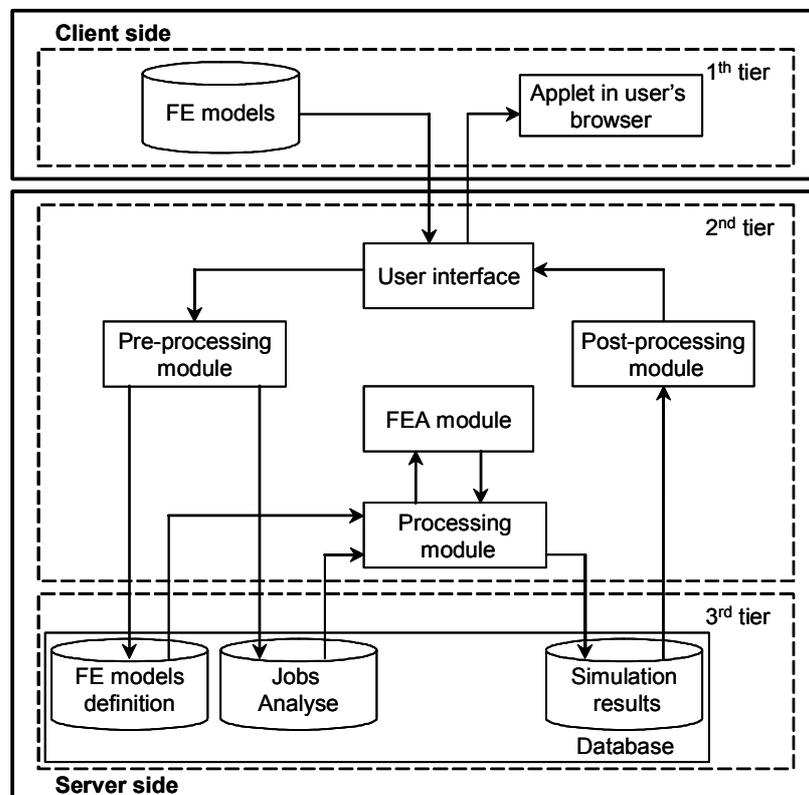


Figure 25 : Architecture logicielle du visualiseur

La Figure 25 décrit l'architecture globale du visualiseur :

- interface utilisateur : ce module a été conçu pour faciliter l'accès à la base de données et aux fichiers via le portail web. Il permet une sélection dynamique des données à visualiser ainsi que leurs modes d'affichage. L'utilisateur peut choisir le modèle éléments finis qu'il souhaite voir et le type de traitement ou d'analyse qui a été appliqué.
- pré-traitement : il effectue les tâches de lecture, d'analyse et de pré-traitement des fichiers reçus par l'application afin d'identifier et d'extraire les données qui lui sont nécessaires. Il génère une visualisation de ces données en exploitant Java3D.

- interopérabilité : ce module assure le lien entre les répertoires de stockage des fichiers et le solveur EF. il assure le lien entre les répertoires de stockage des fichiers et le solveur EF.
- solveur EF : ce module utilise les logiciels classiques comme Nastran ou Ansys pour réaliser la simulation numérique.
- post-traitement : il convertit les modèles issus du calcul en visualisation 3D. Un modèle est généré dynamiquement en fonction des requêtes de l'utilisateur. Le format d'affichage s'appuie bien évidemment sur Java3D pour convertir les données de Nastran ou ANSYS en un modèle visualisable sur le web.
- base documentaire : ce module est composé de répertoire de stockage (chaque répertoire archivant les fichiers en fonction de leurs étapes de traitement). La base reçoit les fichiers des autres modules et assure la connexion via le module d'interopérabilité.

#### 7.3.2.3.2 Apport du convertisseur

Java3D propose une réponse efficace pour la modélisation de structures 3D complexes. Bien que cette technologie offre un ensemble très complet pour la définition d'objet 3D, elle nécessite beaucoup de ligne de code pour parfois des formes fort simples. En comparaison de VRML qui était utilisé dans la version préliminaire de Teamproject, la compilation du code Java3D est moins consommatrice en taille mémoire. A contrario, la programmation d'objet avec ce langage est plus complexe qu'en VRML. Une bonne maîtrise de la programmation se révèle être une donnée clé pour un développement pertinent sous Java3D.

Sur la base de ces premiers éléments, l'utilisation de Java3D pour l'affichage dans un environnement web d'objets 3D complexes semble prometteuse. La conversion des données éléments finis est relativement aisée et rapide. L'intégration avec les données issues d'un solveur tel que Nastran a répondu aux attentes en terme de performance et de qualité d'affichage des données dans un mode distant via un portail web.

#### 7.3.2.4 Synthèse

La mise en oeuvre d'environnements d'ingénierie collaborative à base de technologie web devient incontournable et répond aux évolutions organisationnelles nécessaires pour le partage d'information entre partenaires d'un projet. La collaboration dans un domaine de conception et de calcul de structures demande des fonctionnalités spécifiques comme la visualisation 3D, publication des critères de simulation, etc. L'utilisation de Java3D pour simplifier l'accès aux données CAO et EF dans un environnement web se justifie pleinement. L'implémentation d'un convertisseur entre Nastran et Java3D a répondu aux besoins de visualisation.

Ce travail a permis de tester l'apport de l'ingénierie collaborative dans un domaine peu courant : celui du calcul de structures avec la mise en oeuvre d'un environnement ad hoc. Toutefois, une méthodologie de travail spécifique devra être proposée afin de répondre intégralement à la problématique de collaboration : l'outil ne pouvant se satisfaire uniquement à lui-même.

#### 7.3.3 Conclusion

Le dernier sujet que nous avons développé autour du PLM est la mise en oeuvre et l'exploitation d'espaces de travail coopératif support des activités de conception distribuée et d'ingénierie collaborative. Ces activités s'entendent généralement dans un schéma plus global d'entreprise étendue où les partenaires vont développer et fabriquer les produits au sein d'un réseau d'acteurs industriels.

Nous avons considéré l'ingénierie collaborative dans deux domaines d'applications. Le premier a porté sur l'aide à la conception de produits mécatroniques entre des équipes distantes durant des projets pédagogiques formant les étudiants aux futurs contextes de travail dans lesquels ils évolueront

dans l'avenir. Le second s'est intéressé à l'utilisation de ce type d'aide dans la liaison entre CAO et simulation numérique où les itérations peuvent être nombreuses et demander des échanges de données intensifs entre les acteurs du projet.

Les suites que nous donnerons à ces travaux adressent la gestion des données manipulées dans ces espaces de travail coopératif et l'extraction et la formalisation de connaissances sur cette base informationnelle.



*Ces travaux ont fait l'objet de plusieurs publications dans une revue et un ouvrage internationales, dans le cadre de conférences internationales ainsi que de la coordination de numéro spéciaux de revues nationales :*

[4] Eynard B., Liénard S., Charles S., Odinot A., Web based Collaborative Engineering Support System: Applications in Mechanical Design and Structural Analysis, *Concurrent Engineering: Research & Applications*, vol. 13, n° 2, pp. 145-153, 2005.

[15] Eynard B., Gomes S., Collaborative and remote design of mechatronic products: Case studies based on student projects, *Perspectives from Europe and Asia on Engineering Design and Manufacture*, Edited by X.T. Yan, C.Y. Jiang, N.P. Juster, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, pp. 261-270, ISBN 1-4020-2211-5, 2004.

[28] Gomes S., Serrafero P., Monticolo D., Eynard B., Extracting Engineering Knowledge from PLM systems: an experimental approach, *International Conference on Product Lifecycle Management – PLM'05*, Lyon, France, July 11-13, 2005.

[49] Roucoules L., Eynard B., Geoffroy Ch., Rosielle N., ETEX: a collaborative and intercultural design experiment, *4th International Conference on Integrated Design and Manufacturing in Mechanical Engineering - IDMME'02*, Clermont Ferrand, France, May 14-16, 2002.

[53] Gomes S., Eynard B., Magnon L., A multi-site experience using a computer supported collaborative work tool, *13th International Conference on Engineering Design - ICED'01*, Glasgow, Scotland, UK, August 21-23, 2001.

[91] Eynard B., Matta N., Coopération et organisation numériques, *Document Numérique*, vol. 8, n° 1, ISBN 2-7462-0896-2, 2004.

[93] Simone C., Matta N., Eynard B., Espaces numériques d'information et de coopération, *Document Numérique*, vol. 5, n° 3-4, ISBN 2-7462-0509-2, 2001.



*Ces travaux ont été réalisés dans le cadre de l'encadrement du doctorat et des DEAs suivants :*  
G. Ducellier, à soutenir fin 2007 ; sujet de la thèse : *Gestion des connaissances de projets d'ingénierie : contribution à la conception collaborative en génie mécanique.*

A. Odinot, septembre 2003 ; titre du mémoire de DEA : *Contribution à un environnement Web d'ingénierie collaborative et de visualisation de données CAO et calcul*

M. Gouel, septembre 2001 ; titre du mémoire de DEA : *Echange de données techniques dans un contexte de conception coopérative et d'entreprise étendue.*

## 7.4 Conclusion et perspectives autour du PLM

Au terme de ce chapitre sur la gestion du cycle de vie des produits, nous pouvons souligner notre forte contribution à ce thème avec trois lieux d'investissement complémentaires que sont les échanges de données techniques, la mise en œuvre des SGDT dans une réelle logique PLM (i.e. en

conception et industrialisation mais aussi en certification aéronautique) et enfin l'étude des bénéfices à attendre des CSCW dans l'ingénierie collaborative.

Le premier sujet nous a permis de développer notre expertise autour de la norme STEP avec des applications novatrices dans le calcul de structures ou les échanges de modèles CAO paramétrés. Le deuxième sujet nous a conduit à clairement maîtriser le déploiement des SGDT avec la définition d'une méthode de spécification et d'implémentation des dits systèmes incluant des expérimentations d'exploitation en contexte aéronautique. Concernant le troisième sujet, plus particulièrement accès sur les modes de travail distant et distribué en ingénierie collaborative, nous avons étudié l'utilisation des espaces de travail coopératif et analysé l'apport de ceux-ci dans l'intensification et la fiabilisation des partenariats et de la collaboration entre les acteurs des projets.

En terme de perspective, nous visons un renforcement de ce pôle de nos compétences avec notamment de nouveaux champs d'investigation du PLM. Mentionnons par l'exemple l'étude de l'interopérabilité des SGDT et des applications XAO (dans les suites du projet IPPOP plus particulièrement) mais les échanges avec les ERP et SCM. La spécification et l'implémentation d'un système de gestion des données de simulation numérique est un sujet prometteur. La définition d'une méthode de déploiement de ces systèmes adaptée aux PME (car ceux-ci ne sont présents à l'heure actuelle que dans des grands groupes) cadre avec nos objectifs et possède un fort potentiel opérationnel. Enfin, nous envisageons d'approfondir l'analyse de la mise en œuvre d'environnement d'ingénierie collaborative pour renforcer la synergie des équipes de projet en complément d'une approche de gestion du cycle de vie des produits.

## **8 Dynamique des connaissances industrielles**

Les systèmes industriels sont de nos jours confrontés à un environnement compétitif et international toujours plus vif. Dans un même temps, pour l'ensemble des acteurs de la conception et de la production de biens et de services, la capacité d'accès aux connaissances s'est trouver décuplée grâce entre autres aux technologies de l'information et de la communication. La dynamique des connaissances industrielles est complexe et difficilement maîtrisable. Celle-ci requière une instrumentation méthodologique et technique ad hoc qui contribuera à l'amélioration des performances globales des systèmes industriels en structurant le patrimoine informationnel développé par les acteurs de l'entreprise. Enfin, une meilleure gestion des connaissances impactera positivement les dimensions organisationnelles, économiques et humaines des systèmes industriels (Eynard *et al.*, 2004 - [90]).

Au cours de ce chapitre, nous passons en revue les différents thèmes que nous avons développés en lien avec la dynamique des connaissances industrielles et qui se trouve dans la suite logique de nos travaux de thèse sur la modélisation du produit et des activités de conception pour contribuer entre autre à la traçabilité du processus d'ingénierie (Eynard, 1999 - [94]). Tout d'abord, nous nous intéressons notamment à la modélisation du processus de conception et à la structuration de mémoire de projet. Nous présentons, ensuite, des travaux dans la suite des nôtres sur la modélisation de produit avec la gestion des alternatives de conception. Enfin, nous abordons une dernière partie plus applicative avec le développement de systèmes à base de connaissances dédiés à l'ingénierie.

### **8.1 Traçabilité des projets d'ingénierie**

L'Afnor définit la traçabilité comme l'aptitude à retrouver l'historique, l'utilisation ou la localisation d'une entité au moyen d'identifications enregistrées (Afnor, 1995). Dans le cadre de la conception de produits, il s'agit de sauvegarder l'historique des informations relatives au produit et au processus. La traçabilité représente l'aide qui peut être fournie aux concepteurs avec une modélisation des éléments clé du projet d'ingénierie. L'intégration des dimensions produit et processus offre la possibilité de capitaliser les données et informations relatives à un projet. Ce constat fut l'un des points de départ qui conduisit à la rédaction du projet RNTL IPPOP (Girard & Eynard, 2004 - [14]). La dimension produit permettra la constitution d'un historique progressif des niveaux de définition saisis et gérés grâce à un modèleur de produit comme CoDeMo (Roucoules & Tichkiewitch, 2000) ou celui développé dans le cadre d'IPPOP (Noël *et al.*, 2004) tandis que la dimension processus fournira une description assez détaillée des étapes et du parcours réalisés pendant le projet, comme proposé par (Blessing, 1994, Shah *et al.*, 1996, Ouazzani, 1999, Matta 2004).

Nous proposons ici de coupler ce travail avec une capitalisation « au fil de l'eau » qui assure un recueil d'information plus rapide et moins contraignant pour les concepteurs. La capitalisation des connaissances liées au produit pourra se faire de manière transparente avec un environnement CoDeMo pour définir la solution technologique ad hoc. La modélisation du processus quant à elle offre une caractérisation détaillée des activités ainsi que de leur logique d'enchaînement et de lancement pour connaître l'organisation et le déroulement du projet.

#### **8.1.1 Modéliser le processus de conception dans une logique PPO**

Le projet IPPOP avait 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 (Girard *et al.*, 2002). Il s'inscrit dans une démarche d'intégration des dimensions produit-processus-organisation (PPO) et d'extension des logiciels de CFAO et SGGT

existants en prenant en compte les aspects technologiques liés à la conception (environnement multi-acteur, marché, ressources humaines et matérielles, gestion et capitalisation des connaissances et des savoir-faire, etc.).

Les parties produit et organisation ayant été traitées par nos collègues (Noël *et al.*, 2004, Robin *et al.*, 2004), nous nous centrons sur la description du processus de conception que nous avons abordé dans le cadre de projet IPPOP. Ce travail nous a conduit à considérer les différentes approches de modélisation existantes : GRAI, IDEF, Petri, UML, etc. (Vernadat, 1999). Sur cette base, nous avons proposé une synthèse (Nowak *et al.*, 2004 - [35]) puis élaboré les spécifications d'un méta-modèle de processus répondant aux contraintes d'une modélisation intégrée produit-processus-organisation en conception de produits.

### **8.1.1.1 Spécificité du processus de conception**

Bien que beaucoup de modélisations de processus existent, en regard des spécificités du processus de conception et de la logique d'intégration mentionné ci-dessus, un certain nombre de manques peuvent être soulignés. Une première analyse montre qu'il n'y a pas de description explicite dans le processus de conception des dimensions de collaboration, d'itération et de dynamique des actions réalisées conjointement par les acteurs du projet. De plus, la parallélisation des activités du processus dans une logique d'ingénierie concourante est difficilement explicitable par les approches classiques. Le lien entre l'activité et ce qu'elle produit (principalement les données techniques en conception) est faible voir inexistant. Le statut de ces données est rarement disponible (pourtant il s'agit d'un critère clé vis-à-vis de concepteur) et le degré de confiance qui peut être accordé à ce même statut peut faciliter la prise de décision sur des choix stratégique dans les phases amonts du projet. Enfin, le lien avec les données issues de l'organisation (ressources ou compétences disponibles) doit être fourni aux acteurs du projet. Ces éléments permettront de définir un modèle intégré du processus de conception et couplé avec les données du produit et de l'organisation.

Le modèle de processus doit réutiliser les liens logique et temporel d'IDEF3 et la sémantique disponible dans IDEF0 ou GRAI. Ces caractéristiques ne sont pas reprises intégralement mais détaillées de façon à répondre à nos besoins. La dimension applicative du projet IPPOP et l'implication des partenaires industriels nous ont conduit à considérer la notion de maturité associée aux données techniques sachant que celles-ci assurent le lien entre les modélisation du produit et du processus. De même la description de l'organisation doit s'associer avec celle du processus pour justifier de la structuration du projet, des objectifs assignés ou des moyens alloués.

### **8.1.1.2 Définition du méta-modèle de processus**

Sur la base de la synthèse réalisée, nous avons proposé un méta-modèle du processus de conception intégrant les éléments suivants (Figure 26) : activité, donnée technique, statut, maturité, objectif, contrainte, jalon, transition, déclencheur, ressource.

La caractéristique principale de ce méta-modèle est que la donnée technique pilote la définition du processus. De plus, la transition entre deux activités est spécifiée en regard du niveau de maturité des données qui sont générées. Cette notion est une contribution issue du point de vue industriel qui permet de définir la confiance qu'un acteur du projet accordera à une donnée pour prendre une décision à l'aide de celle-ci.

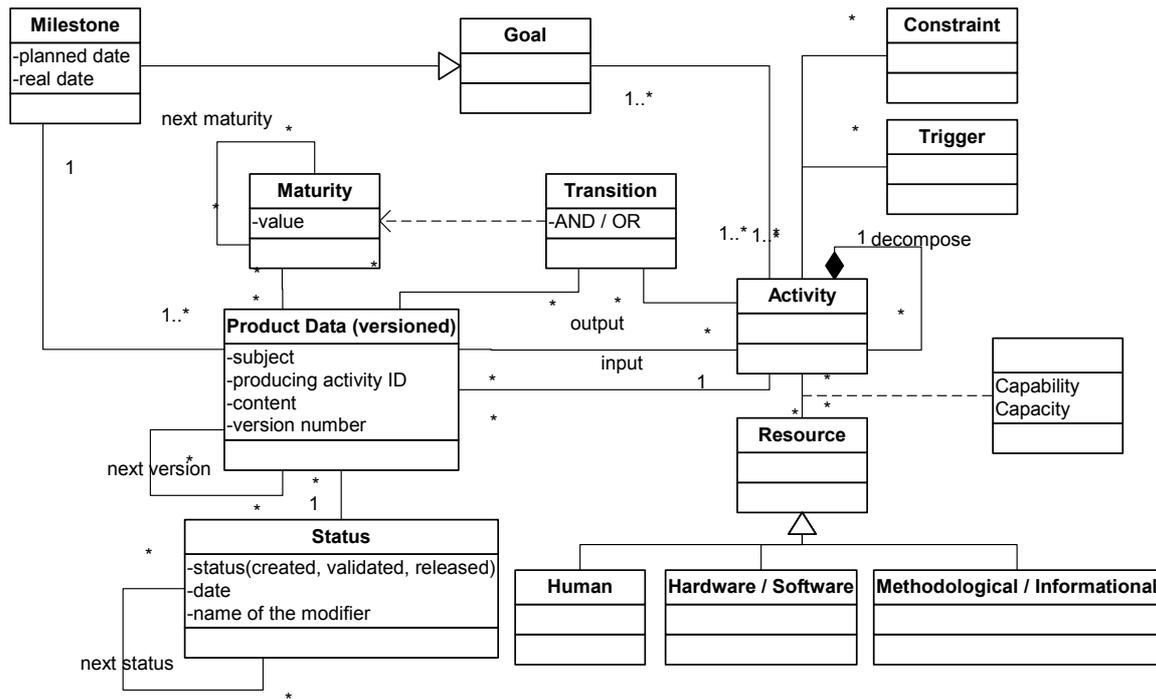


Figure 26 : Méta-modèle du processus de conception

Trois vues différentes du processus sont proposées à l'utilisateur : une vue flux de données techniques, une vue métier et une vue collaboration. La vue flux de données techniques s'appuie sur le concept central de modélisation des données techniques versionnées. La vue métier quant à elle permet de discerner les activités liées aux points de vue qu'un expert aura sur la maturité des données. La vue collaboration autorise la représentation d'activités collectives impliquant la participation de plusieurs acteurs du projet pour la gestion de conflits (Rose & Lombard, 2003).

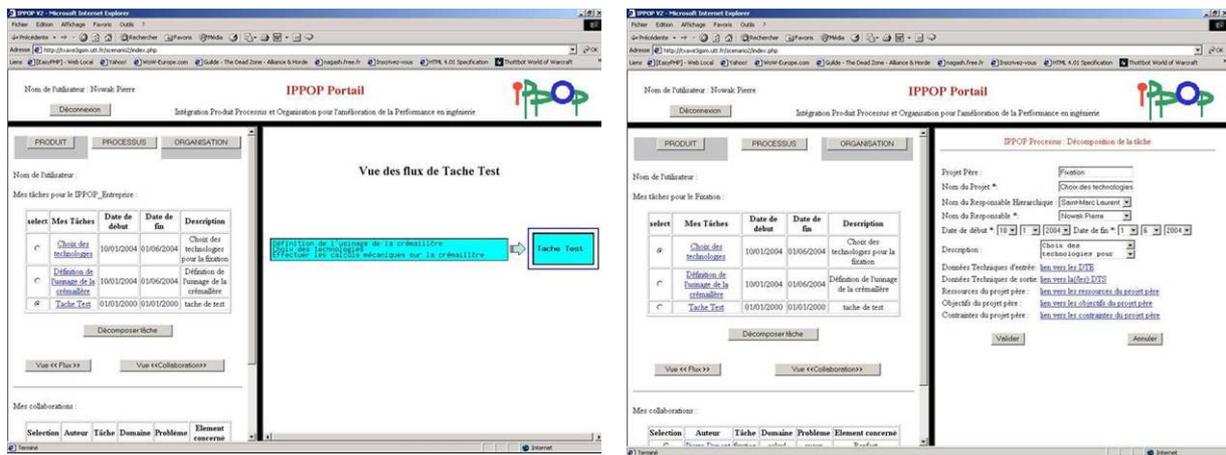


Figure 27 : IHMs processus du démonstrateur IPPOP

Le méta-modèle décrivant les concepts manipulés dans le processus offre un lien entre la modélisation de produit (via la classe : donnée technique versionnée) et la modélisation de l'organisation (via les classes : objectif, contrainte, ressource, etc.). Plus globalement, ceci permet aussi de spécifier des critères d'évaluation de performances pour gérer les projets de conception via les trois dimensions produit-processus-organisation. L'implémentation du méta-modèle avec le

développement d'une IHM facilite la gestion des trois vues du processus. Avec la mise en œuvre d'un démonstrateur (Figure 27), ces concepts ont pu être testés pour analyser la pertinence des spécifications décrites dans le méta-modèle processus.

### **8.1.1.3 Synthèse**

Au cours de ce travail, nous avons pu approfondir des sujets explorés lors de notre doctorat avec la modélisation et la traçabilité du processus de conception. Un point clé a été dans le cadre du projet IPPOP la définition d'un méta-modèle de processus couplé avec les données du produit et de l'organisation. Puis, nous avons pu implémenter et mettre en œuvre ce méta-modèle sur la base du noyau logiciel fourni par Opencascade dans le cadre des scénarii de conception proposés par Alstom Moteurs et EADS.

La modélisation de la vue collaboration va faciliter la gestion des activités collectives dans le projet et notamment la résolution de conflits entre acteurs de la conception. Ces propositions trouveront naturellement la suite de leurs développements dans le cadre du nouveau projet RNTL qui vient d'être déposé pour finaliser, étendre et disséminer les résultats d'IPPOP.

## **8.1.2 Capitalisation « au fil de l'eau » des connaissances d'ingénierie**

Afin de pouvoir capitaliser les connaissances métier et le savoir-faire technique issus d'un projet, il est nécessaire de fournir des outils offrant une grande transparence d'exploitation pour assurer la sauvegarde du patrimoine informationnel de l'entreprise. Pour ce faire, nous nous sommes intéressés à l'utilisation des mémoires de projet. Une mémoire de projet est une représentation de l'expérience acquise pendant la réalisation de projets (Bekhti, 2004). Elle peut être obtenue à travers une capitalisation « au fil de l'eau » de l'activité. Le processus de capitalisation des connaissances (visant la définition d'une mémoire de projet) permet de réutiliser, de façon pertinente, les connaissances précédemment modélisées et stockées, afin d'accomplir de nouvelles activités. Les principales étapes de ce processus sont le recueil et la modélisation des connaissances, la diffusion et l'utilisation de la mémoire, et enfin l'évaluation et l'évolution de la mémoire. Plusieurs travaux ont étudié des techniques pour favoriser ces différentes étapes (Dieng *et al.*, 2001, Eynard *et al.*, 2004 - [90]). Cependant, de nombreux problèmes persistent comme le recueil des connaissances pendant la phase d'évolution de la mémoire ainsi que la diffusion et la réutilisation des connaissances de la mémoire.

### **8.1.2.1 Extraction et structuration des connaissances**

Il est nécessaire d'étudier des techniques de traçabilité indirecte de l'activité des acteurs dans un projet. Nous proposons d'utiliser les technologies de l'information et de la communication dans le but de réaliser ce type de traçabilité indirecte. En pratique, un concepteur n'utilisera qu'un client universel (un navigateur internet) et éventuellement des applets Java pour accéder à l'ensemble de ses outils. Il devient possible de conserver une trace des séquences d'activité du concepteur (utilisation d'un logiciel, échanges d'information entre différents acteurs de l'entreprise, etc.) par une extraction continue (Eynard *et al.*, 2001 - [12]). Le résultat d'une telle traçabilité forme une base qu'un cogniticien peut alors analyser afin d'agrégier les connaissances et les structurer dans la mémoire de projet.

A travers cette architecture d'extraction continue des connaissances, nous offrons essentiellement un environnement de recueil avancé où les liens entre les différentes informations utilisées et issues d'un projet sont mis à jour. La définition de la mémoire de projet est ainsi amorcée. L'activité de modélisation des connaissances prendra donc moins de temps et mobilisera moins de

ressources ; points qui représentent en général l'obstacle majeur pour la réalisation d'une mémoire de projet.

Nous étudions essentiellement dans ce paragraphe la traçabilité du contexte ainsi qu'une partie de la résolution individuelle de problèmes, en nous appuyant sur une acquisition temporelle des outils utilisés par les concepteurs pour traiter tel fichier, échanger tel message, décrire tel principe technique ou modéliser telle solution afin de résoudre un problème.

### **8.1.2.2 Gérer et réutiliser les connaissances**

En supposant la mémoire de projet créée et enrichie continuellement, elle doit ensuite être mise à la disposition des différents acteurs de l'entreprise afin qu'ils y puisent des connaissances et les réutilisent pour répondre aux besoins exprimés dans de nouveaux projets. Il est alors possible d'exploiter les solutions apportées par les technologies internet (ou intranet dans le cas d'une communauté limitée) pour mettre à la disposition des acteurs des connaissances structurées.

Le contexte de l'activité observée grâce aux techniques de veille que nous préconisons, permet de mettre en correspondance les besoins d'un concepteur à un moment donné avec les connaissances extraites des expériences passées et mémorisées. C'est dans ce sens que nous pouvons proposer une restitution contextualisée des connaissances de la mémoire.

### **8.1.2.3 Structure de la mémoire de projet**

La mémoire de projet définie comme une représentation explicite de l'expérience acquise dans un projet, contient des connaissances relatant aussi bien le contexte que la résolution de problèmes ou logique de conception. La structure de cette mémoire peut alors être organisée en différents points, le contexte d'une part et la logique de conception d'autre part.

Le contexte représente :

- le déroulement et l'organisation d'un projet : le processus et le séquençage des activités, les acteurs impliqués avec leur rôle dans le projet et leurs compétences ;
- l'environnement de travail : méthodes, techniques et outils utilisés, objectifs, exigences et contraintes, références, procédures, normes, directives et réglementations.

La logique de conception décrit essentiellement :

- les problèmes rencontrés : description et classification ;
- le mode de résolution des problèmes : propositions de solutions, argumentations, décisions.

Très souvent, il existe des relations d'interdépendances entre les différents éléments d'une mémoire de projet. A travers l'analyse de ces relations, il est possible de faire émerger et de dégager le rôle, l'importance et la pertinence des connaissances utilisées dans la réalisation du projet. La Figure 28 présente un aperçu de ce type de relations.

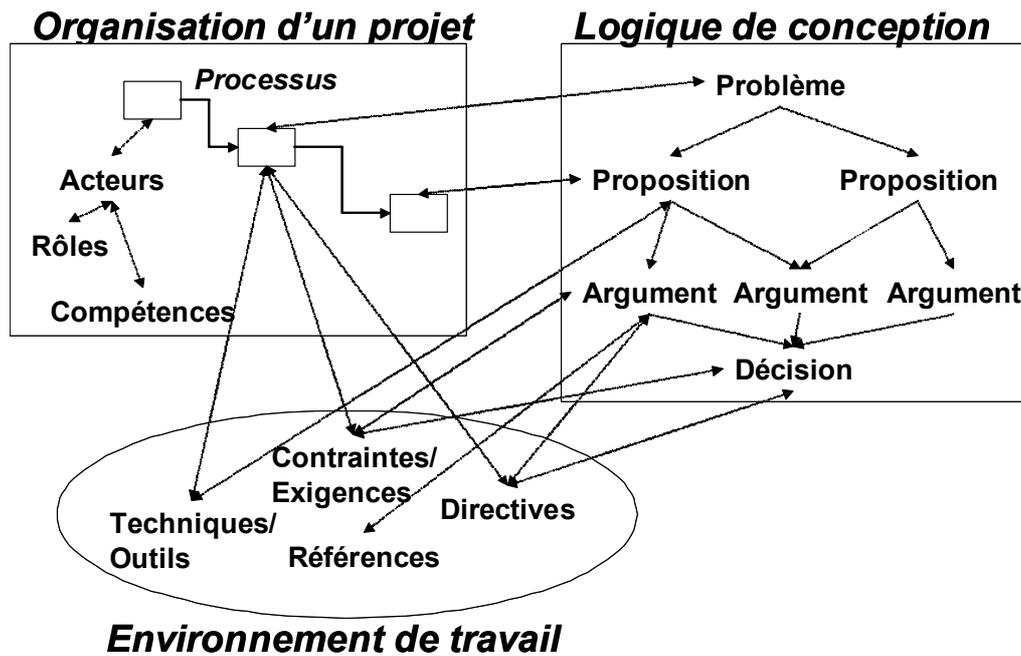


Figure 28 : Structure de la mémoire de projet

#### 8.1.2.4 Synthèse

Ce travail sur la capitalisation « au fil de l'eau » des connaissances et la structuration de mémoire de projet, nous a permis de dépasser le simple sujet de la modélisation pour voir comment extraire l'information d'un projet et la gérer en vue de sa réutilisation. Il s'agit d'un thème clairement en lien avec ce que nous avons pu proposer dans IPPOP mais qui demandera encore des approfondissements pour lier le processus et l'organisation du projet avec la logique de conception qui est certainement la dimension la plus complexe et intangible donc difficile à capturer.

Nous développerons ce thème dans le cadre d'un projet ANR qui a été déposé récemment sur la traçabilité des projets de conception.

#### 8.1.3 Conclusion

Dans le cadre de la dynamique des connaissances industrielles, nous nous sommes intéressé à la modélisation et à la traçabilité des processus d'ingénierie. Nous avons ainsi fait aboutir des préoccupations issues de nos travaux de thèse avec notamment le développement d'un modèleur de processus couplé avec les données relatives au produit à concevoir et à l'organisation du projet d'ingénierie. Ce modèleur s'appuie sur le méta-modèle défini dans le cadre d'IPPOP et exploitant le noyau logiciel fourni par Opencascade. Nous avons aussi proposé l'intégration des dimensions processus et organisation du projet d'ingénierie avec la logique de conception afin de construire une mémoire de projet. Ces travaux ont plus particulièrement fait l'objet d'une collaboration avec nos collègues d'ingénierie des connaissances.

Enfin, ces travaux devraient trouver des perspectives intéressantes dans le cadre de programmes de recherche que nous espérons financés par l'agence nationale de la recherche.



*Ces travaux ont fait l'objet de plusieurs publications dans une revue nationale et un ouvrage international, dans le cadre de conférences internationales ainsi que de la coordination d'un ouvrage collectif :*

[12] Eynard B., Lemercier M., Matta N., Construction d'une mémoire de projet en ingénierie mécanique utilisant les technologies Web, *Document Numérique*, vol. 5, n° 3-4, pp. 155-171, 2001.

[14] Girard P., Eynard B., Integration of product – process – organisation for advanced engineering design, *Perspectives from Europe and Asia on Engineering Design and Manufacture*, Edited by X.T. Yan, C.Y. Jiang, N.P. Juster, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, pp. 587-598, ISBN 1-4020-2211-5, 2004.

[28] Gomes S., Serraféro P., Monticolo D., Eynard B., Extracting Engineering Knowledge from PLM systems: an experimental approach, *International Conference on Product Lifecycle Management – PLM'05*, Lyon, France, July 11-13, 2005.

[35] Nowak P., Rose B., Saint-Marc L., Callot M., Eynard B., Gzara-Yesilbas L., Lombard M., Towards a design process model enabling the integration of product, process and organisation, *5th International Conference on Integrated Design and Manufacturing in Mechanical Engineering – IDMME'04*, Bath, UK, April 5-7, 2004.

[36] Eynard B., Lombard M., Matta N., Renaud J., Cartographie des recherches en gestion des connaissances industrielles au sein du Groupe DYXIT, *5ème Congrès International de Génie Industriel – GI'03*, Québec, Canada, 26-29 octobre 2003.

[47] Matta N., Eynard B., Roucoules L., Lemercier M., Continuous capitalisation of design knowledge, *European Conference on Artificial Intelligent - ECAI 2002*, Lyon, France, July 22-23, 2002.

[90] Eynard B., Lombard M., Matta N., Renaud J., Gestion dynamique des connaissances industrielles, *Traité IC2 – série Informatique et systèmes d'information*, Hermès Science Publications, Paris, ISBN 2-7462-0952-7, 2004.



*Ces travaux ont été réalisés dans le cadre de l'encadrement des doctorats suivants :*

G. Ducellier, à soutenir fin 2007 ; sujet de la thèse : *Gestion des connaissances de projets d'ingénierie : contribution à la conception collaborative en génie mécanique.*

P. Nowak, à soutenir fin 2005 ; sujet de la thèse : *Modélisation intégrée des alternatives de conception – contribution à la traçabilité et réutilisation des connaissances en projets d'ingénierie mécanique.*

## 8.2 Gestion des alternatives de conception

Du fait des avancées technologiques et des recherches actuelles, de nombreuses solutions sont utilisables pour la conception d'un produit donnée. La gestion des alternatives passe alors par la gestion d'informations issues du projet d'ingénierie, ce qui permet à chaque acteur de gérer ses connaissances s'appuyant sur ses solutions et ses choix de conception. Ainsi les solutions intéressantes peuvent être conservées en mémoire et mises en oeuvre au bon moment en fonction de la maturité du marché. L'objectif principal n'est pas d'améliorer le processus d'innovation mais de faciliter la créativité en conception, une innovation étant en effet liée à une réussite économique (Perrin, 1996).

L'entreprise Toyota a défini sa propre approche s'appuyant sur les alternatives de conception. Cette méthode consiste à conserver un grand nombre d'alternatives jusqu'à des phases avancées de conception où des critères d'évaluation permettent de faire la sélection. De même, (Akgunduz *et al.*, 2002) proposent d'utiliser des matrices d'évaluation pour parvenir au choix de solution optimale. (Tichkiewitch & Roucoules, 1999) justifient que les fonctions du produit, les principes physiques et la décomposition structurelle du produit doivent être fortement liés. De cette manière, chaque solution peut comporter la justification de son fonctionnement technique et être bien paramétrée. L'approche proposée, consistant à intégrer les données fonctionnelles et technologiques renforce la créativité et permet l'émergence d'alternatives.

### 8.2.1 Caractéristiques fonctionnelles et technologiques des produits

Notre étude vise à spécifier les informations nécessaires et les connaissances mises en jeu pour la gestion des alternatives. L'objectif principal de la modélisation des alternatives est d'offrir à la fois une représentation synthétique et un support de travail pour un nombre important de connaissances issues de la conception. Comme décrit dans (Rieu *et al.*, 1997), un modèle est un langage formel ou semi-formel qui permet une représentation abstraite d'un système qui peut être un produit mécanique, un logiciel, etc. Ainsi, nous visons à spécifier :

- un modèle intégrant les données fonctionnelles et technologiques issues de la conception de produit et qui permettent la gestion des alternatives.
- un modèle synthétique et graphique assurant la description des alternatives. Celui-ci offrant aux concepteurs une vision de l'ensemble des solutions envisageables.

Cette modélisation constituera une archive de solutions techniques qui assurera une traçabilité de l'historique de conception (Ouazzani, 1999). Elle permet par ailleurs la mise en valeur des alternatives étudiées en amont au moment d'une prise de décision. Les alternatives apparaissent dans leur état de définition le plus avancé et leurs aspects fonctionnels et technologiques permettent de les situer par rapport à la définition structurelle du produit.

Le modèle proposé s'appuie principalement sur ces deux aspects. Ces données sont liées de manière à faire apparaître la relation entre les décompositions fonctionnelle et technologique du produit. Elles ne doivent par ailleurs pas comporter d'attributs redondants avec ceux des modèles de produit couramment rencontrés (Krause *et al.*, 1993, Bernard, 2000) et plus particulièrement comme ceux développés dans (Tichkiewitch, 1996) (Roucoules, 1999) ou (Eynard, 1999 - [94]). En effet, la finalité des données prises en compte dans le modèle de gestion des alternatives est d'aider :

- l'identification de chaque alternative au travers d'un ensemble de solutions (alternatives au niveau des caractéristiques fonctionnelles, des principes de solution : physique ou technologique),
- la prise de décision motivée par une évaluation des alternatives et une argumentation du choix à chaque phase du processus de conception : expression du besoin, conception préliminaire, conception détaillée, industrialisation.

## 8.2.2 Modélisation des alternatives

Nous avons introduit l'intérêt de permettre au concepteur de capitaliser l'ensemble des alternatives de manière à pouvoir les confronter au moment de la rencontre d'un problème ou d'une prise de décision. Pour cela, nous associons un formalisme graphique support des informations identifiées précédemment. Ce formalisme assure une vision globale et synthétique des alternatives envisagées et facilite ainsi la traçabilité des choix de conception.

Des propositions de document synthétique, résumant à l'aide de graphiques les points importants pour les rendre plus intelligibles, ont été faites. Nous décrivons ici les premiers résultats d'une telle représentation des alternatives. Ce modèle agit comme un filtre appliqué sur les données fonctionnelles et technologiques capitalisées de manière à fournir aux concepteurs les seules informations qui lui sont utiles (alternatives fonctionnelles ou technologiques, niveaux de définition et évaluation des solutions, etc.). Un concept de multi niveaux non détaillé dans ce paragraphe nous permet d'étudier des systèmes complexes tout en conservant une bonne lisibilité à chaque niveau.

### 8.2.2.1 Alternatives au niveau fonctionnel

La première étape du processus de conception consiste en la décomposition fonctionnelle, celle-ci identifie les fonctions du système à concevoir. De nombreuses méthodes issues de l'analyse de la valeur proposent des techniques et des outils pour parvenir à cette décomposition initiale. L'étape suivante consiste alors à définir des principes de solution voire des solutions technologiques répondant à chacune des fonctions ainsi identifiées. L'ensemble de ces fonctions est représenté sur un premier anneau comme le montre la Figure 29. Dans certains cas, un produit peut être décrit par différents sous ensembles de fonctions, et ainsi différents anneaux de départ. Les informations présentes dans le modèle proviennent de la description des données fonctionnelles du produit.

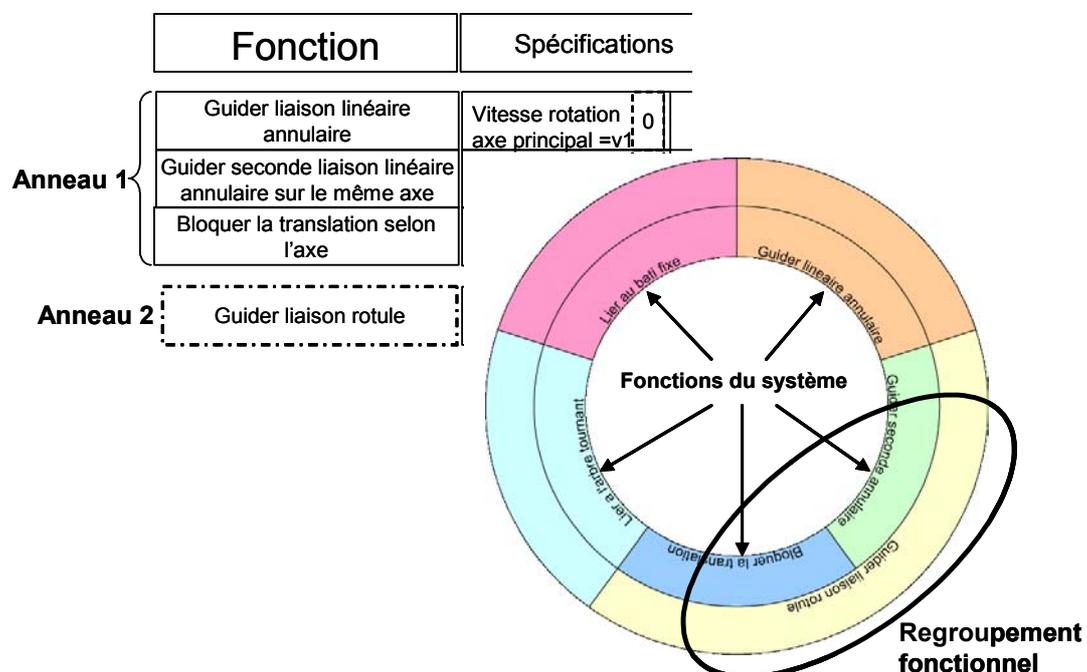


Figure 29 : Anneau fonctionnel initial et de regroupement fonctionnel

Les alternatives au niveau fonctionnel consistent en des regroupements de fonctions initiales. Ce regroupement représenté comme sur la Figure 29 sur un anneau extérieur. L'opération de regroupement se visualise par un secteur du nouvel anneau dont l'angle correspond à plusieurs secteurs



### 8.2.2.3 Evaluation des alternatives

Le but de la modélisation des solutions technologiques est d'aider le concepteur dans sa prise de décision. Pour cela, les informations contenues dans l'archive de solutions technologiques permettent de construire trois approches représentées dans l'ellipse :

- le niveau de définition de l'alternative : des états correspondant à la conception préliminaire, la conception détaillée et l'industrialisation sont définis. Le niveau de définition d'une solution technologique est identifié par rapport à ces états. Il est alors par exemple possible d'identifier des alternatives qui diffèrent par leur procédé de fabrication.
- L'évaluation de l'alternative par graphe "Radar" : cette évaluation a pour but de faciliter la comparaison entre les alternatives. Elle s'appuie sur des critères génériques au nombre de 3 à 8 définis par le concepteur. Ces critères sont communs aux différentes alternatives.
- les caractéristiques particulières : il s'agit d'informations spécifiques à une solution technologique qui doivent être prises en compte pour son évaluation. Une caractéristique particulière peut être une limitation technologique ou physique.

Les informations utilisées ici proviennent de l'archive de solutions technologiques. Elles sont purement contextuelles et donc définies pour chaque produit.

### 8.2.3 Conclusion

Nous avons présenté ici les premiers développements tendant à offrir au concepteur un moyen d'archiver et de réutiliser rapidement les différentes alternatives de conception étudiées antérieurement, pour analyser et évaluer leur compatibilité et leurs avantages respectifs. Le modèle proposé permet de plus la gestion des données fonctionnelles et technologiques relatives aux alternatives par l'utilisation d'une archive de solutions technologiques.

Ces travaux sont en cours d'implémentation et devront être testés dans le cadre d'un scénario de conception. Les développements ont été réalisés sur la base des technologies logicielles proposées durant le projet IPPOP sachant que les IHMs nécessaires ont été spécifiées. Une piste supplémentaire à poursuivre est la formalisation de la prise de décision. Des travaux comme ceux présentés dans (Zhang & Xue, 2001) pourront être une piste afin de formaliser les critères de sélection des alternatives.



*Ces travaux ont fait l'objet de plusieurs publications dans le cadre de conférences internationales :*

[24] Nowak P., Eynard B., Managing Design Alternatives: From the Alternatives Model Towards an Aided Design System, *International Conference on Engineering Design – ICED'05*, Melbourne, Australia, August 15-18, 2005.

[34] Nowak P., Eynard B., Roucoules L., Design alternatives management based on product and process modelling, *5th International Symposium on Tools and Methods of Competitive Engineering - TMCE 2004*, Lausanne, Switzerland, April 13-17, 2004.

[39] Nowak P., Eynard B., Roucoules L., A design alternatives assessment and management approach, *ASME 2003 Design Engineering Technical Conferences - DETC'03*, Chicago, USA, September 2-6, 2003.

[44] Nowak P., Roucoules L., Eynard B., Product Meta-Modelling: an approach for linking product models, *IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics - SMC 2002*, Hammamet, Tunisia, October 6-9, 2002.

[46] Eynard B., Roucoules L., Yan X.T., Knowledge integration approach for product modelling using an opensource CAD system, *5th Knowledge Intensive CAD IFIP5.2 Workshop – KIC'5*, St Julian, Malta, July 23-25, 2002.

[54] Roucoules L., Eynard B., Background and specifications for a computer co-operative design environment for concurrent engineering, *8th IPSE International Conference on Concurrent Engineering - CE 2001*, Anaheim, USA, July 28 - August 1, 2001.

[56] Eynard B., Belloy Ph., Lafon P., Towards an Integration of Knowledge in Mechanical Engineering, *3rd International Conference on Integrated Design and Manufacturing in Mechanical Engineering - IDMME'00*, Montréal, Québec, Canada, May 16-19, 2000.

☺ Ces travaux ont été réalisés dans le cadre de l'encadrement du doctorat et des DEAs suivants :  
P. Nowak, à soutenir fin 2005 ; sujet de la thèse : *Modélisation intégrée des alternatives de conception – contribution à la traçabilité et réutilisation des connaissances en projets d'ingénierie mécanique.*

L. Girouard, septembre 2004 ; titre du mémoire de DEA : *Etude et mise en oeuvre d'un outil de modélisation du produit intégré au prototype IPPOP.*

P. Nowak, septembre 2001 ; titre du mémoire de DEA : *Etude de la conception d'un système à retour de force innovant et haute fidélité pour un simulateur médical à base de réalité virtuelle.*

### 8.3 Ingénierie mécanique à partir de connaissances

Ce travail s'inscrit dans une problématique bien identifiée et où de nombreux développements issus de l'intelligence artificielle ont fait l'objet d'applications dans les domaines de la conception et de la CAO (Gero, 1996, Vancza, 1999). Historiquement les premières recherches ont porté sur des systèmes experts couplés à des logiciels CAO (Brown & Chandrasekaran, 1985, Gardan 1990). Ces systèmes ont malheureusement montré leurs limites en terme de pertinence des résultats et surtout de lourdeur des temps de développement et de mise en œuvre (Tsang & Brissaud, 1987, Tollenaere, 1991, Caillaud 1995). Sont apparus ensuite les systèmes à base de connaissances (Sriram *et al.*, 1989) et systèmes de raisonnement à partir de cas (Kolodner, 1993). Au plan applicatif nous pouvons citer (Trousse, 1989) et (Grabowski *et al.*, 1995) pour la première catégorie ou encore (Maher, 1998) et (Duprieu *et al.*, 2000) pour la seconde. Ces applications ont souvent rencontrés des problèmes similaires à ceux des systèmes experts en ce qui concerne les temps de développement, les difficultés d'évolutivité et de maintenance des logiciels. Enfin, signalons des applications plus particulières comme les approches par contraintes (O'Sullivan, 1999, Yvars, 2001) qui proposent de très robustes capacités de résolution de problème.

Pour ce type d'approche, le problème majeur réside dans la bonne formulation de la stratégie de résolution à partir des connaissances du domaine étudié. Les applications KBE telles que nous les envisageons ont pour but d'être utilisées pour la résolution de problèmes récurrents, connus et bien spécifiés.

#### 8.3.1 Les Applications KBE

Une des techniques d'intelligence artificielle les plus appropriées pour la gestion des connaissances et le partage d'informations entre les équipes de conception est l'utilisation d'une application de *Knowledge Based Engineering* (KBE - Susca *et al.*, 2000). C'est une application informatique nécessitant un traitement de l'information préalable, ce qui induit une représentation des connaissances et de modélisation du raisonnement effectué sur la base de celles-ci. A la différence des traditionnels outils CAO, une application KBE permet l'acquisition des intentions se situant en amont de la conception en représentant les « pourquoi » et « comment » d'un modèle en plus de la description du « quoi ». C'est également une approche prometteuse de l'intelligence artificielle qui est utilisée par les plus grands groupes industriels pour modéliser et capitaliser la conception de leurs produits (Saxena *et al.*, 1994, Chapman, 1997, Franck, 1999, Coppens, 2002).

Soulignons cependant que le développement d'une application KBE constitue un investissement non négligeable pour une entreprise. En s'intéressant au développement des applications KBE pour les PME, (Lovett *et al.*, 2000) ont mis en évidence le manque de méthodologies permettant une mise en œuvre rapide et peu onéreuse d'un KBE. De plus, l'implémentation informatique est une phase cruciale du développement d'un KBE (Su *et al.*, 2000). Elle doit en effet rester suffisamment simple ou modulaire pour permettre sa maintenance et son évolutivité. Enfin, une application KBE, visant à être utilisée par des non experts, doit comporter une interface graphique et être en liaison avec un outil de CAO.

Comme défini par (Ping Hew *et al.*, 2001) une application KBE est issue de l'IA et exploite différentes techniques :

- représentation des connaissances : pour acquérir les connaissances d'ingénierie. Elle modélise ou représente les connaissances d'un expert. Les formulations s'appuyant sur la programmation orientée objet et sur le langage naturel sont utilisées pour décrire les connaissances de l'expert.

- mécanisme de raisonnement : cela s'inscrit dans la recherche et la sélection de règles de production et dans l'évaluation ainsi que la génération d'arguments utilisant les objets. Ce processus de raisonnement est souvent conditionnel et inclut des formulations de la forme « si A alors B sinon C », où A, B et C sont des propositions.
- interface : Les KBE offrent un environnement de développement sophistiqué voire complexe pour programmer un objet à base de connaissances. Ceci inclut un éditeur de connaissances, un moteur de recherche et un navigateur. Ces fonctionnalités offrent au programmeur des facilités pour éditer et déboguer les systèmes à base de connaissances.

### **8.3.2 Dimensionnement optimale d'accouplement mécanique**

Nous nous intéressons ici aux activités de conception et de dimensionnement optimal d'un accouplement par plateaux déjà connue et dont les connaissances métiers ont été clairement formulées. Ces activités font l'objet du développement de l'application KBE sur la base du module KnowledgeWare de Catia V5.

Le cas traité ici est assez simple, cependant il permet d'illustrer les possibilités d'intégration de connaissances dans un modèle CAO, qui pourront par la suite être appliqués à des cas plus complexes. Le projet MOKA (Callot *et al.*, 1999) qui comptait dans ses membres PSA et EADS visait à aider le développement d'applications KBE notamment dans les domaines de l'automobile et de l'aéronautique. MOKA doit en effet fonctionner même pour des systèmes complexes. Cependant, il est préconisé pour la facilité d'utilisation des applications de décomposer ces systèmes en modules élémentaires. De même (Coppens, 2002), qui décrit l'utilisation de KBE chez PSA, précise ce besoin de structuration en modules minimaux afin d'assurer la convergence du système en regard d'un nombre raisonnable de règles.

Nous nous positionnons clairement dans cette logique car le traitement de systèmes fort complexes semble peu réaliste d'une part et demanderait une telle simplification du modèle de référence qu'il ne serait plus représentatif du comportement réel ou attendu du système d'autre part.

#### **8.3.2.1 Formulation des connaissances**

Comme définie dans (Nowak *et al.*, 2004 - [9]), cette étape a pour objet l'identification des différents éléments de l'énoncé mathématique du problème d'optimisation. Une fois que les choix technologiques et la configuration du mécanisme sont spécifiés, il est possible de décrire le mécanisme par un certain nombre de paramètres. Ils peuvent être d'ordre fonctionnel, structurel, géométrique ou lié aux matériaux. Tous ces paramètres descriptifs sont liés par un ensemble de relations fonctionnelles spécifiques du mécanisme étudié.

Comme le montre la Figure 31, la première étape de la résolution d'un problème d'optimisation est la vérification du type de solution technologique. Si ce type est connu, le calcul peut être directement effectué. Si le type n'est pas déjà connu, il faut alors formuler le problème et identifier les connaissances métier qui permettront de déterminer les paramètres spécifiques et les relations fonctionnelles minimales. Cette étape est cruciale et demande un important travail d'analyse et d'interprétation des connaissances possédant un haut niveau sémantique (dimensionnement des éléments filetés, expression d'un problème d'optimisation suffisamment générique, etc.). A partir de ces connaissances peuvent alors être explicités les paramètres et relations nécessaires pour la formulation et l'implémentation des règles dans l'application KBE.

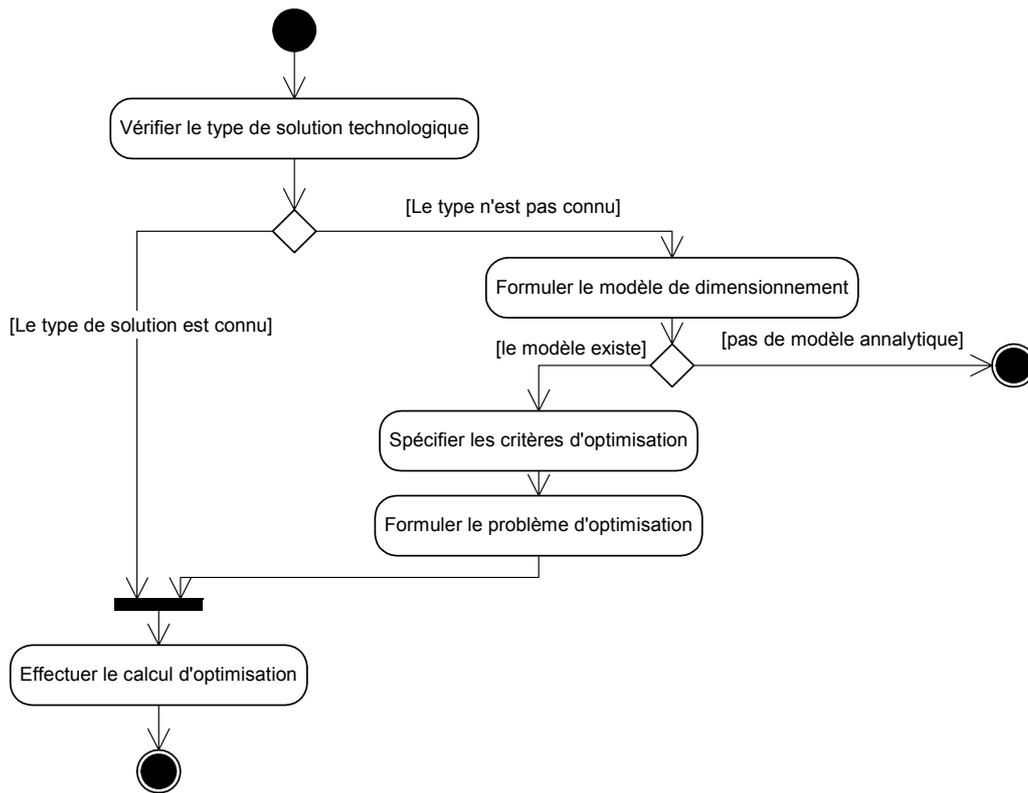


Figure 31 : Formulation et résolution d'un problème d'optimisation

### 8.3.2.2 Développement de l'application KBE

La première phase du développement d'une application KBE comme la notre réside dans la construction du modèle de référence sous Catia. Un modèle paramétré de l'accouplement à plateaux est donc un pré-requis.

Les paramètres, relations et règles définies dans le modèle permettent de contraindre le modèle en fonction de certains paramètres qui sont directement dérivés des connaissances métier nécessaires à la conception et au dimensionnement mécanique de l'objet de notre étude de cas. Elles sont également utiles pour appliquer des unités à des entités qui sont différentes du système de mesure dans lequel nous travaillons. En intégrant les formulations mathématiques relatives à l'optimisation de l'accouplement au modèle 3D de la pièce, nous pouvons piloter les paramètres des plateaux d'accouplement en agissant sur certaines grandeurs. Une valeur par défaut a été affectée à ces différents paramètres et les unités ont été spécifiées afin d'assurer la cohérence du modèle.

La règle décrite Figure 32 représente le choix final du nombre de boulons et de la distance de ces boulons par rapport au centre du plateau d'accouplement. Le nombre de règles manipulables dans le cadre de notre approche est directement fonction de la capacité du solveur du logiciel. La gestion des paramètres, des relations et des règles en grand nombre risque d'aboutir à l'impossibilité de faire converger l'application vers une solution dans des temps raisonnables voire l'incapacité à converger tout simplement. Ce type d'application n'a pour vocation qu'à aider à la conception et au dimensionnement de systèmes ou pièces mécaniques simples.

Enfin, la gestion de la cohérence et la complétude des règles reste du ressort du cogniticien et du développeur de l'application.

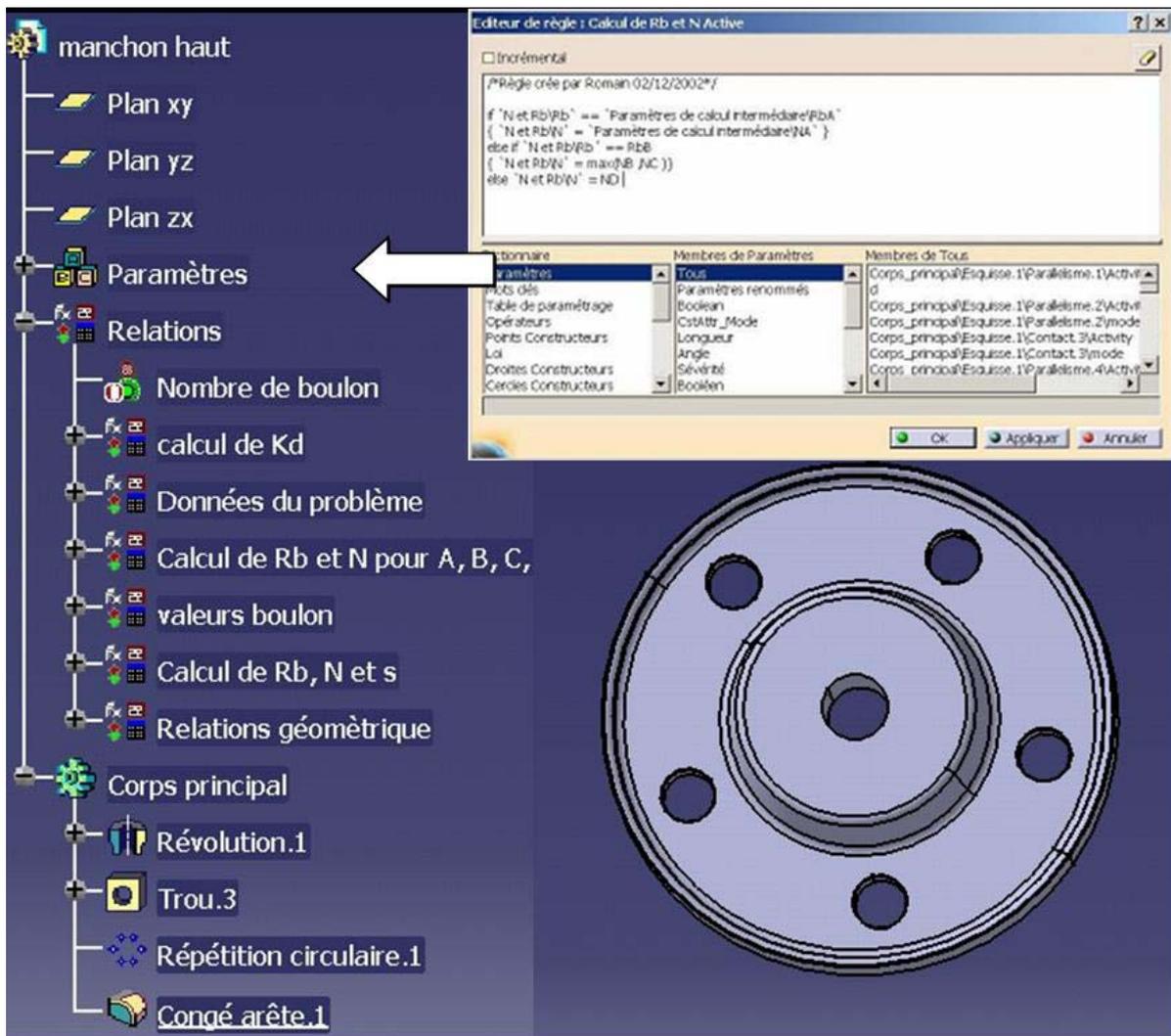


Figure 32 : Règle de CATIA V5 pour le choix du rayon et le nombre de boulons

Dans cette étude, une interface utilisateur a été développée pour permettre au concepteur de saisir les données initiales pilotant l'ensemble des formules et règles de connaissances du modèle géométrique 3D. La première étape pour l'utilisateur est de rentrer les différentes valeurs qui lui sont demandées. Ces valeurs sont celles qui sont utilisées comme données du problème dans l'exemple défini par (Lafon, 1994). L'utilisateur n'a plus alors qu'à lancer l'application.

L'application va alors suivre les étapes suivantes :

- lecture des données,
- première itération,
- lecture des données,
- lancement de Catia V5,
- importation de la pièce de référence,
- application des formulations et règles de connaissances,
- mise à jour du modèle 3D de la pièce,
- enregistrement du modèle,
- itération suivante.

La réalisation d'une interface offre trois avantages principaux :

- l'interface permet au concepteur d'effectuer un choix entre différentes solutions. Ce choix pour l'instant non assisté peut se faire en fonction de différents critères comme par exemple le coût. Actuellement notre approche consiste à proposer un ensemble de solutions répondant aux critères introduits par l'utilisateur mais il reste le seul décideur quant la solution finalement retenue.
- l'interface permet également une utilisation de Catia V5 simplifié. Le concepteur n'a plus besoin de manipuler le modèle géométrique. Il n'utilise que lors de la consultation des différentes pièces,
- le gain de temps est également important. En effet, l'application ne met que quelques secondes pour réaliser l'ensemble des modèles alors qu'il faudrait plusieurs dizaine de minutes à l'utilisateur seul pour effectuer la même tâche.

### 8.3.3 Conclusion

Dans le cadre de ce sujet, nous nous sommes intéressés aux systèmes à base de connaissances et plus particulièrement aux applications KBE afin de réutiliser les connaissances métier de l'entreprise dans le but d'automatiser les tâches routinières de conception. Ces applications visent un gain de temps conséquent autorisant l'utilisateur à se concentrer sur des activités qualitativement plus rentables pour l'entreprise.

Nous avons décrit, dans ce paragraphe, une implémentation d'application KBE pour la conception d'un système mécanique somme toute assez basique. Mais l'objectif de notre démarche était de valider une méthode de développement d'applications KBE rapide et peu coûteuse en temps. Cette méthode doit permettre de générer des applications dédiées à des activités de conception routinière et de dimensionnement de mécanismes bien connus souvent réitérées par des équipes d'ingénierie. Ce type d'applications offre notamment des opportunités d'évaluation en peu de temps de pré-concepts et de principes de solution en phase d'avant projet.

Nous poursuivons actuellement ces travaux avec d'une part la spécification et l'implémentation de principes et de règles de conception dans un environnement gestion des connaissances ad hoc couplé à un système CAO et d'autre part le développement de mémoire métier pour les procédés de fabrication.



*Ces travaux ont fait l'objet de plusieurs publications dans des revues internationale et nationales, dans un ouvrage et dans le cadre de conférences internationales ainsi que de la coordination de numéro spéciaux de revues nationales :*

[7] Roucoules L., Skander A., Eynard B., XML-based Knowledge Management for DFM, *International Journal of Agile Manufacturing*, vol. 7, n° 1, pp. 71-79, 2004.

[8] Wang B., Eynard B., Roucoules L., Belloy Ph., Gestion des connaissances en génie de précontrainte : élaboration d'une mémoire métier dédiée aux procédés de traitement de surface, *Revue Française de Gestion Industrielle*, vol. 24, n° 1, pp. 81-92, 2005.

[9] Nowak P., Postansque R., Lafon P., Eynard B., Implémentation de KBE : Etude de cas en conception mécanique, *Document Numérique*, vol. 8, n° 1, pp. 107-121, 2004.

[13] Nowak P., Postansque R., Eynard B., Sellini F., Applications de système multi-agents coopératifs en conception assistée par ordinateur, *Gestion dynamique des connaissances industrielles*, Traité IC2 – série Informatique et systèmes d'information, Hermès Science Publications, Paris, pp. 295-313, ISBN 2-7462-0952-7, 2004.

[19] Ducellier G., Eynard B., Caillaud E., Spécification de principes et règles de conception pour la standardisation en ingénierie collaborative, *4ème Conférence Internationale sur la Conception et Production Intégrées - CPI 2005*, Casablanca, Maroc, 9-11 novembre 2005.

[20] Wang B., Belloy Ph., Song H., Eynard B., Methods and tools for the formalization and integration of design and manufacturing knowledge - Application for the shot peening process, *12th International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management - IE&EM 2005*, Chongqing, China, November 6-9, 2005.

[45] Roucoules L., Skander A., Eynard B., Knowledge management and XML-based application for manufacturing integration in design, *9th IPSE International Conference on Concurrent Engineering - CE 2002*, Cranfield, UK, July 27-31, 2002.

☺ Ces travaux ont été réalisés dans le cadre de l'encadrement du doctorat et des DEAs suivants :  
G. Ducellier, à soutenir fin 2007 ; sujet de la thèse : *Gestion des connaissances de projets d'ingénierie : contribution à la conception collaborative en génie mécanique.*

R. Postansque, septembre 2003 ; titre du mémoire de DEA : *Co-operative and competitive design agents in CAD/CAM platforms.*

B. Wang, septembre 2003 ; titre du mémoire de DEA : *Etude d'une mémoire métier pour capitaliser les procédés de traitement de surface en génie de précontrainte.*

#### **8.4 Conclusion en matière de connaissances industrielles**

Dans ce chapitre, nous avons fait état de nos travaux sur le thème de la dynamique de connaissances industrielles où nous avons exploré différents sujets toutefois complémentaires vis-à-vis de la conception intégrée. Ces sujets ont porté sur la description et à la traçabilité des processus d'ingénierie, la gestion des alternatives de conception intégrant la modélisation du produit et enfin la spécification et l'implémentation d'applications KBE.

Le premier sujet nous a conduit en parti au travers du projet IPPOP à étudier la modélisation et la traçabilité des projets d'ingénierie pour aboutir par exemple au développement de mémoire de projet archivant des connaissances réutilisables dans de futures activités de R&D. Concernant la gestion des alternatives de conception, nous avons pu compléter les approches de modélisation de produit afin de capitaliser les critères de sélection et les choix technologiques effectués durant les phases d'ingénierie. Enfin, nous avons travaillé sur l'implémentation des connaissances industrielles dans le cadre d'applications de *Knowledge Based Engineering* dédiées à la conception routinière de systèmes mécaniques.

Concernant les futures voies de recherche dans le domaine de la dynamique des connaissances industrielles, nous envisageons d'explorer les possibilités de systématiser la traçabilité des projets d'ingénierie et d'examiner la réutilisation des connaissances capitalisées dans cette approche. La modélisation des connaissances du produit fera bien évidemment toujours partie de nos préoccupations avec par exemple l'intégration à plus grande échelle de données métier. Enfin, dernier élément, nous souhaitons nous intéresser à des méthodes facilitant la gestion des connaissances depuis leur recueil jusqu'à leur implémentation dans des applications KBE.

## **9 Perspectives et projet de recherche**

A l'issu de ce bilan de nos activités d'enseignement et de recherche, nous venons conclure ce manuscrit avec une synthèse des éléments clé de notre parcours à l'Université de Technologie de Troyes suite au doctorat effectué à l'Université Bordeaux 1. Nous souhaitons aussi esquisser les perspectives de ces travaux à court, moyen et long terme au travers d'un projet de recherche. Enfin, nous entendons développer notre futur projet de recherche qui devrait orienter nos activités dans les prochaines années avec la pérennisation de l'existant mais aussi l'ouverture à des thématiques complémentaires.

Notre travail s'est très clairement inscrit dans l'axe de recherche « Intégration pour la conception » du LASMIS où nous avons, en étroite synergie avec nos collègues, contribué au développement d'une plateforme d'ingénierie intégrée et collaborative permettant la coopération des acteurs et l'intégration des connaissances métier durant le processus de conception. Nous avons apporté nos compétences scientifiques en génie mécanique et productique en dynamisant l'équipe avec l'accroissement des projets et des partenariats de recherche tant au plan national avec une forte implication au sein du GDR MACS qu'au niveau international avec la participation aux programmes européens comme ASIA-Link ou NoE VRL-KCiP notamment.

Au cours des six années passées au sein de cette équipe, nous avons étudié différents sujets de recherche qui ont été résumés dans ce manuscrit. Trois thèmes principaux ont été développés avec les méthodes d'ingénierie, la gestion du cycle de vie des produits et la dynamique des connaissances industrielles. Le premier thème nous a essentiellement conduit à nous interroger sur ce qu'est la conception de produits et à analyser les méthodes existantes afin de pouvoir mieux appréhender le contexte didactique qui en découle contribuant ainsi à mieux former les élèves-ingénieurs. Le second thème, quant à lui, nous a permis d'approfondir et d'asseoir une expertise reconnue par les mondes industriel et académique en matière d'échange et de gestion de données techniques ainsi que d'espaces coopératif d'ingénierie pour améliorer l'efficacité des équipes de conception et réduire voire supprimer les temps consacrés aux tâches à faible valeur ajoutée. Avec le troisième et dernier thème, nous nous sommes intéressé à la modélisation et à la traçabilité des projets d'ingénierie où nous avons considéré la gestion des alternatives de conception et le recueil de connaissances pour l'implémentation d'applications KBE et le développement de mémoires métier.

### **9.1 Pérennisation des recherches en cours**

Rappelons tout d'abord que nos travaux s'inscrivent dans une logique de conception intégrée où la dimension méthodologique est tout aussi importante que le développement d'environnement logiciels support du projet d'ingénierie. Ainsi, notre intérêt pour les méthodes de conception reste d'actualité afin d'être capable de proposer des outils intégrant l'évolution des usages et modes de travail qui découle de leur mise en place. Les applications PLM et KM sont tout à fait représentatives de cet enjeu car celles-ci ne se suffisent pas à elles-mêmes tant l'interaction avec l'utilisateur est forte ou fondamentale. Nombre d'expériences ou de projets ont échoué faute d'avoir considéré la méthode accompagnant le déploiement de l'outil.

Concernant la gestion du cycle de vie des produits, nous visons un renforcement de ce pôle de nos compétences avec notamment de nouveaux champs d'investigation. L'interopérabilité des SGDT et des applications XAO (dans les suites du projet IPPOP plus particulièrement) est un sujet certes largement étudié mais où les réponses nous semblent encore trop partielles. De même, les échanges de données dans le système d'information d'entreprise avec notamment les ERP et SCM, nous semblent

être encore un sujet à approfondir. Le développement d'un système de gestion des données de simulation offre un potentiel intéressant et original dans le panorama du PLM. La définition d'une méthode de déploiement des SGDT spécifiquement dédiée aux PME (ces systèmes n'existant à l'heure actuelle que chez les grands comptes industriels) fait aussi partie de nos objectifs. Nous pouvons enfin envisager des perspectives de recherche à court terme avec la mise en œuvre d'un environnement d'ingénierie collaborative afin de renforcer la synergie des équipes de projet en complément d'une approche de gestion du cycle de vie des produits.

Dans le domaine de la dynamique des connaissances industrielles, nous souhaitons explorer les possibilités de systématiser la traçabilité des projets d'ingénierie et étudier les moyens de réutiliser plus efficacement des connaissances capitalisées dans ce type d'approches. La modélisation des connaissances d'ingénierie mécanique fera bien évidemment toujours partie de nos préoccupations avec par exemple l'intégration et le partage des données métier à plus grande échelle. Enfin, dernier point, nous envisageons de nous intéresser à des méthodes facilitant la chaîne de gestion des connaissances depuis leur recueil jusqu'à leur implémentation dans des applications KBE en considérant toujours le contexte d'ingénierie collaborative où les compétences des acteurs sont très diverses et l'accès aux informations plus complexe.

## **9.2 Développements futurs**

Concernant notre projet de recherche à moyen terme, nous envisageons de travailler sur la convergence de la gestion du cycle de vie des produits et de la dynamique des connaissances industrielles afin de contribuer au développement et à l'intégration d'environnements logiciels ad hoc. Les outils d'aide à la conception sont tellement nombreux et divers qu'il n'est pas réaliste de vouloir fondre l'ensemble des logiciels dans un environnement unique. Nous voyons clairement se généraliser la problématique de l'interopérabilité logicielle sachant qu'un système « maître » devra superviser les interactions entre applications. Notre opinion est de voir s'étendre le champ d'action des SGDT ou le futur de ces systèmes qui se positionnera bien au-delà des logiciels d'ingénierie avec donc l'ensemble des applications mises en jeu dans le cycle de vie des produits. Ces futurs systèmes de gestion assureront aussi une fonction de catalyseur des savoir-faire de l'entreprise étendue où chacun peut communiquer et échanger son travail incluant donc les connaissances qu'il a introduites dans les fichiers et données techniques. Il faudra que ces systèmes intègrent des fonctionnalités de traitement de l'information afin de formaliser les connaissances des acteurs du projet et les rendre disponibles pour une réutilisation efficace dans de futures conceptions.

Cette approche nécessite la définition et la mise en place d'environnements logiciels ad hoc qui prendront en compte la gestion du cycle de vie des produits et la dynamique des connaissances industrielles où les acteurs de la conception pourront archiver, capitaliser, rechercher et réutiliser les informations pertinentes pour leurs projets d'ingénierie. Cette proposition s'articulera en deux parties, l'une portant sur l'environnement nécessaire pour traiter l'information et formaliser les connaissances, l'autre s'intéressant à la méthode pour assister au mieux les concepteurs dans leur travail.

## **9.3 Prospectives des recherches**

A plus long terme, nous envisageons deux orientations nouvelles pour nos activités de recherche. Celles-ci exploiteront bien évidemment nos compétences actuelles tout en offrant des perspectives d'ouverture de notre champ de recherche. La première portera sur la conception pour la maintenance et la fiabilité des systèmes mécaniques. Avec la seconde, nous nous intéresserons à la qualité et sécurité des informations techniques.

L'intégration des problématiques de sûreté de fonctionnement et de maintenance dans la conception des produits est un sujet rarement abordé dans les thèmes du *Design for X*. Elle s'inscrit aussi dans l'émergence de la notion de conception robuste qui représente un champ scientifique associant l'ingénierie des systèmes et la sûreté de fonctionnement.

La qualité et de la sécurité des informations techniques seront dans les années à venir un avantage concurrentiel majeur pour les entreprises. La généralisation de l'informatique a poussé la production de fichiers à son paroxysme. Avec les SGDT nous avons désormais la capacité d'archiver efficacement les données, mais garantir la qualité des informations techniques (pertinence, fiabilité, maturité, etc.) ou encore assurer la sécurité du projet et donc sa réussite vis-à-vis de l'exploitation de données (obsolescent, référencement, validité, etc.) affecteront significativement la performance des activités d'ingénierie et des processus d'entreprise au sens large.

Pour conclure, avec ces deux orientations futures, nous considérons pouvoir jeter les bases d'un projet de recherche solide s'appuyant sur les acquis scientifiques présentés tout au long de ce manuscrit.

## 10 Bibliographie

Afnor, 1995, NF EN ISO 8402 - X 50-120 : Management la qualité et assurance qualité - vocabulaire, *Gérer et assurer la qualité*, Afnor, Paris, 5ème édition.

Akgunduz, A., Zetu, D., Banerjee, P., Liang, D., 2002, Evaluation of sub-component alternatives in product design processes, *Robotics and Computer Integrated Manufacturing*, vol. 18, n° 1, pp. 69-81.

Andreasen, M.M., Hein, L., 1987, *Integrated product development*, Springer-Verlag, London.

Asimow, M., 1962, *Introduction to design*, Prentice-Hall, Englewood Cliffs.

Bacha, R., 2002, *De la gestion de données techniques pour l'ingénierie de production – Référentiel du domaine et cadre méthodologique pour l'ingénierie des systèmes d'information techniques en entreprise*, Thèse de doctorat, Ecole Centrale de Paris.

Bekhti, S., 2004, Mémoire de projet, *Document Numérique*, vol. 8, n° 1, pp. 137-150.

Bernard, A., 2000, Modèles et approches pour la conception et la production intégrées, *Journal européen des systèmes automatisés*, vol. 34, n° 2-3, pp. 163-193.

Bidarra, R., Bronsvoort, W.F., 2000, Semantic Feature modelling, *Computer-Aided Design*, vol. 32, n° 3, pp. 201-225.

Bloor, M.S., Owen, J., 1991, CAD/CAM product-data exchange: the next step, *Computer-Aided Design*, vol. 23, n° 4, pp. 237-243.

Blessing, L.T.M., *A process-based approach to computer-supported engineering design*, PhD Thesis of University of Twente, Enschede, 1994.

Booch, G., Rumbaugh, J., Jacobson, I., 1999, *The unified modelling language user guide*, Addison-Wesley, Reading.

Botta-Genoulaz, V., Millet, P.A., Grabot, 2005, A survey on the recent research literature on ERP systems, *Computers in Industry*, vol. 56, pp.510-522.

Bouazza, M., 1995, *La norme STEP – Principes, formalisme et mise en oeuvre*, Hermès, Paris.

Braudel, H., Nicot, M., Dunyach, J.C., 2001, Overall Presentation of the ENHANCE Project, Production cost & Time to market - Aircraft Technologies, *Air & Space Europe*, vol. 3, n° 3-4, pp. 49-52.

Brown D.C., Chandrasekaran B., Expert system for a class of mechanical design activities, *Knowledge Engineering in Computer Aided Design*, Elsevier, Amsterdam, 1985

Browne, J., Sackett, P.J., Wortmann, J.C., 1995, Future manufacturing systems – Towards the extended enterprise, *Computers in Industry*, vol. 25, n° 3, pp. 235-254.

CAA V5, 2002, *CAA – V5R09 Encyclopedia*, Dassault Systèmes, Paris.

Caillaud, E., 1995, *Modélisation des connaissances – un outil d'aide à la conception des montages d'usinage*, Thèse de doctorat, Université Bordeaux 1.

Callot M., Quencez P., Vargas C., 1999, MOKA : projet de développement d'une méthode et des outils associés pour la réalisation d'applications à base de connaissances pour la CFAO, *18ème Conférence Internationale sur la CFAO, la Simulation et les Nouvelles Technologies de Conception et de Fabrication – MICAD'99*, Paris, France, 9-12 février.

Carratt B., 2002, *Ingénierie collaborative et gestion de données techniques en certification aéronautique*, Mémoire de DRT, Université de Technologie de Troyes.

CIMdata, 2003, *Product Lifecycle Management "Empowering the Future of Business"*, CIMdata Inc, Ann Arbor, <http://www.cimdata.com>

Chambolle, F., 1999, *Un modèle produit piloté par les processus d'élaboration : Application au secteur automobile dans l'environnement STEP*, Thèse de doctorat, Ecole Centrale de Paris.

Chandrasekaran, B., 1990, Design problem solving: a task analysis, *AI Magazine*, vol. 11, Winter, pp 59-71.

Chapman, C., 1997, *The design process: a need to rethink the solution using knowledge based engineering*, MSc Thesis, University of Warwick.

Chen, L., Wang, T., Song, Z., 2004, A Web-based Product Structure Manager to Support Collaborative Assembly Modeling, *Journal of Computing and Information Science in Engineering*, vol. 4, n° 1, pp. 67-78.

Coppens C., 2002, Les outils KBE : une approche chez PSA Peugeot Citroën, *4th International Conference on Integrated Design and Manufacturing in Mechanical Engineering – IDMME 2002*, Clermont Ferrand, France, May 14-16.

Cross, N., 1989, *Engineering Design Methods*, Wiley, Chichester.

Debaecker, D., 2004, *PLM, la gestion collaborative du cycle de vie des produits, Product Life-Cycle Management*, Hermès - Lavoisier, Paris.

Dieng, R., Corby, O., Gandon, F., Giboin, A., Golebiowska, J., Matta, N., Ribière, M., 2001, *Méthodes et outils pour la gestion des connaissances : une approche pluridisciplinaire du Knowledge Management*, Dunod, Paris.

Doumeingts, G., Browne J., 1996, *Modelling techniques, business process and benchmarking*, Chapman & Hall, London.

Duchamp, R., 1999, *Méthodes de conception de produits nouveaux*, Hermès Science Publications, Paris.

Duprieu B., Caillaud E., Courbot S., Fortunier R., 2000, Conception d'outillages pour emboutissage profond : capitalisation de connaissances, *3rd International Conference on Integrated Design and Manufacturing in Mechanical Engineering – IDMME 2000*, Montréal, Québec, Canada, May 16-19.

Eloranta, E., Hameri, A.P., Lahti, L., 2001, Improved project management through improved document management, *Computers in Industry*, vol. 45, n° 3, pp. 231-243.

Féru, F., Viel, C. 1998, *Echanger avec le protocole d'application 203 de STEP*, GOSET, Paris.

Franck, D., 1999, The importance of knowledge management for BMW, *12th International Conference on Engineering Design - ICED'99*, Munchen, Germany, August 24-26.

Gallet, T., 2003, *Méthode de déploiement d'un SGDT en ingénierie mécanique et aéronautique*, Mémoire de DRT, Université of Technologie de Troyes.

Garro, O., Salau, I., Martin, P., 1995, Distributed design theory methodology, *Concurrent Engineering Research and Applications*, vol. 3, n° 1, pp. 43-54.

Gardan Y., 1990, *Outils et applications de l'intelligence artificielle en CFAO*, Hermès, Paris.

Gero J.S., Artificial intelligence in computer-aided design: Progress and prognosis, *Computer-Aided Design*, vol. 28, n°3, pp 153-154, 1996.

Gerson, P., 1995, Developments in Groningen's Design Engineering, *SEFI Annual Conference*, Compiègne, France, 6-8 septembre.

Gerson P., Green G., 2001, Open Dynamic Design (ODD): Influences of the industrial and institutional context on product development », *2nd International Conference on Advanced Engineering Design*, Glasgow, UK, June 24-26.

Girard, Ph., Castaing, A., Noel, F., 2002, Product-Process-Organisation integration to support design performance, *Pacific Conferences on Manufacturing*, Bangkok, Thailand, November 27-29.

Gomes, S, Sagot, J.C., 2002, A concurrent engineering experience based on a cooperative and object oriented design methodology, *Integrated Design and Manufacturing in Mechanical Engineering*, Kluwer Academics Publisher, Dordrecht.

Goranson, H.T., 2003, Architectural support for the advanced virtual enterprise, *Computers in Industry*, vol. 51, n° 2, pp. 113-125.

Grabowski H., Lossack R.S., Weis C., 1996, Supporting the design process by an integrated knowledge based design system, *Advances in Formal Design Methods for CAD*, Ed. Gero, J.S., Sudweeks, F., Chapman & Hall, London.

Green, G, Macdonald, A., 1990, A Joint Course in Product Design Engineering, *Seminar on Approaches to the Teaching of Design*, Glasgow, UK, June 5.

Green, G., Kennedy, P., 1997, The first ten years of Product Design Engineering », *11<sup>th</sup> International Conference on Engineering Design – ICED '97*, Tampere, Finland, August, 19-21.

Green, G., Gerson, P., 1999, Open Dynamic Design: Towards a European Model for an Engineering Design Curriculum, *21st SEED Annual Design Conference and 6th National Conference on Product Design Education*, Glasgow, UK, September 7-8.

Gzara, L., 2000, *Les patterns pour l'ingénierie des systèmes d'information produit*, Thèse de doctorat, Institut National Polytechnique de Grenoble.

Hardwick, M., Morris, K.C., Spooner, D.L., Rando, T., Denno, P., 2000, Lessons learned developing protocols for the industrial virtual enterprise, *Computer-Aided Design*, vol. 32, n° 2, pp. 159-166.

Helms, R.W., 2002 *Product Data Management as enabler for concurrent engineering – Controlling the flow of preliminary information in product development*, PhD Thesis, Technical University of Eindhoven.

Huang, G.Q., 2002, Web-based support for collaborative product design review, *Computers in Industry*, vol. 48, n° 1, pp. 71-88.

Huang, G.Q., Mak, K.L., 1999, Web-based collaborative conceptual design, *Journal of Engineering Design*, vol. 10, n° 2, pp. 183-194.

Hubka, V., Eder, W.E., 1988, *Theory of technical systems*, Springer-Verlag, Berlin.

Hunten, K., 2000, Enterprise Analysis Information Integration with STEP, *NASA's STEP for Aerospace Workshop*, Pasadena, USA, January 25-27.

ISO 10303-1, 1994, *STEP – Part 1: Overview and fundamental principles (International Standard)*, International Standard Organisation, Geneva.

ISO 10303-42, 1994, *STEP - Part 42: Integrated generic resource: Geometric and topological representation (International Standard)*, International Standard Organisation, Geneva.

ISO 10303-104, 2000, *STEP – Part 104: Integrated Application Resource: Finite Element Analysis (International Standard)*, International Standard Organisation, Geneva.

ISO 10303-108, 2003, *STEP – Part 108: Integrated application resource: Parameterization and constraints for explicit geometric product models (Draft International Standard)*, International Standard Organisation, Geneva.

ISO 10303-203, 1994, *STEP – Part 203: Application protocol: Configuration controlled design of mechanical parts and assemblies (International Standard)*, International Standard Organisation, Geneva.

ISO 10303-203-E2, 2000, *STEP - Part 203: Application protocol: Configuration controlled design of mechanical parts and assemblies (Preliminary Work Item)*, International Standard Organisation, Geneva.

ISO 10303-209, 2001, *STEP – Part 209: Application Protocol: Composite and Metallic Structural Analysis and Related Design (International Standard)*, International Standard Organisation, Geneva.

Jagdev, H.S., Browne, J., 1998, The extended enterprise – a context for manufacturing, *Production Planning & Control*, vol. 9, n° 3, pp. 216-229.

Kettani N., Mignet D., Pare P., Rosenthal-Sabroux C., 1998, *De Merise à UML*, Eyrolles, Paris.

Kolodner, J.L., 1993, *Case Based Reasoning*, Morgan Kaufmann, San Mateo.

Kovács, G.L., Paganelli, P., 2003, A planning and management infrastructure for large, complexe, distributed projects – beyond ERP and SCM, *Computers in Industry*, vol. 51, n° 2, pp. 165-183.

Krause, F.L., Kimura, F., Kjelberg, T., Lu, S.C.Y., 1993, Product modelling, *Annals of the CIRP*, vol. 42, n° 2, pp. 695-706.

Kvan, T., 2000, Collaborative Design: what is it, *Automation in construction*, vol. 9, n° 4, pp. 409-415.

Lafon, P., 1994, *Conception optimal de systèmes mécaniques : optimisation en variable mixte*, Thèse de doctorat, INSA de Toulouse.

Le Moigne, J.L., 1977, *La théorie du système général - théorie de la modélisation*, Presses Universitaires de France, Paris.

Leyman, F., Roller, D., 2000, *Production Workflow*, Prentice-Hall, Englewood Cliffs.

Liu, D.T., Xu, X.W., 2001, A review of web-based product data management systems, *Computer in Industry*, vol. 44, n° 3, pp. 251-262.

Lovett, P.J., Ingram, A., Bancroft, C.N., 2000, Knowledge-based engineering for SMEs: a methodology, *Journal of Materials Processing Technology*, vol. 107, n° 1-3, pp. 384-389.

Machner, B., Ungerer, M., 1998, Mapping the user requirements from the VDAORG with the STEP PDM Schema, *ProductData Journal*, vol. 5, n° 1, pp. 8-9.

Maher, M.L., 1998, CBR as a framework for design, *AAAI Workshop on Case Based Reasoning Integrations*, Madison, USA, July 26.

Marshall, C., 2000, *Enterprise Modeling with UML*, Addison-Wesley, Reading.

Marty, C., Linares, J.M., 1999, *Industrialisation des produits mécaniques – Conception et industrialisation*, Hermès Science Publications, Paris.

Matta, N., 2004, Ingénierie des connaissances en conception pour la mémoire de projets, Habilitation à diriger des recherches, Université de Technologies de Compiègne.

Maurino, M., 1995, *La gestion des données techniques*, Masson, Paris.

Morris, H., Lee, S., Shan, E., Zang, S., 2004, Information Integration Framework for Product Lifecycle Management of Diverse Data, *Journal of Computing and Information Science in Engineering*, vol. 4, n° 4, pp. 352-358.

Noël, F., Roucoules, L., Teissandier, D., Specification of product modelling concept dedicated to information sharing in a collaborative design context, *5th International Conference on Integrated Design and Manufacturing in Mechanical Engineering – IDMME'04*, Bath, UK, April 5-7, 2004.

O'Sullivan, B.A., 1999, *Constraint-Aided Conceptual Design*, PhD Thesis, National University of Ireland at Cork.

Ouazzani, A., 1999, *La méthode SAGEP pour l'aide à la gestion de l'historique de conception*, Thèse de doctorat, Ecole Centrale de Paris, France.

Pahl, G., Beitz, W., 1984, *Engineering Design – A Systematic Approach*, Springer-Verlag, London, 1996 2nd Edition.

Palmer, M., Gilbert, M., 1998, Guidelines for the Development and Approval of STEP Application Protocols, ISO TC184/SC4 N535.

Pardessus, T., 2001, The Multi-Site Extended Enterprise Concept in the Aeronautical Industry, *Air & Space Europe*, vol. 3, n° 3-4, pp. 46-48.

Peak, R.S., Lubell, J., Srinivasan, V., Waterbury, S.C., 2004, STEP, XML, and UML: Complementary Technologies, *Journal of Computing and Information Science in Engineering*, vol. 4, n° 4, pp. 379-390.

Perrin, J., 1996, Modélisation du processus de production d'innovation, *La performance économique en entreprise*, Ed. Jacot, J.H., Micaelli, J.P., Hermès, Paris

Ping Hew, K., Fisher, N., Awbi, H., 2001, Towards an integrated set of design and tools based on a common data format for building and services design, *Automation in Construction*, vol. 10, n°4, 2001, pp. 459-476.

Prasad, B., 1996, *Concurrent engineering fundamentals – Vol. 1*, Prentice-Hall, Englewood Cliffs.

Pratt, M.J., 2004, A new ISO 10303 (STEP) Resource for Modeling Parameterizations and Constraints, *Journal of Computing and Information Science in Engineering*, vol. 4, n°4, pp. 339-351.

Pratt, M.J., 2005, ISO 10303, the STEP standard for product data exchange, and its capabilities, *International Journal of Product Lifecycle Management*, vol. 1, n°1, pp. 86-94.

Pratt, M.J., Anderson, B.D., Ranger, T., 2005, Towards the standardized exchange of parametrized feature-based CAD models, *Computer-Aided Design*, vol. 37, pp. 1251-1265.

Pugh, S., 1990, *Total Design – Integrated Methods for Successful Product Engineering*, Addison-Wesley, Wokingham.

Randoing, J.M., 1995, *Les SGDT*, Hermès, Paris.

Rieu, D., Bounaas F., Morat, O., Tamzalit, D., 1997, De la méta-circularité au service de la méta-modélisation, *Congrès INFORSID '97*, Toulouse, France, 10-13 juin.

Rivière, A., 2004, *Gestion de configuration et des modifications lors du développement de rands produits complexes en ingénierie concurrente – Cas d'application aéronautique*, Thèse de doctorat, Institut National Polytechnique de Grenoble.

Robin, V., Rose, B., Girard, Ph., Lombard, M., 2004, Management of engineering design process in collaborative situation, *CIRP Design Seminar*, Cairo, Egypt, May 17-19.

Rodriguez, K., Al-Ashaab, A., 2005, Knowledge web-based system architecture for collaborative product development, *Computers in Industry*, vol. 56, pp. 125-140.

Roozenburg, N.F.M., Eekels, J., 1995, *Product Design: Fundamentals and Methods*, Wiley, Chichester.

Rose, B., Lombard, M., 2003, Cycle de vie et formalisation des échanges lors de la gestion de conflits en conception collaborative, *Revue internationale de CFAO et d'informatique graphique*, vol. 18, n° 4, pp. 427-445.

Roucoules, L., 1999, *Méthodes et connaissances : contribution au développement d'un environnement de conception intégrée*, Thèse de doctorat, Institut National Polytechnique de Grenoble.

Roucoules, L., Tichkiewitch, S., 2000, CoDE: a Co-operative Design Environment. A new generation of CAD systems, *Concurrent Engineering Research and Application*, vol. 8, n° 4, pp. 263-280.

Saaksvuori, A., Immoen, A., 2004, *Product Lifecycle Management*, Springer-Verlag, Berlin.

Sadoul, D., 2000, La maquette numérique : Un exemple de développement industriel, *Mécanique & Industries*, vol. 1, n° 4, pp. 373-382.

Saikali, K., 2001, *Flexibilité des workflows par l'approche objet: 2Flow: un framework pour workflows flexibles*, Thèse de doctorat, Ecole Centrale de Lyon.

Saxena M., Irani R.K., 1994, A knowledge based engineering environment for automated analysis of nozzles, *Concurrent Engineering Research and Applications*, vol 2, n°1.

Schön, D.A., 1987, *Educating the Reflective Practitioner*, Jossey-Bass Publishers, San Francisco.

Segarra, G., 1999, The advanced information technology innovation roadmap, *Computers in Industry*, vol. 40, n° 2-3, pp. 185-195.

Shah, J.J., Jeon, D.K., Urban, S.D., Bliznakov, P., Rogers, M.T., 1996, Database infrastructure for supporting engineering design histories, *Computer-Aided Design*, vol. 28, n° 5, pp 347-360.

Scheer, A.W., 1999, *ARIS – Business process modelling*, Springer-Verlag, Berlin.

Shen, W., 2003, Knowledge sharing in collaborative design environment, *Computers in Industry*, vol. 52, n° 1, pp. 1-3.

Smith, J., Duffy, A., 2001, Modularity in support of design for re-use, *13th International Conference on Engineering Design - ICED 01*, Glasgow, UK, August 21-23.

Sohlenius, G., 1992, Concurrent Engineering, *Annals of the CIRP*, vol. 41, n° 2, pp. 645-655.

Sriram, D., Stephanopoulos, G., Logcher, R., Gossard, D., 1989, Knowledge based system : application in engineering design, *AI Magazine*, vol. 10, n° 3, pp. 79-95.

Stark, J., *et al.*, 2004, *Product Lifecycle Management - Paradigm for 21st century Product Realisation*, Springer-Verlag, Berlin.

Su, D., Wakelam, M., Jambunathan, K., 2000, Integration of a knowledge-based system, artificial neural networks and multimedia for gear design, *Journal of Materials Processing Technology*, vol. 107, n° 1-3, pp. 53-59.

Subrahmanian, E., Rachuri, S., Fenves, S.J., Fofou, S., Sriram, R.D., 2005, Product lifecycle management support: a challenge in supporting product design and manufacturing in a networked economy, *International Journal of Product Lifecycle Management*, vol. 1, n° 1, pp. 4-25.

Susca, L., Mandorli, F., Rizzi, C., Cugini, U., 2000, Racing car design using knowledge aided engineering, *Artificial Intelligence for Engineering Design, Analysis and Manufacturing*, vol. 14, n° 3, pp. 235-249.

Terzi, S., 2005, *Elements of Product Lifecycle Management: Definitions, Open Issues, and Reference Models*, PhD Thesis, Politecnico di Milano.

Tichkiewitch, S., 1994, De la CFAO à la conception intégrée, *International Journal of CAD/CAM and Computer Graphics*, vol. 9, n° 5, pp 609-621.

Tichkiewitch, S., 1996, Specification on integrated design methodology using a multi-view product model, *ASME Engineering Systems Design and Analysis Conference – ESDA '96*, Montpellier, France, July 1-4.

Tichkiewitch, S., Roucoules, L., 1999, Methodology for innovative design, *Integration of process Knowledge into Design Support*, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.

Tollenaere, M., 1991, *Application de l'intelligence artificielle à la conception mécanique : un exemple, les blocs forés hydrauliques*, Thèse de doctorat, Université Joseph Fourier - Grenoble 1.

Tollenaere, M. *et al.*, 1998, *Conception de produits mécaniques : méthodes, modèles et outils*, Hermès Science Publications, Paris.

Trousse, B., 1989, *Coopération entre systèmes à base de connaissances et outils de CAO : l'environnement multi-agent ANAXAGORE*, Thèse de doctorat, Université de Nice Sophia-Antipolis.

Tsang, J.P., Brissaud, D., 1987, Méthodologie de structuration, illustration sur la conception d'un système de CFAO PROPEL, *Revue Internationale de CFAO et d'Informatique Graphique*, vol. 2, n°3.

Ullman, D.G., 1992, *The Mechanical Design Process*, McGraw-Hill, New York.

Vancza, J., 1999, Artificial intelligence support in design: a survey, *Integration of Process Knowledge into Design Support Systems*, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.

Vernadat, F.B., 1999, Techniques de modélisation en entreprise – Application aux processus opérationnels, Economica, Paris.

VIVACE, 2005, <http://www.vivaceproject.com>

Wang, H.F., Zhang, Y.L., 2002, CAD/CAM integrated system in collaborative development environment, *Robotics and Computer Integrated Manufacturing*, vol. 18, n° 2, pp. 135-145.

Wright, I.C., 1997, A review on research into engineering change management: implications for product design, *Design Studies*, vol. 18, n° 1, pp. 33-42.

Xu, X.W., Liu, D.T., 2003, A web-enabled PDM system in a collaborative design environment, *Robotics and Computer Integrated Manufacturing*, vol. 19, n°4, pp. 315-328.

Yvars, P.A., 2001, *Contribution à la représentation de connaissances en ingénierie intégrée de produits et de systèmes automatisés de production*, Habilitation à diriger des recherches, Institut National Polytechnique de Grenoble.

Zhang, S, Shen, W., Gheniwa, H., 2004, A review of Internet-based product information sharing and visualization, *Computers in Industry*, vol. 54, n° 1, pp. 71-88.

Zhang, F., Xue D., 2001, Optimal concurrent design based upon distributed product development life-cycle modeling, *Robotics and Computer Integrated Manufacturing*, vol. 17, n° 6, pp. 469-486

Zhang, Y., Zhang C., Wang, B., 1998, Interoperation of STEP application protocols for product data Management, *Concurrent Engineering Research and Applications*, vol. 6, n° 2, pp. 161-169.

Zhang Y., Zhang C., Wang, H.P., 2000, An Internet based STEP data exchange framework for virtual enterprises, *Computers in Industry*, vol. 41, n° 1, pp. 51-63.

Zhuang, Y., Chen, L., Venter, R., 2000. CyberEye : an Internet-enabled environment to support collaborative design, *Concurrent Engineering Research and Applications*, vol. 8, n° 3, pp. 213-229.



# Partie C

## Annexes

### Sommaire

Première annexe : Eynard B., Gallet T., Roucoules L., Ducellier G., PDM System Implementation based on UML, *Mathematics and Computers in Simulation*, vol. 70, n° 5-6, pp. 247-442, 2006.

Deuxième annexe : Song H., Eynard B., Lafon P., Roucoules L., Towards Integration of CAx Systems and a Multiple-View Product Modeller in Mechanical Design, *Acta Polytechnica*, vol. 45, n° 3, pp. 26-31, 2005.

Troisième annexe : Merlo C., Eynard B., Girard Ph., Odinet A., Gallet T., Compared Implementations of PDM Systems based on UML Specifications, *International Journal of Product Lifecycle Management*, vol. 1, n° 1, pp. 52-69, 2005.

Quatrième annexe : Eynard B., Liénard S., Charles S., Odinet A., Web based Collaborative Engineering Support System: Applications in Mechanical Design and Structural Analysis, *Concurrent Engineering: Research & Applications*, vol. 13, n° 2, pp. 145-153, 2005.

Cinquième annexe : Charles S., Eynard B., Bartholomew P., Paleczny C., Standardisation of the Finite Element Analysis Data Exchanges in Aeronautics Concurrent Engineering, *Journal of Computing and Information Science in Engineering*, vol. 5, n° 1, pp. 63-66, 2005.

Sixième annexe : Eynard B., Gallet T., Nowak P., Roucoules L., UML based Specifications of PDM Product Structure and Workflow, *Computers in Industry*, vol. 55, n° 3, pp. 301-316, 2004.

Septième annexe : Roucoules L., Skander A., Eynard B., XML-based Knowledge Management for DFM, *International Journal of Agile Manufacturing*, vol. 7, n° 1, pp. 71-79, 2004.