

N° d'ordre : 730

ÉCOLE DOCTORALE MSII (ED n°269)

« Mathématiques, Sciences de l'Information et de l'Ingénieur »

Mémoire en vue de l'obtention de

L'Habilitation à Diriger des Recherches
de l'Université Louis Pasteur - Strasbourg I
Présentée par

Amadou COULIBALY

Maître de Conférences 60^{ème} Section

Modélisation Sémantique et Evaluation de Performances
Comportementales de Produits en Conception

Soutenue le 19 Juin 2008

Membres du jury

Alain BERNARD	Professeur des Universités	Ecole Centrale de Nantes	Rapporteur externe
Serge TICHKIEWITCH	Professeur des Universités	ENSHM de Grenoble	Rapporteur externe
Yves REMOND	Professeur des Universités	U.L.P. de Strasbourg	Rapporteur interne
Daniel NOYES	Professeur des Universités	ENI de Tarbes	Examinateur
Daoud AIT-KADI	Professeur Titulaire	Université Laval, Canada	Examinateur
Emmanuel CAILLAUD	Professeur des Universités	U.L.P. de Strasbourg	Examinateur
Bernard MUTEL	Professeur des Universités	INSA de Strasbourg	Garant d'Habilitation

REMERCIEMENTS

Mes sincères remerciements à tous mes collègues, collaborateurs et partenaires industriels pour le chemin parcouru ensemble.

Je remercie Monsieur Le Professeur Bernard MUTEL, Garant d'habilitation, et tous les membres du jury pour leurs conseils et leurs contributions à travers nos différents échanges.

Mes remerciements s'adressent également à ma famille pour son soutien tout au long de ce travail et pour sa patience pendant mes absences.

SOMMAIRE

SOMMAIRE

I.	INTRODUCTION	8
II.	CURRICULUM VITAE.....	10
III.	ACTIVITES D'ENSEIGNEMENT.....	17
III.1	Enseignements (cours, TD, TP, Projets).....	17
III.2	Encadrement et transfert de technologies	20
IV.	ACTIVITES DE RECHERCHE.....	22
IV.1	Etat de l'art	22
IV.1.1	Modélisation de produit.....	22
IV.1.2	Evaluation de performances de produits	26
IV.2	Contribution sur la modélisation de produit.....	27
IV.2.1	Représentation et reconnaissance de "Features".....	27
IV.2.2	Modélisation produit pour la gestion et la logistique.....	28
IV.2.3	Modélisation sémantique	29
IV.2.4	Matrice Sémantique	31
IV.3	Contribution sur l'évaluation de performances comportementales	33
IV.3.1	Approche d'évaluation de performances comportementales.....	34
IV.3.2	Procédure d'évaluation comportementale	34
IV.3.3	Description du comportement	35
IV.3.4	Architecture logicielle.....	40
IV.4	Applications	41
IV.4.1	Evaluation de la fiabilité.....	41
IV.4.2	Evaluation de la maintenabilité.....	41
IV.4.3	Évaluation sur le cycle de vie	45
V.	ENCADREMENT DE TRAVAUX DE RECHERCHE.....	47
V.1	Encadrement de thèses	47
V.2	DEA, Masters, Thèses CNAM.....	59
VI.	ACTIVITES DE TRANSFERT DE TECHNOLOGIES	62
VII.	CONCLUSIONS	64
VIII.	PERSPECTIVES	67
VIII.1	Modélisation sémantique	68
VIII.1.1	Stratégie de décomposition du produit	68
VIII.1.2	Modélisation des liaisons	69
VIII.1.3	Disponibilité des données sémantiques.....	69
VIII.2	Evaluation comportementale	71
VIII.2.1	Evaluation contextuelle sur le cycle de vie.....	72
VIII.2.2	Evaluation de produits complexes	75
VIII.3	Documents de maintenance personnalisés interactifs.....	76
VIII.4	Intégration avec d'autres démarches de conception.....	76

VIII.5	Démonstrateur du système Product-BPAS.....	77
VIII.6	Le Projet MPC-SM (Modélisations et Performances Comportementales des Systèmes Mécaniques)	78
VIII.7	Conclusions	78
IX.	PUBLICATIONS ET COMMUNICATIONS	80
IX.1	Publications dans des revues avec Comité de Lecture [réf. A].....	80
IX.2	Publications soumises dans revues à Comité de Lecture [réf. AS].....	80
IX.3	Communications aux conférences avec Comité de Lecture [réf. B].....	81
IX.4	Communications acceptées aux conférences avec Comité de Lecture	84
IX.5	Conférences invitées [réf. C]	84
IX.6	Rapports de contrats sur les 5 dernières années [réf. D].....	85
IX.7	Supports de cours [réf. S].....	85
X.	REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	87
XI.	ANNEXE 1: DÉMONSTRATEUR PRODUCT-BPAS.....	98
XII.	ANNEXE 2 : PRINCIPALES PUBLICATIONS RECENTES	101

INTRODUCTION

I. INTRODUCTION

Ce document retrace l'évolution de mon parcours d'enseignant-chercheur et résume mes principales contributions scientifiques qui portent sur la Modélisation sémantique et l'Évaluation des Performances Comportementales de produits mécaniques en phase de conception.

Suite à une reconversion thématique en octobre 1991, j'ai rejoint comme Maître de Conférences (60^{ème} section CNU) le Laboratoire de Recherche en Productique de Strasbourg (LRPS) de l'INSA devenu Laboratoire de Génie de la Conception (LGECO).

Depuis 1991, mes travaux ont porté sur la modélisation de produits basée sur la représentation et la reconnaissance des caractéristiques fonctionnelles (Features) en environnement CAO. Ils ont pour objectif de fournir un support pour la mise en œuvre d'outils d'analyse post-conception comme le calcul de simulation mécanique, l'élaboration de gammes d'usinage ou d'assemblage.

Depuis 2000, j'ai étendu ce champ de modélisation au cycle de vie en vue de développer une approche d'évaluation des performances comportementales des produits en phase de conception avec des applications dans les domaines de la maintenabilité, de la fiabilité, de la sécurité, de la disponibilité, de la recyclabilité, ou encore de l'analyse de l'impact environnemental.

Au sein du LGECO, je participe aux activités du groupe Ingénierie Intégrée et Conception Collaborative (2I2C) de l'équipe LICIA (Laboratoire d'Ingénierie Cognitive et d'Intelligence Artificielle). Ces travaux s'inscrivent également dans la thématique du groupe IS3C (Ingénierie des Systèmes de Conception et Conduite du Cycle de vie) de l'axe Conception du pôle STP (Sciences et Techniques de Production) du GDR/MACS (Groupe de Recherche/ Modélisation, Analyse, Conduite des Systèmes de Production dynamiques), et ils sont réalisés en collaboration avec le Laboratoire de Génie Mécanique de l'Université Laval du Québec.

Mes activités d'enseignement se sont principalement déroulées au sein du Département Mécanique de l'INSA de Strasbourg pour le second cycle. J'ai également enseigné en 3^{ème} Cycle à l'ULP de Strasbourg, à l'ENSGSI de Nancy, en formation continue au CNAM et à l'INPL de Nancy.

Par ailleurs, au sein de l'INSA, je me suis très fortement impliqué dans les activités de transfert de technologie et d'encadrement de projets de recherche-développement auprès d'entreprises industrielles.

Après l'introduction, ce mémoire présente successivement mon curriculum vitae, mes activités d'enseignement, mes activités de recherche et d'encadrement, les activités de transfert de technologie, une conclusion, mes perspectives de recherche. L'annexe 1 présente le démonstrateur du système Product-BPAS alors que l'annexe 2 contient nos principales publications récentes sur nos travaux actuels.

CURRICULUM VITAE

II. CURRICULUM VITAE

1- Etat civil

Amadou COULIBALY
Né le 20/08/1958 à Sédhiou (Sénégal)
Nationalité Française
Marié, 3 enfants

Adresse privée
8, rue des Prés
67370 Willgottheim
Tél. : 03 88 87 81

Courriel : amadou.coulibaly@insa-strasbourg.fr

2- Formation

- 1978-1983: Diplôme d'Ingénieur de Conception en Génie Mécanique cohabilité Ecole Polytechnique de Thiès (Sénégal) et Ecole Polytechnique de Montréal (Canada)
- 1984-1985: D.E.A. en Energétique, Mention A Bien
Ecole Nationale Supérieure de Physique de Strasbourg.(ENSPS)
Université Louis Pasteur (ULP)
- 1985-1989: Thèse de Doctorat en Energétique, Mention Très Honorable
Université Louis Pasteur de Strasbourg
Sujet: *Contribution à l'amélioration de la qualité des mesures du rayonnement solaire, Contrôle de cohérence des éclairagements solaires, Correction de directionnalité du pyranomètre.*
Directeur de thèse : Gérard HUG, Professeur des Universités à l'Ecole Nationale Supérieure des Arts et Industries de Strasbourg (E.N.S.A.I.S.)

3- Carrière

- 1983-1984: Ingénieur de Recherche
Département « Nouvelles Technologies et Innovation Industrielle »
Ministère de la recherche Scientifique et Technique, Sénégal.
- 1989-1991: A.T.E.R. à l'ENSAIS
- Depuis 1991: Maître de Conférences (60^{ème} section) au Laboratoire de Génie de la Conception de l'INSA de Strasbourg au sein du LICIA (Laboratoire Ingénierie Cognitive et Intelligence Artificielle), groupe 2I2C (Ingénierie Intégrée et Conception Collaborative) :
- Thématique de recherche*: Modélisation Sémantique de produits et Évaluation de performances comportementales en cours de conception.
 - *Enseignements* : 2nd cycle au département mécanique de l'INSA, 3^{ème} cycle à l'ULP et ENCSI Nancy, Formation Continue au CNAM, FIP.
Disciplines : Conception mécanique et Informatique

4- Activités d'enseignement

- Charge d'enseignement annuelle moyenne : 190 h équivalent TD
- Informatique /Productique
 - Algorithmique et Programmation (24h Cours, 12h TP, 12h TD)
 - Langages (Java, C++), Systèmes d'exploitation (Unix, Windows)
 - Génie Logiciel, Bases de Données (8h Cours, 12TP, 16h Projets)

- Langage Java, Bases de Données (Access, MySQL, SQL Server)
- Productique (16h Cours, 16h Projets)
- Ingénierie Simultanée & Gestions des Données Techniques
- Construction et Fabrication Mécaniques
 - CAO (4h Cours, 24h TP, 24h Projets)
 - Logiciels: Unigraphics, Catia, Pro-Engineer, SolidWorks, AutoCAD
- Mécanique
 - Mécanique Générale (12h TP)
 - Résistance des Matériaux (12h TP)
 - Calcul de Structures par Eléments Finis (8h TP)
 - Logiciels: Ansys, Unigraphics (Structure), Pro-Engineer (Mechanica)
- Création de cours et de TP en Ingénierie Simultanée, en Gestion de Données Techniques, et en Bases de Données dans les spécialités Mécatronique et Génie Mécanique.
- Professeur principal de la classe de 3^è Année Spécialité Mécatronique (Bac+3).

5- Encadrement de PFE et de travaux de transfert de technologies

- Encadrement de 2 Projets de Fin d'Études (PFE) en moyenne par an.
- Contrats de transfert de technologies (PFE, Cortechs, OARA : Opération Alsace Robotique Avancée)
 - 12 contrats industriels de transfert de technologies (PFE, Cortechs)
 - 3 contrats industriels de Recherche & Développement (Peugeot, Roth-Frères, Tornos)

6- Activités de recherche

6.1 Modélisation de produits

- Définition d'un modèle de représentation de caractéristiques fonctionnelles (Features) dans les systèmes de CAO mécanique.
- Formalisation de la description et de la reconnaissance de Features par la grammaire de Plex.
- Proposition d'un modèle produit de représentation des données de gestion et de logistique en langage Express / Norme STEP ISO-10303.
- Élaboration d'un modèle sémantique de produits pour l'évaluation de Performances Comportementales en conception.

6.2 Évaluation de Performances Comportementales de produits

- Définition d'une approche générique d'évaluation des performances comportementales de produits mécaniques en phase de conception.
- Application de cette approche à la fiabilité, à la maintenabilité, à la sécurité et à l'évaluation de l'impact environnemental.

6.3 Encadrement de thèses, DEA, Masters

- 3 thèses de doctorat soutenues en 1990, 1998, et 2005.
- 1 thèse en cours en cotutelle avec l'Université Laval, Québec, Canada
- 1 thèse en cours en cotutelle avec l'Université Tshingua, Beijing, Chine
- 1 thèse en cours en cotutelle avec l'Université Cheikh Anta Diop, Dakar, Sénégal

Thèses	Sujets	Taux d'encadrement	
Khalifa Gaye Cotuelle : U.L.P. de Strasbourg/ U.C.A.D. de Dakar (Sénégal) <i>Démarrage Mars. 2008</i> Directeur : M. Gardoni Directeur : M. Sène	Système d'information de connaissances pour le Transfert de Technologie dans les entreprises.	-A. Coulibaly 40%	-Prof. M. Gardoni 50% -Prof. M. Sène 10%
Ying Huang <i>Démarrage Août. 2007</i> Directeur : M. Gardoni	Élaboration de documents de maintenance personnalisés pour produits complexes.	-A. Coulibaly 50%	-Prof. M. Gardoni 50%
Jean-Baptiste Menye <i>Soutenue prévue Déc. 2008</i> Directeurs : E. Caillaud, Daoud Ait-Kadi	Prise en compte de maintenabilité et de la disponibilité en conception	-A. Coulibaly 40%	-Prof. D. Ait-Kadi 40% -Prof. E. Caillaud 20%
Xavier Zwingmann <i>Soutenue 30 Mai 2005</i> Directeurs : B. Mutel, Daoud Ait-Kadi	Modèle d'Evaluation de la Fiabilité et de la Maintenabilité au stade de la Conception.	-A. Coulibaly 50%	-Prof. D. Ait-Kadi 35% -Prof. B. Mutel 15%
Egon Ostrosi <i>Soutenue Sept. 1998</i> Directeur : B. Mutel	Contribution à l'étude d'une méthode de Représentation et de Reconnaissance de Features pour les systèmes avancés de CFAO Mécanique.	-A. Coulibaly 60%	-Prof. B. Mutel 40%
Emmanuel Murzeau <i>Soutenue Juin 1990</i> Directeur : Gérard Hug	Proposition d'une méthode d'estimation des composantes directe et diffuse du rayonnement solaire à partir de l'éclairement solaire global et d'un modèle atmosphérique.	-A. Coulibaly 50%	-Prof. G. Hug 50%

- 2 masters ULP/ INSA Conception de Systèmes Mécaniques
- 8 DEA, 2 thèses CNAM, 2 thèses professionnelles

6.4 Publications et communications (voir liste Chapitre X)

- 8 publications dans des revues avec comité de lecture,
- 34 communications à des conférences avec comité de lecture,
- 6 conférences invitées.

6.5 Collaborations et Contrats de recherche depuis 2000

Collaborations/ Contrats	Actions/Contributions
Université Cheikh Anta Diop, Dakar (Sénégal)	- 1 thèse en cotutelle en cours (soutenance fin 2010)
Université Laval, Québec (Canada) Laboratoire de Génie Mécanique	- 1 thèse en cotutelle soutenue le 30 mai 2005 - 1 thèse en cotutelle en cours (soutenance fin 2008)
Université Tshingua, Beijing (Chine)	- 1 thèse en cotutelle démarrée en Août 2007
<p>Pôles de compétitivité : Véhicule du futur. Collaboration : Université de Technologie Belfort-Montbéliard, INSA Strasbourg, Université de Haute Alsace, Université de Franche-Comté. - Financement : Région Franche-Comté.</p> <p>INSA de Strasbourg LGeCo : groupe 2I2C (Ingénierie Intégrée et Conception Collaborative) - Financement : Région Alsace</p>	<p>Projet CoDeKF (Collaborative Design and Knowledge Factory) Ma contribution : <i>Evaluation de performances de produits en environnement CAO intelligente.</i></p> <p>Projet EVAPERCCO (Evaluation de Performance en Conception Collaborative). Sous-projet du projet CoDeKF pour l'Alsace. Ma contribution : <i>intégration dans un système de CAO collaboratif de mes travaux sur l'évaluation des performances comportementales des produits</i></p>
<p>INSA de Strasbourg LGeCo : groupe 2I2C et groupe LISS Laboratoire d'Architecture AMUP - Financement : BQR INSA 2007</p>	<p>Projet CIDD (Conception Industrielle et Développement Durable). Ma contribution : <i>évaluation de l'impact environnemental en conception de produits en prenant en compte les critères de recyclabilité des composants et leurs procédés de fabrication.</i></p>
<p>Société TORNOS (fabricant suisse de tours de décolletage) Collaboration LGeCo, Laboratoire CENTOR de l'Université Laval. - Financement : TORNOS</p>	<p>Contrat industriel de recherche TORNOS Amélioration de la fiabilité de tours de décolletage mono/multibroches à haute cadence de production. Contribution: <i>Développement de méthodes d'évaluation de la fiabilité des sous-systèmes critiques.</i></p>

- Communautés scientifiques

Membre des groupes de travail IS3C, MACOD et AMOEP du GDRMACS,

- Reviewer pour les revues

CAD (Computer Aided-Design), CIE (Computer and Industrial Engineering) et IJPR (Int. J. of Production Research).

7- Responsabilités collectives et administratives

7.1 Responsabilités liées à la recherche

- Au sein du LGECO

- Depuis 2006, Membre élu au conseil de laboratoire du LGeCo
- Animateur du groupe de recherche «*Evaluation de Performances de Produits en Conception*»
- Coordonnateur du groupe de travail pour la création d'un module d'enseignements «*Initiation à la recherche*» dans le cadre du projet de mise en place d'une nouvelle spécialité de formation d'ingénieurs en Génie des Systèmes Industriels à l'INSA de Strasbourg.

- Commission de Spécialistes

- Depuis 2004, Membre élu de la Commission de Spécialistes de l'INSA
- Depuis 2004 membre nommé de la Commission de Spécialistes de l'Université Paris 8 (60^{ème} Section CNU).

7.1 Responsabilités pédagogiques au sein de l'INSA

- 1989-2001: Mise en place et fonctionnement du laboratoire de CFAO

Contribution à la création du laboratoire, au choix du matériel informatique et des logiciels et administration de système.

En Octobre 1993 j'ai été nommé Responsable du *Laboratoire de CFAO de l'INSA*

A ce titre, j'ai assuré la gestion administrative et le fonctionnement de ce laboratoire qui accueille toutes les filières de formation du département mécanique en CAO, FAO et Calcul de structures (Génie Mécanique, Plasturgie et Mécatronique). Dans ce cadre, j'ai participé à la réalisation de plusieurs contrats de transfert de technologie en CFAO, et contribué à la formation de collègues enseignants sur les systèmes de CFAO et de Calcul de structures sur Unigraphics, Pro/Engineer, AutoCAD, SolidWorks.

- 1991- 1999 : Mise en place et animation de la Plate-forme Intégrée Communicante (PIC) dans le cadre d'un Programme Pluri-Formation (PPF) de l'INSA et de l'ULP. Cette plate-forme utilise les systèmes de CFAO (Catia, Dassault Systems), de GPAO (Mapics/IBM RS6000) et de Gestion de Données Techniques (IMAN, Electronic Data Systems). Elle a servi de support pour les cours du *DESS Gestion et Innovation Industrielle*, du *Mastère de Productique* de l'ULP/INSA, du *DEA Automatique et Informatique Industrielle* de l'Université de Haute Alsace et de transfert de technologie en projets.

- 1991-2007 : Professeur principal de la classe de 3^{ème} année de la spécialité Mécatronique.

- 2004-2007 : Coordonnateur du groupe de travail Force 5 / Informatique

Ce groupe avait pour objectif de proposer un programme pluriannuel pour l'enseignement de l'informatique sur le cursus en 5 ans de l'INSA du département STH (Sciences Techniques et Humanités) et les pour les 4 autres départements de l'établissement (Mécanique, Génie Civil/Topographie, Génie Électrique, Architecture).

Dans ce cadre, je suis responsable des modules :

- Informatique de Base
 - Analyse fonctionnelle (Modélisation UML)
 - Programmation Orientée Objet (langage Java)
 - Systèmes d'Exploitation
 - Réseaux informatiques

- Informatique Appliquée (Projet informatique)
 - Conduite de projet de développement de logiciel
 - Systèmes d'information, Bases de données
 - Liaison Java / Bases de données externes
 - Ergonomie de l'interface homme/machine (IHM)
- Informatique Scientifique
 - Calcul scientifique (Programmation C++)
 - Matlab / Scilab

- Organisation d'une Université d'Automne

Sur financement du Ministère de l'Enseignement Supérieur, j'ai organisé l'Université d'Automne « *Techniques Avancées de CFAO et mise en œuvre industrielle* » à l'intention des personnels techniques de l'Enseignement Supérieur en Septembre 1996.

- Depuis la rentrée 2007, Responsable INSA de Strasbourg auprès du Rectorat de l'opération Tutorat d'excellence du ministère de l'Education Nationale « *100 000 étudiants pour 100 000 élèves* ».

ACTIVITES D'ENSEIGNEMENT

III. ACTIVITES D'ENSEIGNEMENT

Mes différentes interventions se situent en formation initiale, 3^{ème} cycle et formation continue.

III.1 Enseignements (cours, TD, TP, Projets)

Pour le 2nd cycle, j'interviens au sein du Département Mécanique dans les spécialités : Génie Mécanique, Plasturgie, Mécatronique en 3^{ème}, 4^{ème} et 5^{ème} années.

➤ 2nd Cycle

Etablissement / Disciplines		Enseignement (heures)	Public
INSA (Département Mécanique, spécialités : Génie Mécanique, Plasturgie, Mécatronique)			
1989-1991	Machines thermiques	16h TP	GM5 EI
	Résistances des Matériaux (RDM) Mécanique Générale (12h TP)	12h TP TP	GM3
1991-2002	Construction et Fabrication Mécaniques		
	- CAO: Modélisation de produit [S4, B31] <u>Logiciels:</u> <i>Unigraphics, Catia, Pro/Engineer, SolidWorks, AutoCAD</i>	4h Cours 24h TP 24h Projets	GM3
	- Calcul de Structures par Eléments Finis <u>Logiciels:</u> <i>Ansys, Unigraphics (Structure), Catia PolyFEM, Pro/Engineer (Mechanica), SolidWorks (CosmosWorks).</i>	8h TP	
	Productique		
Ingenierie Simultanée & Gestions de Données Techniques (SGDT) [S3]			
Depuis 2002	Informatique		
	-Algorithmique et programmation (Java) [S1]	12h TP 16h Projets	GM3 MIQ3
	- Systèmes d'exploitation (Unix, Linux, Windows)	8h Cours	STH2
	- Génie Logiciel (Java, NetBeans IDE, JBuilder)	10h C/TD 24h Projets	GM3, MIQ3
	- Bases de Données (Access, MySQL) [S2]	16h C/TD 16h Projets	GM5IP MIQ5
Depuis 2008	Informatique Scientifique (C++) [S5]	8h Cours 24h TP	GM3

➤ 3^{ème} Cycle

J'ai assuré des enseignements de 3^{ème} cycle en DESS, DEA et masters à l'Université Louis Pasteur de Strasbourg, l'ENSGSI de Nancy et à l'Université du Haut-Rhin :

Etablissement / Disciplines		Enseignement (heures)	Public
Université Louis Pasteur de Strasbourg (ULP)	1991-1998 Conception de produits (CAO/Calcul) DESS de Gestion et Innovation Industrielle Facultés de Sciences Economiques (BETA : Bureau d'Economie Théorique et Appliquée) <u>Logiciels</u> : <i>Catia</i>	16h C / TD	DESS GII
	2003-2006 Conception de produits (CAO/Calcul) DESS Technologies et Stratégies Industrielles à l'IPST/ULP <u>Logiciels</u> : <i>SolidWorks</i>	12h TP	DESS TSI
	2000-2006 Conception de produits (CAO/Calcul) DESS TECMAT (Technologies des Matériaux) <u>Logiciels</u> : <i>Unigraphics, SolidWorks</i>	12h Cours	DESS TECMAT
Université de Mulhouse	Conception de produits (CAO/Calcul) DEA Automatique et Informatique Industrielle <u>Logiciels</u> : <i>Catia</i>	12h TP 16h Projets	DEA
ENSGSI de Nancy	Ingénierie Simultanée & SGDT DEA de Génie des Systèmes Industriels <u>Logiciel</u> : <i>IMAN (EDS / Information Manager)</i>	16h C/TD	DEA GSI

➤ Formation Continue

J'ai assuré des enseignements pour le Conservatoire National des Arts et Métiers (CNAM), le Service Formation de l'INSA de Strasbourg et l'Institut National de Lorraine.

Etablissement / Disciplines		Enseignement (heures)	Public
CNAM (Conservatoire National des Arts et Métiers)	1993-2002 Conception de produits (CAO/Calcul) Option B2 <u>Logiciels</u> : Unigraphics, Pro/Engineer	16h C / TD	CNAM
INSA de Strasbourg. Formation continue en alternance	Depuis 2000 Algorithmique et Programmation Java Formation d'Ingénieurs en Partenariat FIP	12h TP 16h Projets	FIP 1
	Conception de produits (CAO/Calcul) Formation d'Ingénieurs en Partenariat FIP <u>Logiciel</u> : Pro/Engineer	16 C / TD	FIP2
Institut National Polytechnique de Lorraine Nancy (INPL)	Ingénierie Simultanée & SGGT Département Perfectionnement des Ingénieurs et Cadres DPIC/INPL <u>Logiciels</u> : IMAN (EDS / Information Manager)	12h Cours	Cadres DPIC

► Création de cours

J'ai créé des cours suivants dans le cadre de mes enseignements et en relation avec mes activités de recherche.

- **Systemes de CFAO : Principes et mise en œuvre** [S4]

Créé à l'intention des 3^{èmes} années des 3 spécialités du département Mécanique (Génie Mécanique, Plasturgie, Mécatronique) est un cours comprenant 2 parties:

- Partie 1 : Introduction aux systèmes de CFAO et initiation aux techniques de modélisation de géométrie de pièces et d'assemblages et mise en plan ;
- Partie 2 : Techniques avancées de Modélisation surfacique, d'assemblages, liaisons CAO/Calcul et CAO/SGDT.

- **Ingénierie Simultanée et Gestion de Données Techniques** [S3]

Créé à l'intention des 5^{èmes} années de la spécialité Mécatronique, ce cours a pour objectif la compréhension des démarches d'Ingénierie Simultanée et des outils qu'elles mettent en œuvre dont les Systèmes de Gestion de Données Techniques et leur évolution vers les solutions PLM.

- **Conception et réalisation de Bases de données relationnelles** [S2]

Cours destinés aux 5^{èmes} années des spécialités Mécatronique et Génie Mécanique/Ingénierie de production (cours TP, projets).

- **Modélisation U.M.L.** [S1]

Ce cours conçu pour les 2^{èmes} années STH et pour les 5^{èmes} années Génie Mécanique a pour objectif de permettre aux étudiants d'acquérir les concepts de base de la

modélisation Orientée Objet : diagrammes UML, et réalisation de diagrammes de classes dans le cadre de projet de développement d'applications orientées objets.

• *Initiation à la recherche* (travail en cours ...)

Ce module se situe dans le cadre du projet de mise en place d'une nouvelle spécialité de formation d'ingénieurs en Génie des Systèmes Industriels à l'INSA de Strasbourg.

III.2 Encadrement et transfert de technologies

➤ Encadrement de projets pédagogiques (PFE)

En moyenne par an, j'assuré l'encadrement de 2 élèves ingénieurs en Projet de Recherche Technologique (PRT) et en Projet de Fin d'Etudes (PFE). Dans ce cadre, je me suis fortement impliqué dans les projets de l'opération OARA et des opérations Cortechs en collaboration avec Alsace Technologies.

Principaux contrats pendant ces 5 dernières années :

- TECHLASE, Sélestat : Établissement d'un cahier des charges pour la mise en place d'un système de gestion documentaire informatisée
- ROHL S.A., Krafft : Standardisation et Certification EN-40 de poteaux de candélabres
- SOCOMEC, Benfeld : Choix et déploiement de Systèmes de Gestion de Données Techniques (SGDT) dans les sociétés
- ANOFLEX, Caluire et Cuire : Choix et déploiement de Systèmes de Gestion de Données Techniques (SGDT) dans les sociétés
- GEBO Industries, Reichstett : Mise en place d'une chaîne CAO/ERP
- SERCOM France, Strasbourg (Développement d'un pulvérisateur de désodorisation industrielle)

➤ Transfert de technologies

Dans le cadre du transfert de technologies, j'ai effectué plusieurs interventions de formation en entreprise dans la région Alsace. Le tableau suivant résume les plus significatives [E13, E14, B31].

Entreprises / Formations		Durée (heures)	Public
GEBO Industries <i>Reichstett</i> (<i>Bas-Rhin</i>)	2004: CAO sur SolidWorks et SGDT sur SmarTeam Déploiement CAO, PLM et Gestion de projets.	2 semaines (6 h /jour)	6 ingénieurs, 5 techniciens
Manuest Concept <i>Duttlenheim</i> (<i>Bas-Rhin</i>)	2003 : Mise en place de la CAO <i>SolidWorks</i> au bureau d'études pour la conception de matériels de manutention et formation des utilisateurs.	6 mois 4h/semaine	1 ingénieur 4 techniciens
ROHL S.A. <i>Krafft</i> (<i>Bas-Rhin</i>)	2003 : Mise en place de la CAO <i>Pro/Engineer</i> au bureau d'études pour la conception de candélabres décoratifs et formation des utilisateurs. 2006-2007 : Mise en place de la Norme EN-40 pour certification des consoles et des mâts de candélabres: procédures de calcul de structures avec <i>ProEngineer / Mechanica</i> .	18 mois 2h/semaine	-Ingénieur Calcul - Responsable atelier - 2 soudeurs

ACTIVITES DE RECHERCHE

IV. ACTIVITES DE RECHERCHE

Mes travaux de recherche portent sur la modélisation sémantique des produits mécaniques en vue de l'évaluation en phase de conception de leurs performances comportementales.

IV.1 Etat de l'art

La modélisation de produits et l'évaluation de performances font l'objet de nombreux travaux de recherche et de publications [14, 69, 74, 75, 85, 92, 95, 108, 114]. Dans ce qui suit nous positionnons notre contribution par rapport à ces travaux.

IV.1.1 Modélisation de produit

La notion de produit fait l'objet de multiples interprétations dues aux nombreuses définitions associées à ce concept et qui se résument couramment par l'énoncé suivant :

« Un produit est un bien ou un service associé à une production et censé satisfaire un besoin, généralement moyennant un prix à payer par l'utilisateur final (le client) » [65].

« Le produit, résultat d'une activité, peut être un matériel, un service, un système, un processus industriel, un processus administratif ou une combinaison de ces produits. Il peut entrer dans la fabrication d'un autre produit ou constituer un produit fini » [47].

Nous nous intéressons aux produits manufacturés à base de composants mécaniques.

La figure 1 montre la variété de produits et la diversité de niveaux de complexité que recouvre le concept.

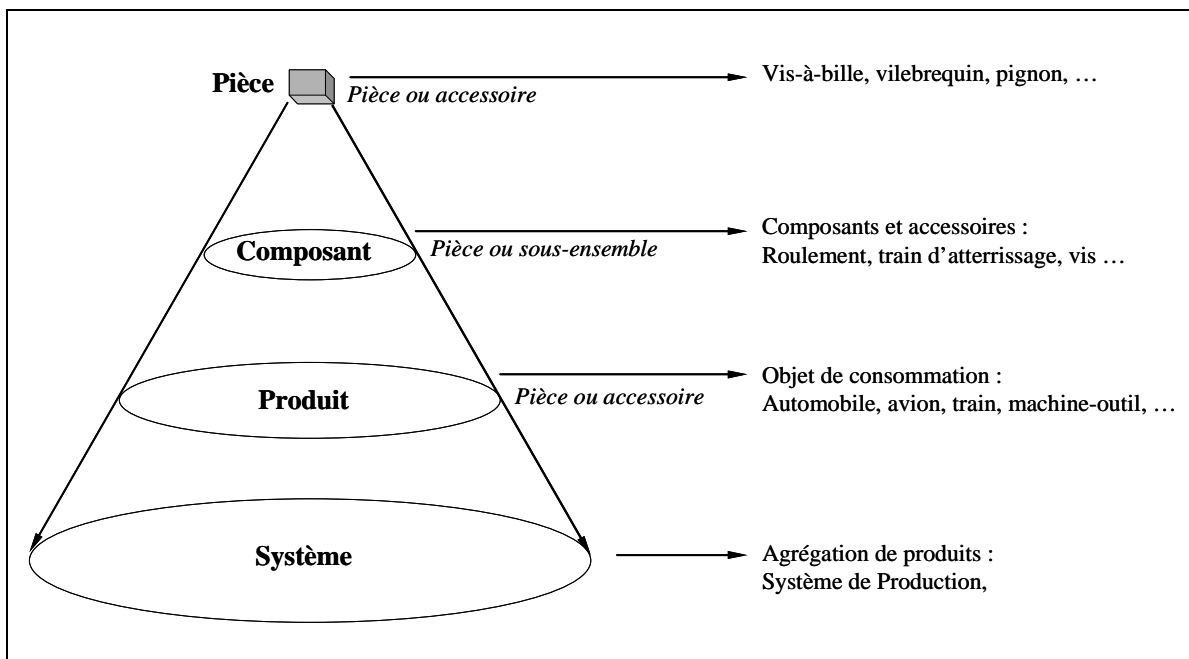


Fig. 1 : Notion de produit et perceptions

De plus, il existe différentes perceptions du produit selon les points de vue de l'utilisateur, du concepteur, du fabricant, du fiabiliste,

En conséquence, la modélisation d'un produit hérite des difficultés de représentation de ces différentes perceptions et interprétations.

Pendant le processus de conception et de fabrication, et tout au long de son cycle de vie [94, 97, 104], un produit manufacturé n'est pas représenté uniquement par des plans ou des modèles géométriques CAO [12]. Il est aussi décrit par des annotations techniques et des consignes de comportement qui précisent le sens des informations non graphiques.

On distingue ainsi différentes approches de modélisation de produit que l'on peut regrouper en deux catégories : les approches syntaxiques qui décrivent la structure du produit et les approches sémantiques qui en décrivent le comportement. Ces approches sont fortement inspirées des méthodes de description utilisées en linguistique où la syntaxe définit la forme et l'agencement des mots et des phrases alors que la sémantique en définit le fond et la signification [24, 58, 107].

a) Approches syntaxiques

Un produit peut être appréhendé selon différents points de vue en tant que :

- objet résultant d'une activité de production ;
- perception par les fonctions de service ;
- perception par son comportement structurel ou ses comportements le long de son cycle de vie [15, 29, 40] ;
- perception par l'ensemble d'outils et de technologies destinés d'une part à le fabriquer et d'autre part à organiser et sauvegarder les connaissances et le savoir-faire nécessaires à son utilisation [5].

Ainsi, différents modèles syntaxiques sont couramment utilisés dans les systèmes de CAO :

- modèles géométriques (2D, 3D) [62],
- modèles topologiques (sommets, arêtes, faces) [55],
- modèles STEP ISO-10303 (langage Express et Protocoles d'application AP-203, AP-214) [22];
- modèles à base de caractéristiques fonctionnelles (features) [14, 16, 92, 96, 114].

Ces derniers modèles représentent des objets de très bas niveau comme les entités géométriques (points, surfaces, volumes) et des formes fonctionnelles (trous, poches, rainures, dépouilles, ...). De tels modèles permettent de décrire la structure d'une pièce mais ils ne sont pas adaptés pour une modélisation macroscopique d'un produit constitué de composants avec des liaisons physiques ou fonctionnelles [53].

Aussi, d'autres modèles macroscopiques ont été proposés [26, 35, 125] dont le modèle de Gero [9, 39, 40] qui définit trois espaces de représentation : Function, Behavior, Structure (FBS) montrés en figure 2.

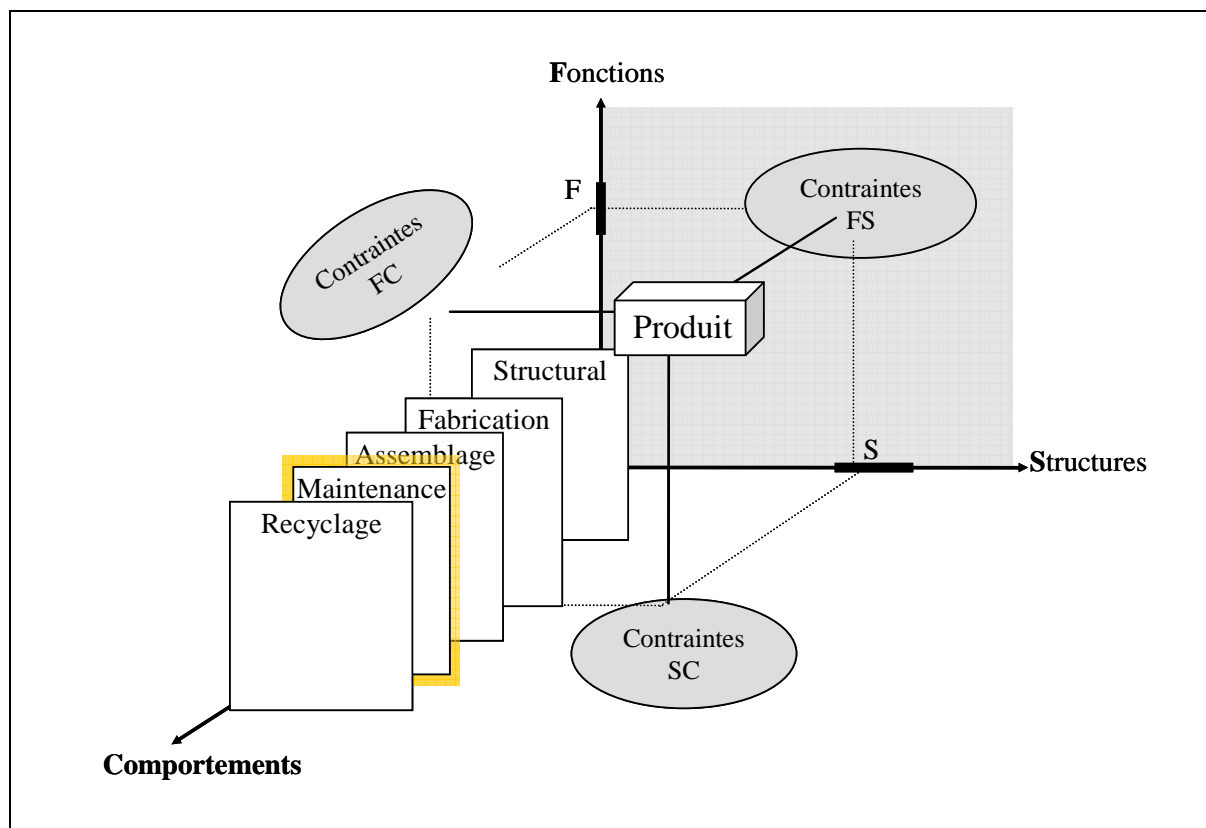


Fig. 2 : Perception Fonction -Structure-Comportement du produit

- l'espace *Fonctions* décrit de manière abstraite les finalités d'un produit. L'Analyse Fonctionnelle identifie les fonctions de service formulées indépendamment de toute solution structurelle et les fonctions techniques définissant des choix de solution de conception ou de réalisation du produit.

- l'espace *structure* spécifie les éléments qui composent le produit ainsi que les attributs de ces éléments.

- l'espace *comportements* décrit l'aspect dynamique du produit défini par un ensemble de lois de comportement, de règles ainsi qu'une suite séquentielle d'états représentant l'évolution d'une structure due à une interaction entre le produit et son environnement.

Différentes contraintes caractérisent des interactions entre les espaces Fonctions, Comportements et Structures.

Une analyse du modèle de Gero montre que ce modèle donne une perception globale du produit sans pour autant proposer une formalisation des vues Fonction, Structure, Comportement [32]. Aussi, d'autres modèles dérivés de cette perception ont été proposés en vue d'enrichir le modèle FBS classique [20, 29, 30, 66, 67].

b) Approches Sémantiques

De nombreuses approches de modélisation sémantiques sont proposées dans la littérature [24]. On distingue :

- d'une part les modèles basés sur les graphes conceptuels ou sur les réseaux sémantiques qui sont des outils formels permettant de représenter des connaissances complexes [4, 109],
- d'autre part les modèles utilisant le formalisme U.M.L. (Unified Modeling Language), [35].

- Modélisation par graphes conceptuels et Réseaux sémantiques

De tels outils sont couramment utilisés pour la représentation formelle des connaissances par des objets logiques reliés par des propriétés, des axiomes et des règles. Ce type de représentation utilisé dans les systèmes experts est de plus en plus exploité pour la modélisation sémantique de produits [24, 59, 106].

Un tel modèle utilise deux types de nœuds :

- les nœuds représentant des composants du produit,
- les nœuds représentant leurs propriétés ou leurs interrelations;

Les composants sont reliés avec trois types de liens:

- les liens de *sous-ensembles* ;
- les liens d'appartenance aux ensembles appelés aussi liens d'*instances*;
- les liens de *fonctions* appelés aussi liens de *propriétés*.

Une telle représentation permet de modéliser la structure de familles génériques de produits du point de vue statique alors que l'aspect dynamique relatif aux interactions entre composants et l'évolution de leurs états n'est pas pris en compte.

Aussi, d'autres approches basées sur la modélisation U.M.L. sont proposées [1, 117, 63].

- Modélisation U.M.L. de produit

La modélisation U.M.L permet de représenter les vues statique et dynamique des produits, cependant la plupart des modèles proposés dans la littérature ne prennent en compte que la vue statique où le produit est représenté par un diagramme de classes de ses composants [47, 61, 63, 125].

La vue dynamique n'est considérée que par quelques rares modèles parmi lesquels figure le modèle fédérateur FBS-PPRE de Labrousse [66, 67] inspiré du modèle FBS de Gero. Ce modèle générique est destiné à la représentation des processus d'entreprise : *Processus, Produit, Ressources* et *Effets extérieurs*. Il présente les avantages suivants :

- une distinction entre la nature (temporel, organisationnel, logiciel, matériel, énergétique) et les rôles des objets de l'entreprise (processus, produit, ressource, effets externes);
- une modélisation unifiée de tous les objets de l'entreprise indépendamment de leur nature ;
- une notion de comportement définie comme le résultat d'une interaction d'un objet avec un autre objet jouant un rôle de processus.

Le modèle FBS-PPRE s'intéresse aux étapes de la vie des produits au sein de l'entreprise alors que les celles relatives à la phase d'utilisation ne sont pas incluses.

IV.1.2 Evaluation de performances de produits

L'évaluation d'une solution de conception consiste à vérifier la conformité de la solution par rapport aux exigences du cahier des charges [22, 45, 76]. Ces exigences portent généralement sur les fonctions de service et les contraintes de coût du produit. Selon la complexité de celui-ci et l'importance de l'investissement envisagé (cas de l'industrie automobile et de l'aéronautique), les exigences vont au-delà de l'aspect fonctionnel et des contraintes de coût. Elles induisent des contraintes liées au comportement le long du cycle de vie des produits [64]. A titre d'exemple, dans le développement d'un avion, on admet couramment que les études liées à la gestion de la maintenance représentent environ 40% du coût global de développement [78, 79, 80].

Les systèmes de CAO actuels ne comportent pas de modules d'évaluation de comportements à contenu sémantique comme la maintenabilité ou la recyclabilité [43, 70, 93]. La prise en compte de telles contraintes, est alors abordée par des approches organisationnelles de l'activité de conception comme l'Ingénierie Concourante [23, 36, 46, 116, 111] ou par l'approche de Design For X [B27, B28, 51, 115, 120]. Cependant les difficultés d'implantation de l'Ingénierie Concourante, [72, 102] et les problèmes de capitalisation et de formalisation des connaissances métiers pour le Design For X constituent un frein à la mise en œuvre de telles pratiques.

En outre, des solutions basées sur les systèmes de Réalité Virtuelle/Réalité Augmentée [10, 71, 88] sont disponibles pour l'évaluation comportementale par la mise en situation de la maquette virtuelle du produit, notamment pour la simulation des opérations de maintenance ou pour l'analyse ergonomique des postes de travail [11]. De tels systèmes sont coûteux et leur en mise en œuvre s'avère souvent délicate.

De nombreux autres travaux de recherche portent sur cette problématique de l'évaluation comportementale du produit.

- Au MIT, des études sont menées par le Strategic Engineering Research Group [15, 56, 103] sur la définition de nouvelles méthodes de modélisation des données du cycle de vie en vue d'intégrer des données spécifiques nécessaires à l'évaluation des performances du produit en cours de conception.

- Des travaux similaires réalisés par le Cambridge Engineering Design Centre (EDC) portent sur la validation de la conception, la gestion des connaissances associées au produit et l'Optimisation en conception [25, 28, 46, 72, 87, 124].

- De même, le laboratoire Precision and Intelligence Laboratory de l'Institute of Technology de Tokyo [50] et le German Research Center for Artificial Intelligence, DFKI [49], abordent également cette thématique. Leurs travaux portent sur l'étude des performances de fiabilité et de maintenabilité des systèmes électroniques [41] et des logiciels. Toutefois, il faut noter que les modes de défaillance de tels systèmes sont très différents de ceux des produits mécaniques caractérisés par des liaisons entre composants avec des interactions de mouvements.

- En France, cette problématique est étudiée par différents groupes de travail de l'axe Conception du pôle STP du GDR/MACS [13, 38, 68, 121]: le groupe AMOEP (Approches et Modèles pour l'Evaluation des Performances), le groupe IS3C (Ingénierie des Systèmes de Conception et Conduite du cycle de vie) et le groupe MACOD (Modélisation et Optimisation de la Maintenance Coopérative et

Distribuée). Les investigations de ce dernier groupe portent sur le développement de méthodes pour la prise en compte de la maintenabilité en cours de conception.

Nous avons développé une approche générique pour l'évaluation en cours de conception des performances comportementales des produits [A3]. Celle-ci utilise notre modèle sémantique associé aux comportements du produit à différentes étapes du cycle de vie.

IV.2 Contribution sur la modélisation de produit

Pendant la période 1991-1999 j'ai animé une équipe dont la thématique de recherche concerne la modélisation de produits.

IV.2.1 Représentation et reconnaissance de "Features"

Nous avons proposé un premier modèle de représentation de Features intégrant les caractéristiques géométriques, topologiques et technologiques des composants du produit [A7, B15].

Une méthode de reconnaissance de Features d'usinage dans des modèles géométriques au format SET (Standard d'Échange et de Standard) a été développée [B22]. Des applications ont été réalisées dans le cadre des travaux de DEA de Denis Mugnier [E8, B21], de Vincent Gauthier [E9], de Laurent Deste [E7] et de Jamaa EL Mhamédi [E4].

Les travaux de thèse d'Egon Ostrosi [T4] ont permis d'améliorer notre modèle de Features en considérant ces derniers comme des structures évolutives. Ainsi, nous avons mis au point un mécanisme de génération de Features permettant de prendre en compte cette évolution. Ce mécanisme a été formalisé mathématiquement par une Grammaire de Plex [A6, B26]. Puis, nous avons développé une approche d'inférence de Grammaires de Features pour la reconnaissance de Features canoniques (isolés) et de Features en interaction [B19, B20, B21].

Nous avons appliqué cette représentation des features à la conception de cellules de fabrication [B20, B23, B29] où les données du produit sont décrites par des Features, qui déterminent également les données de fabrication [B27, B28].

Ces travaux ont donné lieu à des applications industrielles [B24].

- Contrat avec l'Outillage Central de Peugeot de Mulhouse

Ce contrat portait sur la Conception de carters de chauffage de la ligne de véhicules 405. L'objectif du projet était d'identifier les features du carter et de décrire leurs relations topologiques en vue de raccourcir le cycle de développement du système de chauffage sur les nouvelles versions du véhicule. Ces travaux ont permis un gain de temps de l'ordre 35% [B14, B15, B22].

- Contrat avec Roth-Frères

Ce contrat portait sur la prise en compte par anticipation des contraintes de fabrication dans la modélisation paramétrique de sièges de voiture utilisant de la mousse. Dans ce projet nous avons mis au point un système de relations paramétriques entre les dimensions nominales de la structure en mousse du siège et les variations dimensionnelles dues à l'échauffement subi pendant la fabrication. Cette étude a permis de réduire les écarts dimensionnels à moins de 5% [B17].

Les résultats de cette recherche ont également été appliqués lors d'autres contrats de transfert de technologies.

IV.2.2 Modélisation produit pour la gestion et la logistique

Nous avons développé un modèle produit pour la prise en compte des données de Gestion et de Logistique en phase de conception [B26]. Ce modèle élaboré en langage EXPRESS a été inspiré de différents travaux et des résultats du projet MANDATE [55, A5, A8] réalisés dans le cadre de la norme STEP.

En collaboration avec le LARGE (Laboratoire de Recherche en Gestion) de l'université Louis Pasteur nous avons développé un modèle de représentation des données de Gestion et de Logistique associées à un produit [B24, B25]. Le modèle produit GL proposé, utilisable en Gestion de Production, permet à partir des features qu'un produit contient de lui associer une nomenclature, des gammes de fabrication et des postes de charge comme indiqué en figure 3.

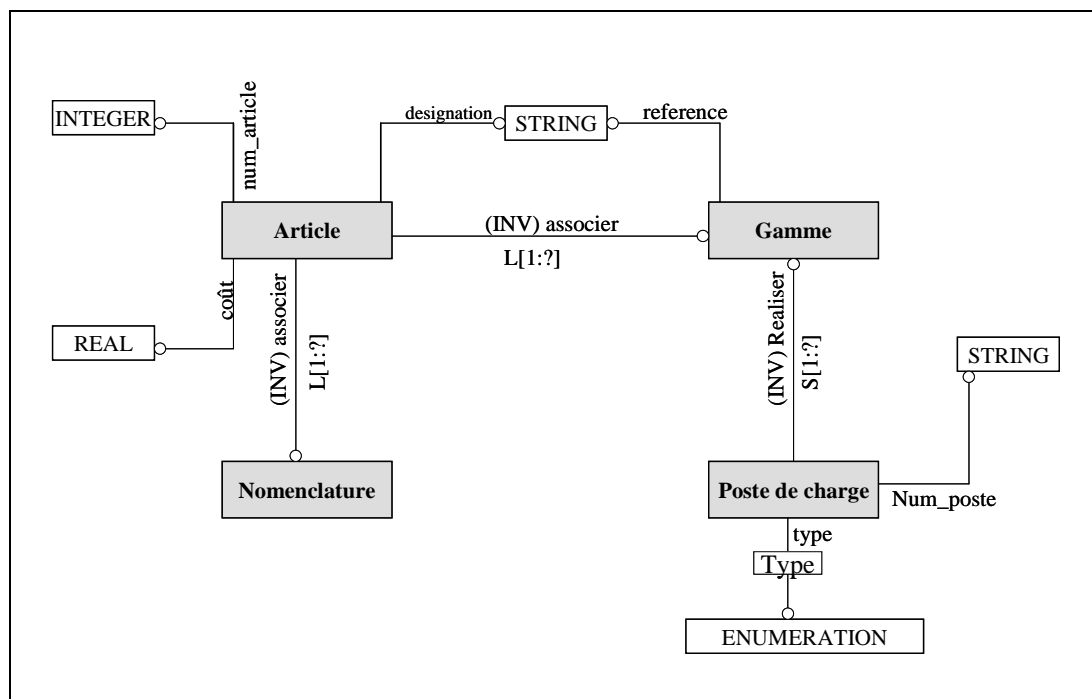


Fig. 3 : Modèle produit de Gestion-Logistique

Cependant d'une façon générale, ces types de modèles de features et de Gestion-Logistique sont limités : ils ne prennent pas en compte le comportement du produit à différentes étapes du cycle de vie. Aussi, depuis 2000, au sein du groupe (Ingénierie Intégrée et Conception Collaborative) 2I2C du LICIA, nous avons étendu le champ de modélisation à l'analyse du comportement du produit le long de son cycle de vie. Les travaux de DEA de Pierre Dalmasso, d'Emmanuel Klemké et de Xavier Zwingmann, [E6, E5, E3], ont permis de mettre en place les bases de cette approche.

IV.2.3 Modélisation sémantique

Pour la modélisation sémantique, nous avons défini un méta-modèle U.M.L permettant de décrire le produit selon différentes vues représentées par des diagrammes, des concepts et des associations entre les classes comme montré dans le Tableau 1.

Domaines	Vues	Diagrammes	Concepts
STRUCTURE	Statique	Classes	Classe d'objets, Association Dépendance, Interface, Procédés de fabrication génériques
	Conception	Structure interne	Matériaux Procédés de fabrication Liaison
		Composants	Pièces, sous-ensembles, Fonction Interface de liaison
	Cas d'utilisation	Cas d'utilisation	Contexte d'utilisation : profil d'utilisation, Profil d'utilisateur, conditions (T°c, poussière, ..)
COMPORTEMENT	Machine d'états	Etats	Etat (marche, arrêt, maintenance, panne, accident...), Activité, Transition, Evénement déclencheur.
	Activités	Activités	Action, Activité
	Interactions	Séquence	Enchaînement des activités, Spécification des tâches, Interaction,
		Communication	Liaison structurelle ou physique, liaison fonctionnelle entre composants
PROTOTYPAGE Produit et mise en exploitation	Déploiement	Déploiement	Prototype, Procédé de mise en œuvre pour l'exploitation

Tableau 1 : Formalisme UML appliqué à la modélisation de produit

A l'aide des différents diagrammes et des concepts associés nous décrivons le produit et ses composants pendant la conception et sur le cycle de vie. La figure 4 montre le diagramme des classes de base du modèle sémantique d'un produit.

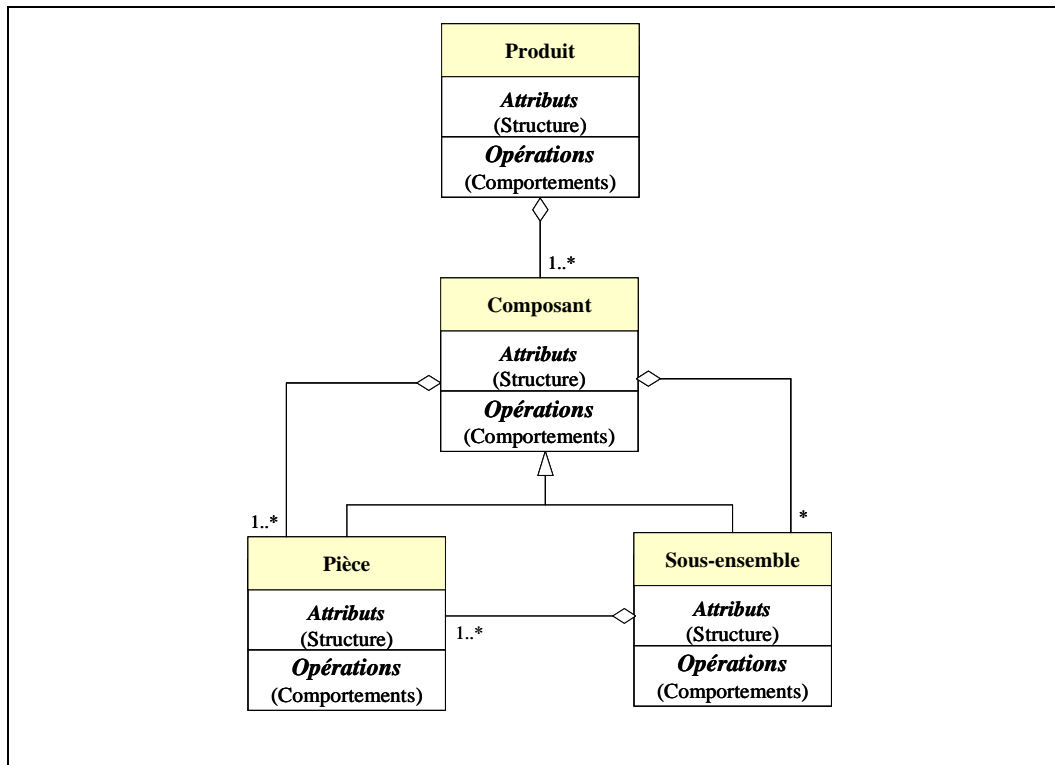


Fig. 4 : Classes de base du modèle de produit

La figure 5 montre la description des composants, leurs liaisons, leurs interactions et le contexte d'utilisation du produit.

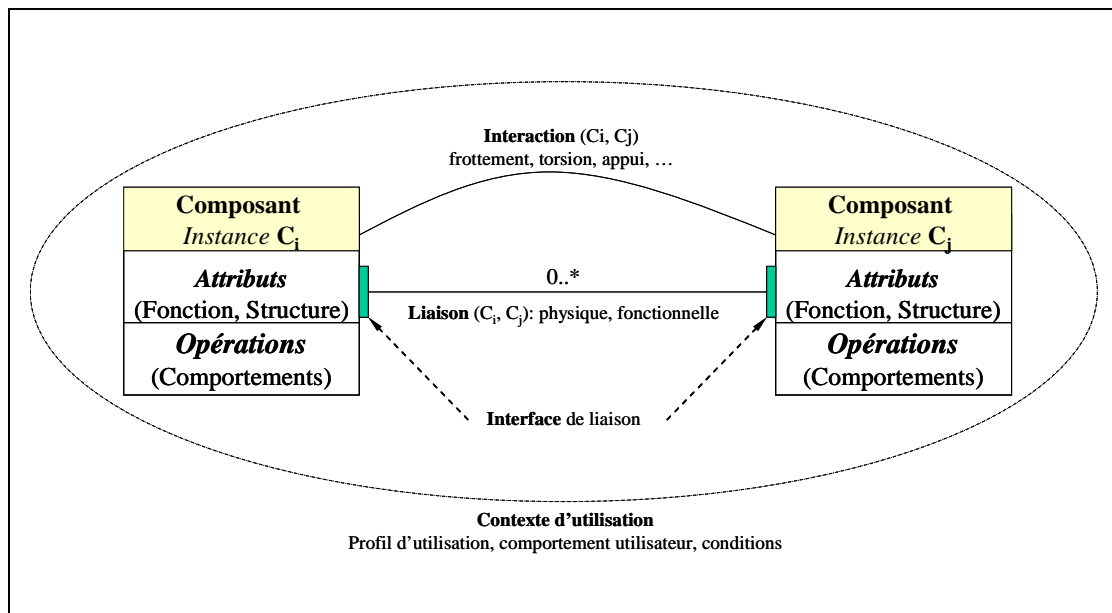


Fig. 5 : Liaisons, interactions entre composants et contexte d'utilisation

La décomposition structurelle ou fonctionnelle du produit permet d'identifier les composants C_i, C_j, \dots, C_n et de définir les informations suivantes :

- la nomenclature de classes ou de catégories de composants (vilebrequins, arbres, engrenages, roulements, ...) ;

- les fonctions des composants,
- la structure interne des composants : matériaux, procédés;
- les interfaces de liaison;
- le prototypage des composants (géométrie, dimensions);
- les liaisons structurelles (physiques) ou fonctionnelles entre composants ;
- les interactions entre composants (frottement, appui, torsion...);

Les différents comportements du produit sont décrits par :

- les états le long du cycle de vie (fabrication, utilisation, fin de vie, ...);
- les activités pendant l'exploitation (marche, arrêt, maintenance, ...);
- le contexte d'utilisation : profil d'utilisation, comportement de l'utilisateur, conditions d'utilisation (température, hygrométrie, poussières, pluie, ...);
- la mise en exploitation (manuel d'utilisation, manuel de maintenance, manuel de sécurité).

Un produit est donc vu comme un ensemble de composants reliés en vue de réaliser des fonctions de service dans des conditions d'exploitation données. Dans le cas des produits mécaniques, le produit est défini par des composants et des accessoires d'assemblage (vis, clips, rondelles, clavettes, ...).

Le long de son cycle de vie, le produit passe par différents états correspondant à des domaines de comportement caractérisés par des critères.

A partir de la nomenclature générique, le produit et ses différents composants sont décrits par les concepts définis précédemment (géométrie, dimensions, matériaux, procédés, états, activités, liaisons, interactions entre composants, conditions d'utilisation).

Les caractéristiques du produit dans les solutions alternatives sont spécifiées selon un objectif d'évaluation : maintenabilité, sécurité. Elles comprennent aussi bien des données définies lors de la modélisation CAO que plusieurs données sémantiques non représentées graphiquement. Les modèles CAO et les graphes de liaisons s'avèrent inefficaces pour interpréter un tel modèle de produit.

Nous avons adopté ci-après une représentation matricielle qui permet de préciser les informations sémantiques de liaisons, des propriétés et des caractéristiques comportementales.

IV.2.4 Matrice Sémantique

La figure 6 représente une matrice sémantique décrivant un produit constitué de composants C_i , avec des caractéristiques et des liaisons d'assemblage (C_i, C_j) [15, 46, 56]. Cette matrice est renseignée à partir de données de conception disponibles dans le système de CAO auxquelles on rajoute des caractéristiques sémantiques. Les éléments diagonaux P_i de la matrice contiennent les données spécifiques du composant C_i (géométrie, propriétés de matériaux, tolérances, ...) alors que les termes entre deux composants (C_i, C_j) décrivent les typologies de liaisons mécaniques (soudure, boulonnage, rivetage, ...) , (cf Tableau 2).

Composants	C ₁	C ₂	-	-	C _i	-	-	-	C _n	Criticité	Fiabilité
C ₁	P ₁	2	0	1	0	1	5	2	0	K ₁	R ₁
C ₂		P ₂	2	1	0	0	0	2	0	K ₂	R ₂
-			-	0	0	0	0	2	0	-	-
-				-	1	0	0	2	0	-	-
-					-	1	0	2	0	-	-
C _i	Liaison (C _i , C ₁)				Liaison (C _i , C _j)	-	1	2	0	K _i	R _i
-							-	2	0	-	-
-								-	5	-	-
C _n									P _n	K _n	K _n
Nombre de liaisons	d ₁	d ₂	-	-	d _j	-	-	-	d _n	K₀ (seuil)	R₀ (seuil)

Fig. 6 : Matrice Sémantique du Produit

Typologies de liaison	Echelle de temps démontage/montage
Sans contact	0
Contact	1
Clipsage	2
Vissage	3
Boulonnage	4
Carter	7
Collage	8
rivetage	6
Soudage	10

Tableau 2 : Echelle de temps de démontage/montage selon liaison

Selon l'objectif d'évaluation, on enrichit la matrice avec des données complémentaires telles que la criticité (K_i), la fiabilité (R_i), l'impact environnemental des composants, ou avec des données relatives aux conditions d'utilisation et de maintenance des produits (Température, Hygrométrie, disponibilité de l'outillage...). D'autres informations comme les interactions entre composants peuvent également être incluses dans cette matrice afin de situer les zones d'usure potentielle par frottement [113].

Cette représentation matricielle présente également une bonne lisibilité du modèle et offre une facilité d'exploitation pour l'évaluation.

IV.3 Contribution sur l'évaluation de performances comportementales

Les performances d'un produit manufacturé sont généralement évaluées selon les points de vue structurel et fonctionnel alors que les performances comportementales sont souvent évaluées très tardivement dans le processus de développement, Fig. 7.

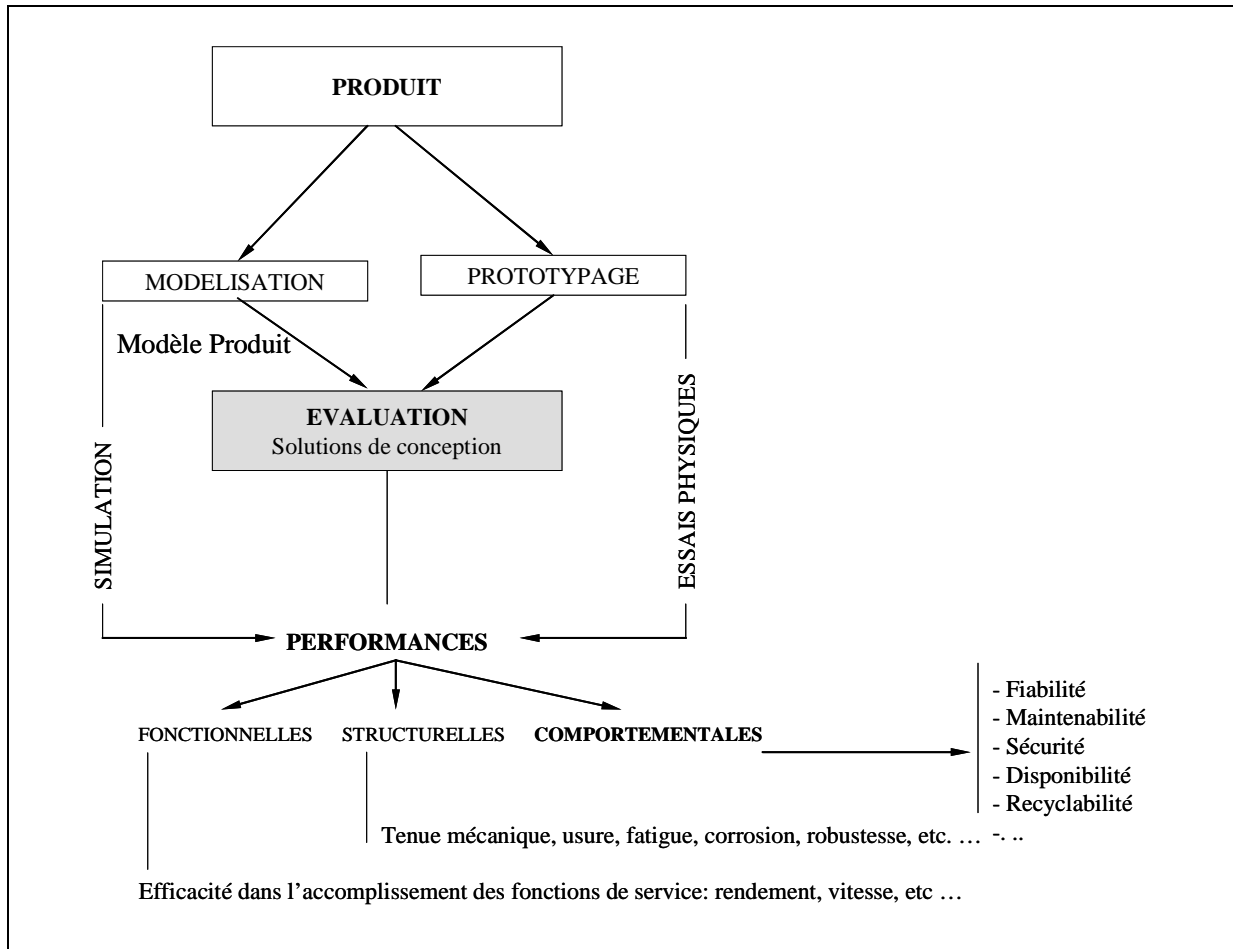


Fig. 7 : Evaluation de performances de produit

► Performances fonctionnelles

Elles caractérisent la qualité de service rendu par le produit comme, par exemple, pour une machine-outil de type centre d'usinage : la précision dimensionnelle des pièces, le rendement énergétique du procédé, vitesse de production de pièces. Ces caractéristiques sont souvent évaluées par simulation numérique ou par prototypage.

► Performances structurelles

Ce sont les caractéristiques de tenue aux sollicitations mécaniques (statique, dynamique) ou thermiques des composants. Ces performances sont généralement évaluées par simulation numérique ou par essais physiques.

► Performances comportementales

Les performances comportementales d'un produit concernent des notions comme la recyclabilité, la maintenabilité, la sécurité, la disponibilité ou encore l'impact

environnemental. Leur évaluation en conception pose de nombreux problèmes, d'une part, de formalisation des critères et d'indicateurs de performance et, d'autre part, de mise en œuvre par simulation sur maquette numérique en environnement CAO.

Le paragraphe suivant présente l'approche d'évaluation de performances comportementales à partir de la matrice sémantique.

IV.3.1 Approche d'évaluation de performances comportementales

La figure 8 représente le modèle d'évaluation défini à partir du modèle sémantique et d'un modèle CAO du produit.

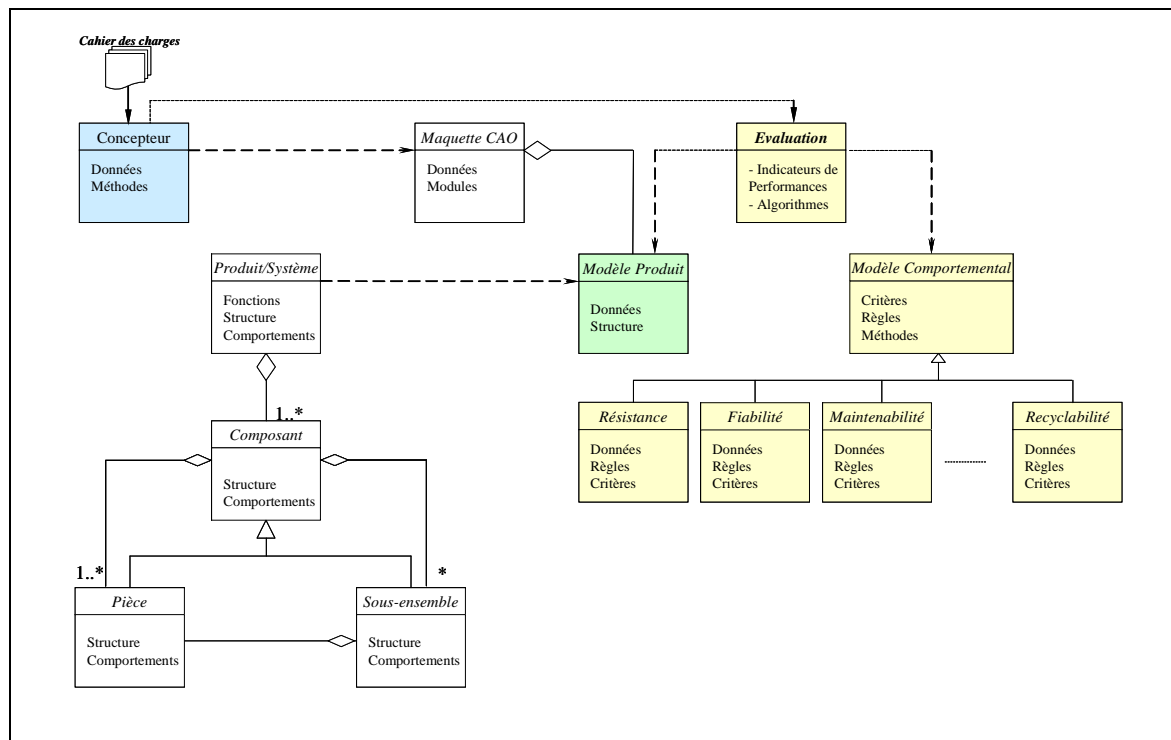


Fig. 8 : Diagramme de classes de la procédure d'évaluation comportementale

Ce diagramme comporte les classes de base relatives au produit, au concepteur, au système de CAO et au système d'évaluation. Il sert de support à la procédure d'évaluation décrite au paragraphe suivant.

IV.3.2 Procédure d'évaluation comportementale

Les indicateurs de performance étant définis pour un domaine de comportement donné, il s'agit par un processus itératif de vérifier le niveau de satisfaction associé à une solution proposée par le concepteur. Dans ce processus, les solutions explorées sont mémorisées pour renseigner sur l'amélioration ou la dégradation relative des solutions successives, figure 9.

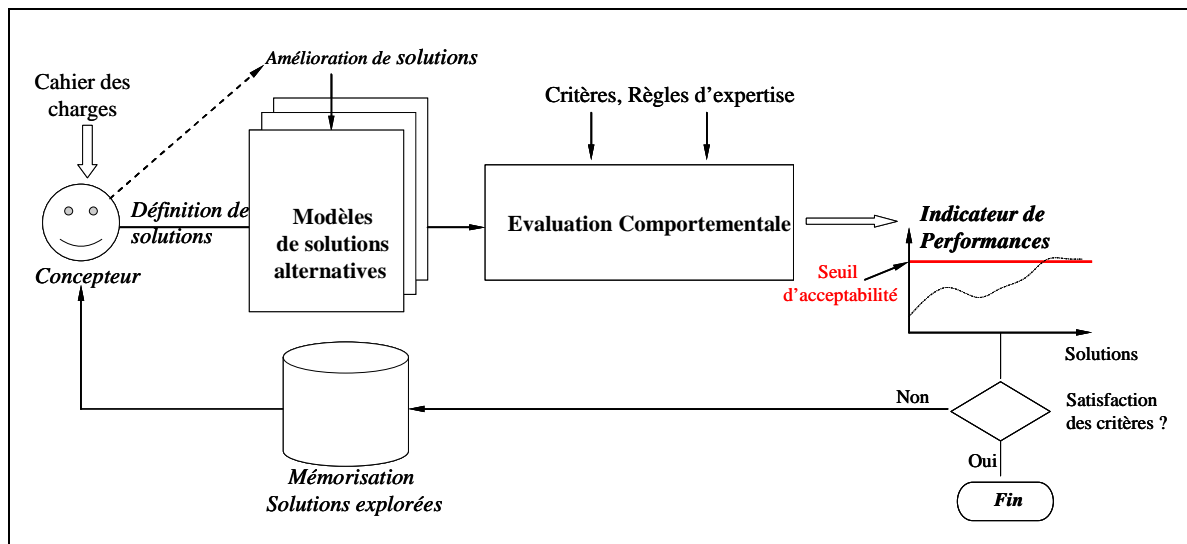


Fig. 9 : Principe de l'évaluation comportementale

En pratique, pour analyser un comportement dans un domaine donné, les problèmes posés concernent essentiellement la définition d'indicateurs de performance pertinents. Ainsi pour un domaine, nous vérifions le niveau de satisfaction du comportement considéré à l'aide d'un ou de plusieurs indicateurs de performance du produit. Ce comportement est défini par des critères intrinsèques (C_{int}) liés au produit et extrinsèques, (C_{ext}) qui dépendent du contexte d'utilisation. Selon les données disponibles notre approche permet de réaliser une évaluation *intrinsèque* ou *contextuelle* du comportement.

IV.3.3 Description du comportement

Les comportements sont caractérisés selon différents points de vue du cycle de vie comme la fabrication, la fiabilité, la maintenabilité, la recyclabilité.

Pour décrire le comportement du produit nous avons défini une hiérarchie conceptuelle en 5 niveaux comme indiqué en figure 10.

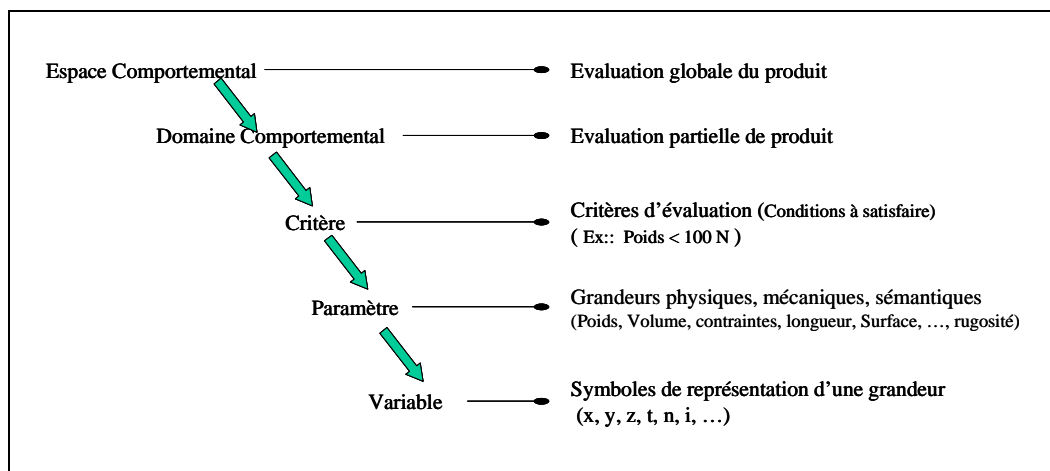


Fig. 10 : Hiérarchie conceptuelle pour l'évaluation comportementale

- Espace comportemental

Nous définissons l'Espace Comportemental comme l'ensemble des différents points de vue du cycle de vie.

Une évaluation simultanée tenant compte de tous les différents points de vue s'avérant très complexe, nous décomposons l'espace comportemental en différents domaines comportementaux.

- Domaine comportemental, critères, paramètres et variables de conception

Chaque point de vue de l'espace comportemental constitue un domaine comportemental caractérisé par des critères à vérifier pour une solution de conception proposée. Un critère est défini par des *paramètres* et des *variables de conception* et des conditions à satisfaire. La définition des principaux critères et de leurs paramètres caractéristiques ainsi que des contraintes relève d'une expertise pour chaque domaine comportemental considéré.

Pour un domaine comportemental on définit un ou plusieurs indicateurs de performance selon les critères définis précédemment.

La figure 11 présente les principales étapes pour l'évaluation d'une solution de conception.

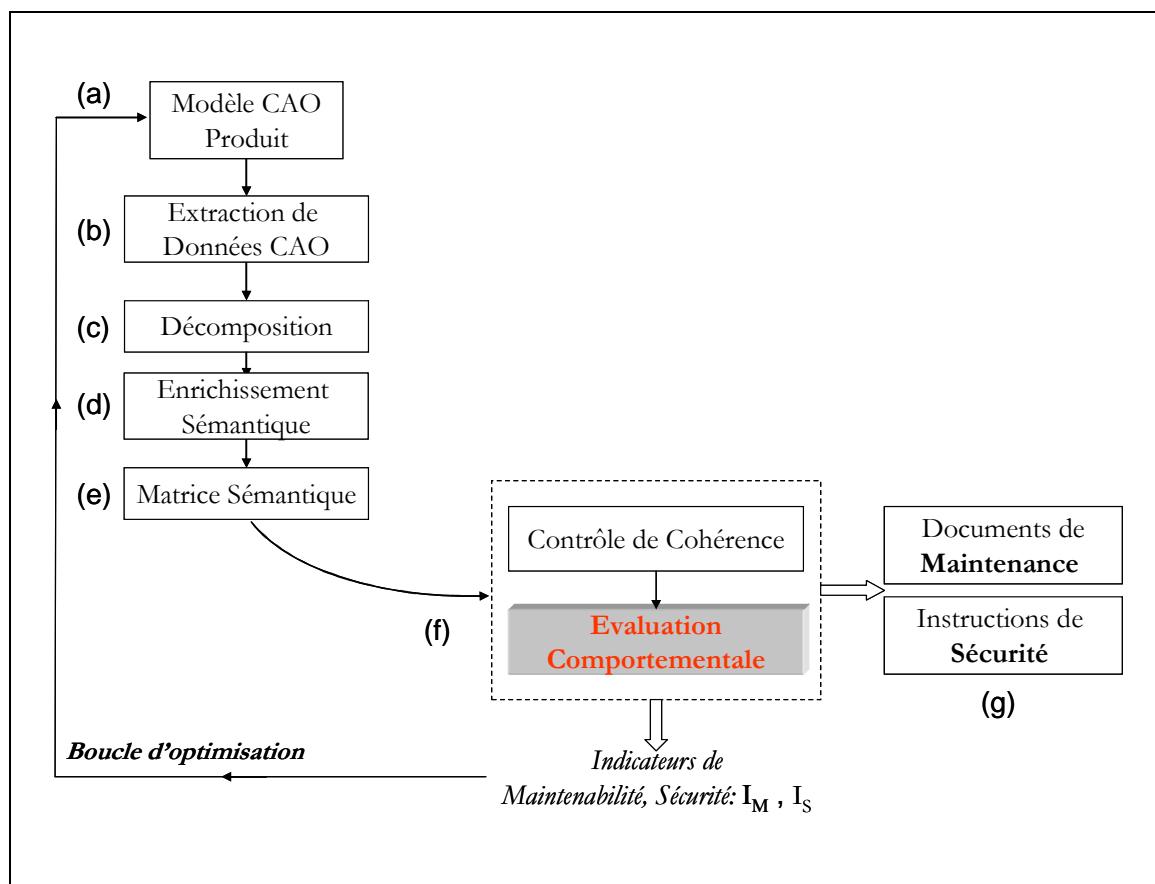


Fig. 11 : Méthodologie de mise en œuvre de FSC

Données CAO

Le modèle CAO 3D représente la structure du produit avec ses composants. Comme indiqué en figure 12, ce modèle contient différentes données : géométrie, topologie, relations d'assemblage, équations paramétriques, etc.... Différentes approches sont proposées dans la littérature pour l'extraction de ces données [20, 27, 89, 90, 126].

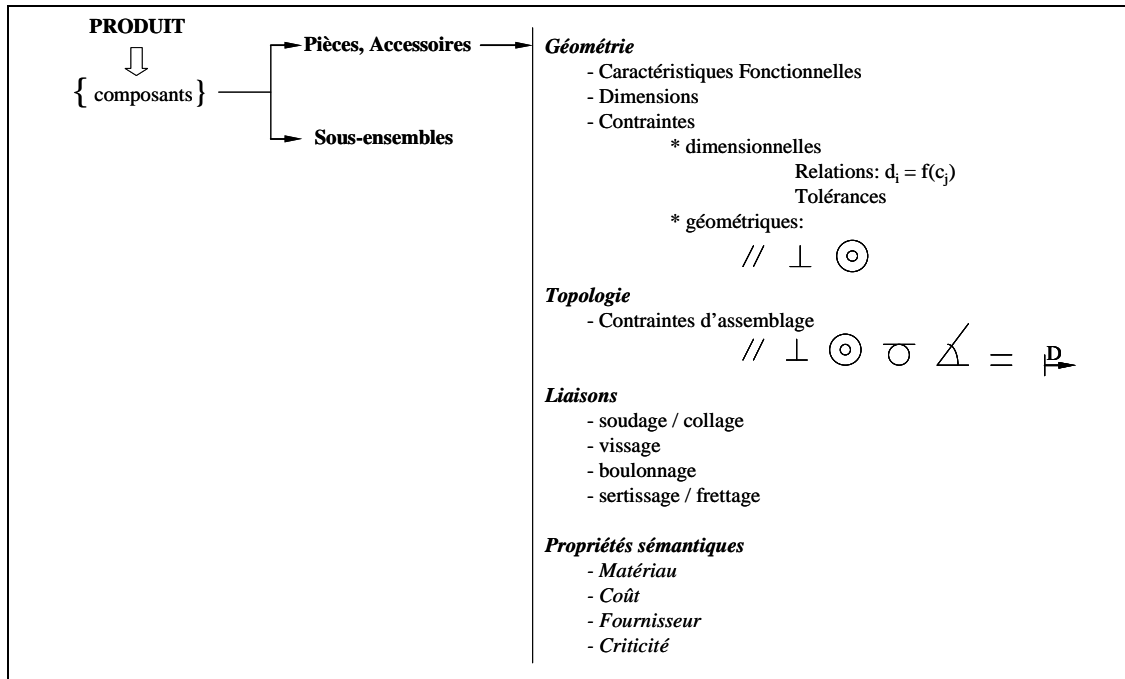


Fig. 12 : Données du modèle CAO

Extraction de données CAO

La figure 13 ci-dessous décrit le déroulement du processus d'extraction des données:

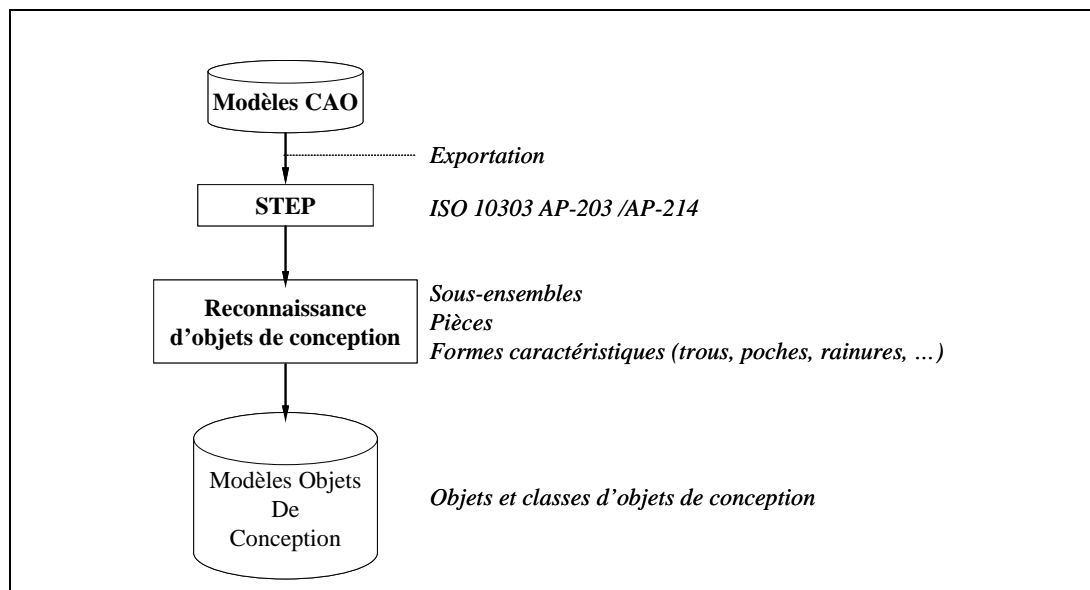


Fig. 13 : Extraction des données CAO

Les composants constituent les objets de conception qui sont ensuite regroupés en classes d'objets définissant le modèle objet du produit comme indiqué en figure 14.

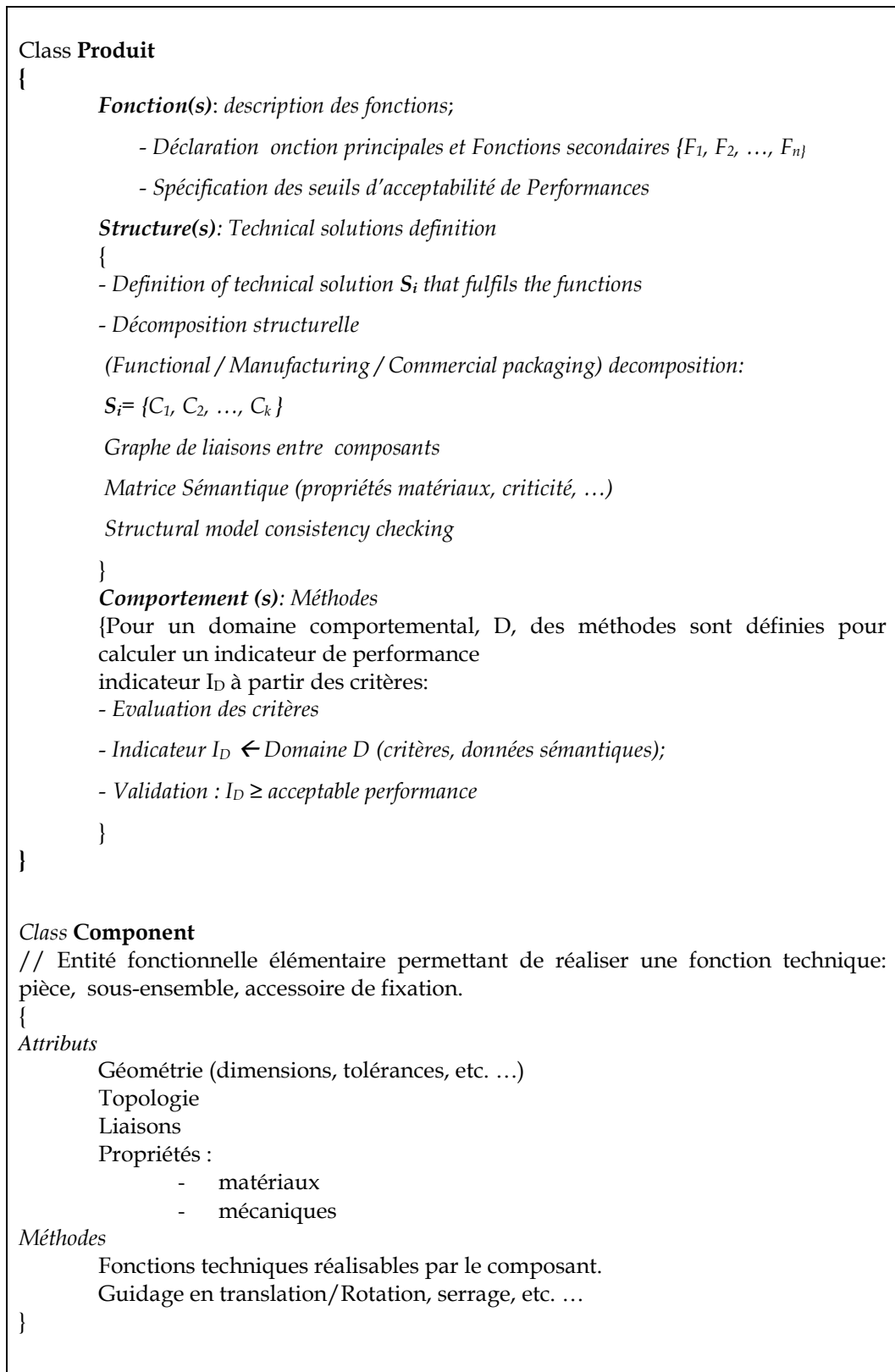


Fig. 14: Modèle objet d'un Produit

Enrichissement sémantique

Les objets de conception extraits de la CAO sont enrichis avec des données sémantiques comme: la matière, la fiabilité, la criticité, les types et natures des liaisons, interactions des composants.

Contrôle de Cohérence

Le contrôle de cohérence du modèle sémantique du produit a pour but de détecter d'éventuelles contradictions sur la nature des composants (criticité, fiabilité, matériau) et sur les types de liaisons entre composants. Ce contrôle est réalisé à l'aide du logiciel CICLOP, raisonneur en logique de description, développé au LGeCo par F. De Beuvron [B33]. Les concepts utilisés sont relatifs aux classes de base *Produit*, *Composant*, *Liaison*, des sous-classes de Composant (*Pièce*, *Sous-ensemble*, *Accessoire*).

A partir de ces concepts, on définit, d'une part, des TBox (Terminological Box) qui définissent les concepts (classes UML) et les rôles (associations) et, d'autre part, des ABox (Assertional Box) qui décrivent les différents objets de conception (instances et associations) du modèle produit à évaluer. Le niveau d'expressivité de logique de description utilisé est de type **ALCNI** [123], suffisant pour décrire notre modèle produit.

Élaboration de la matrice sémantique

Comme indiqué en figure 6, cette étape consiste à construire une matrice à partir de la nomenclature des composants, de leurs attributs sémantiques, des liaisons.

En nous inspirant des travaux de [37, 57, 82], nous avons proposé dans [A3] une architecture logicielle pour implémenter l'approche d'évaluation comportementale en environnement CAO.

IV.3.4 Architecture logicielle

En nous inspirant des systèmes CAO avancée proposés dans [36, 57, 77, 110], nous avons proposé dans [A3] une architecture logicielle comportant un système de CAO couplé à un système d'évaluation.

- Le système de CAO utilise un modeleur paramétrique à base de features avec des fonctionnalités de gestion de configurations.
- Le système d'évaluation des performances calcule les indicateurs et permet la visualisation sur un « tableau de bord » des résultats ainsi que la mémorisation des solutions explorées pendant le processus de conception.

La figure 15 montre la chaîne de traitement : de la modélisation CAO à la mise en œuvre de l'évaluation des performances comportementales.

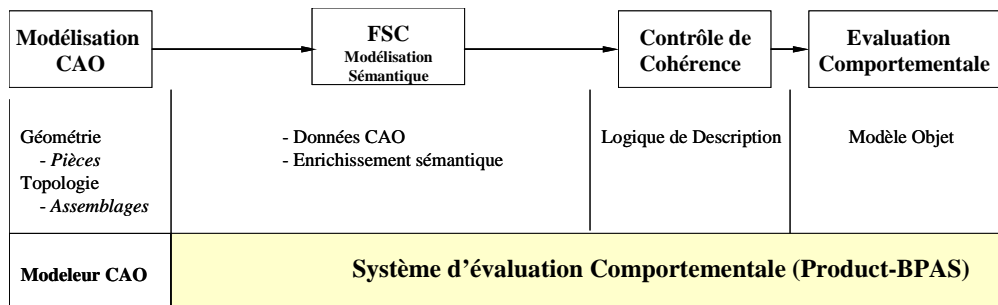


Fig. 15 : *Système d'Évaluation Comportementale (Product-BPAS)*

Le système Product-BPAS (Product Behavioral Performance Assessment System) comporte trois modules :

- le module FSC comprend un éditeur de composants et d'assemblages permettant d'enrichir le modèle CAO par ajout de données sémantiques, de règles et de connaissances liées au domaine comportemental considéré.
- le module COHERENCE, basé sur une analyse par la Logique de Description [7], permet de vérifier la cohérence des critères à évaluer (consistance, non ambiguïté, non redondance des données et règles). Pour cela nous utilisons le logiciel CICLOP, développé par le Laboratoire en Informatique et Intelligence Artificielle (LIIA), un des groupes du LICIA.
- le module EVALUATION, détermine les indicateurs de performance.

Le système Product-BPAS basé sur l'utilisation de modèle CAO au format STEP [16, 33], est indépendant du système de CAO dont les formats natifs restent encore protégés par les éditeurs de logiciels. L'annexe 1 montre le démonstrateur en cours de développement.

IV.4 Applications

Durant ces cinq dernières années nous nous sommes intéressés à deux domaines à fort contenu sémantique : la fiabilité et la maintenabilité dont l'intérêt industriel est croissant dans un contexte concurrentiel toujours plus exigeant en matière de disponibilité des produits [60].

IV.4.1 Evaluation de la fiabilité

« La fiabilité est une caractéristique d'un système exprimée par la probabilité que ce système accomplisse la fonction pour laquelle il a été conçu, dans des conditions données et pendant une durée donnée ». Selon le cas cette durée appelée *durée de mission* peut être exprimée en temps, en kilométrage, en nombres de cycles, etc. ... Un indicateur de bonne fiabilité est caractérisé par un MTBF (Moyenne des temps de Bon Fonctionnement) le plus long possible.

Les travaux de thèse de Xavier Zwingmann [128] proposent une méthode d'estimation de la *fiabilité* dès la phase de conception. La méthode proposée est basée sur des travaux relatifs à la notion d'essais virtuels [A2].

IV.4.2 Evaluation de la maintenabilité

Nous avons appliqué cette démarche à l'évaluation de la maintenabilité [A1]. Nous résumons ci-après les principaux résultats.

La maintenabilité d'un système réparable est définie comme la caractéristique d'un équipement ou d'une installation à être réparé(e) facilement et efficacement. Du point de vue de l'utilisateur final, la maintenabilité, équivaut à l'augmentation du taux de service et à la baisse des coûts de maintenance. Nous nous intéressons ici aux produits à base de composants mécaniques. D'une manière générale, la maintenabilité englobe les activités depuis la détection de la panne, le diagnostic, la réparation, et les tests. Elle dépend de différents critères résumés dans le tableau 3.

Nous avons classifié les critères en deux catégories :

- critères intrinsèques : qui dépendent de la structure du produit, de la configuration de ses composants et des liaisons;
- les critères contextuels : fonctions du contexte de maintenance y compris le matériel, les ressources humaines [3, 34, 101], les conditions de travail.

Hypothèses de calcul de l'indicateur de maintenabilité

Nos travaux portent actuellement sur le critère d'assemblabilité/désassemblabilité. Soit T_{maint} , le temps nécessaire à la réparation du produit suite à une panne. Ce temps est la durée totale des temps de détection de la panne ($T_{\text{détection}}$), de diagnostic ($T_{\text{diagnostic}}$), de réparation ($T_{\text{réparation}}$) et de test (T_{test}).

$$T_{\text{maint}} = T_{\text{détection}} + T_{\text{diagnostic}} + T_{\text{réparation}} + T_{\text{test}} \quad (\text{Eq. 1})$$

Critères intrinsèques	<i>Réparabilité</i> : aptitude d'un système à être réparé suite à une panne, <i>Accessibilité</i> : Facilité à atteindre un composant au sein d'un assemblage. <i>Assemblabilité</i> : aptitude d'un composant à être assemblé. <i>Désassemblabilité</i> : aptitude d'un composant à être désassemblé d'un système <i>Standardisation</i> : component standard <i>Interchangeabilité</i> : ability to be replaced with another component <i>Survivabilité</i> : aptitude d'un système à continuer de fonctionner (mode dégradé) suite à la défaillance de composants. <i>Redundancy</i> : for components existing in multiple equivalent occurrences
Critères contextuels	<i>Outillages</i> : équipements de maintenance (clés, palans, tournevis, ...) <i>Compétences</i> : compétences des ressources humaines pour les opérations de maintenance <i>Logistique</i> : disponibilité, transport de pièces détachées et de l'équipement de maintenance <i>Environnement</i> : conditions de travail (éclairage, température, poussières, etc. ...) <i>Déteçtabilité</i> : facilité à détecter une panne et à localiser les composants en cause, <i>Testabilité</i> : aptitude d'un composant ou un système à être testé. <i>Manœuvrabilité</i> : aptitude d'un composant à être manœuvré (manipulé). <i>Auto diagnostic</i> : aptitude d'un composant ou d'un système à effectuer un self-test.

Tableau 3 : Critères de maintenabilité

Pour une meilleure maintenabilité tous ces temps doivent être les plus faibles possibles.

Au stade de la conception d'un produit nouveau, les temps de détection, de diagnostic et de test s'avèrent délicats à estimer. Aussi, en pratique, la maintenabilité est caractérisée par le temps de réparation. Par extension, à partir de ce temps on définit la MTTR (Moyenne des Temps Techniques de Réparation) définie par la spécification 1010/CCT [74, 100, 101]. Nous ne considérons ici que les opérations de démontage et de montage des composants. A partir des travaux de Lambert [1] nous avons proposé une approche de détermination et d'optimisation des séquences de désassemblage d'un produit [1, 54, A2].

a) Indicateur de maintenabilité globale

Soit S_N^k la séquence optimale de désassemblage pour accéder au composant C_k , où N est le nombre de composants à démonter pour accéder à C_k . $Démonter(S_{N-i+1}^k, i)$ est le temps requis pour démonter le composant C_i dans la séquence résiduelle après démontage des $(i-1)$ premiers composants. Dans l'équation 2, R_{time}^k définit le cumul des temps requis accéder et démonter un composant cible défectueux C_k . Nous évaluons l'indicateur de maintenabilité (I_M) pour un produit en faisant le cumul des R_{time}^k pour tous les composants potentiellement défectueux qui faudra remplacer ou réparer (Eq. 3).

$$R_{time}^k = \sum_{i=1}^N Démonter(S_{N-i+1}^k, i) \quad (Eq. 2)$$

$$I_M = \sum_{k=1}^n R_{time}^k \quad (\text{Eq. 3})$$

où n est le nombre total de composants défini à l'issue de la composition du produit. Plus la valeur de l'indicateur I_M est faible, meilleure est la maintenabilité.

Cet indicateur donne une idée globale de la complexité structurelle du produit cependant il n'est pas significatif pour comparer différentes solutions alternatives. En effet, il ne tient pas compte ni de la criticité des composants ni de leur fiabilité.

b) Indicateur de maintenabilité basée sur la criticité

Nous avons défini un indicateur de maintenabilité basée sur la criticité en ne nous intéressant qu'aux composants critiques par rapport à un seuil de criticité K_0 fixé par le cahier des charges (Eq. 4).

$$I_M^c = \sum_{k=1}^{N_c} R_{time}^k \quad (\text{Eq. 4})$$

où

$N_c = |\Omega_c|$, est le nombre de composants critiques,

$\Omega_c = \{\text{composant } C_i \in \text{produit et criticité } K_i \geq K_0\}$

K_i est la criticité du composant C_i , $K_i \in [0,1]$.

c) Indicateur de maintenabilité basée sur la fiabilité

De même, nous avons défini un indicateur de maintenabilité basée sur la fiabilité en ne considérant que les composants non suffisamment fiables par rapport à un niveau de fiabilité globale exigé pour un produit. Nous supposons dans ce cas que la fiabilité du produit $R(t)$ est le produit des fiabilités des composants $R_i(t)$ en fonction du temps t .

$$R(t) = \prod_{i=1}^n R_i(t) \quad (\text{Eq. 5})$$

L'indicateur est :

$$I_M^r = \sum_{k=1}^{N_r} R_{time}^k \quad (\text{Eq. 6})$$

où

$N_r = |\Omega_r|$, est le nombre de composants non fiables,

$\Omega_r = \{\text{composant } C_i \in \text{produit et fiabilité } R_i \leq R_0\}$

R_i est la fiabilité du composant C_i , $R_i \in [0,1]$.

d) Indicateur de maintenabilité basée sur la criticité et la fiabilité

Dans ce cas ne sont pris en compte que les composants critiques non fiables

$$I_M^{cr} = \sum_{k=1}^{N_{cr}} R_{time}^k \quad (\text{Eq. 7})$$

où

$N_{cr} = |\Omega_{cr}|$, est le nombre de composants critiques et non fiables,

$\Omega_{cr} = \{\text{composant } C_i \in \text{produit avec (criticité } K_i \geq K_0) \text{ et (fiabilité } R_i \leq R_0)\}$

Nous utilisons cet indicateur plus significatif pour :

valider une solution par rapport à un critère de maintenabilité exigé par le cahier des charges mais également pour comparer des solutions alternatives.

e) Indicateur de maintenabilité contextuelle

Du fait de l'influence des conditions d'utilisation sur la fiabilité de certains composants, il apparaît que l'indicateur de maintenabilité intrinsèque doit être réévalué en conséquence [86, 105, 127]. Nous avons abordé l'étude de ce phénomène dans [B1] en considérant les facteurs contextuels regroupés selon trois points de vue :

- le profil d'utilisation du produit : rythme, cadence, taille de la série pour une machine-outil ;
- le profil de l'utilisateur : comportement des opérateurs ;
- les conditions liées à l'environnement d'utilisation : par exemple la température, l'humidité, la poussière, ...

Selon le contexte, on identifie les composants impactés pour lesquels les fiabilités sont recalculées avant de déterminer l'indicateur contextuel.

Le paragraphe suivant montre un exemple simple d'illustration de cette approche pour un multiplicateur de vitesses représenté partiellement en figures 16a et 16b.

f) Exemple : Multiplicateur de vitesses

Cet exemple est présenté en détails dans l'article [A1] où les indicateurs de maintenabilité et de sécurité ont été évalués pour différentes configurations..

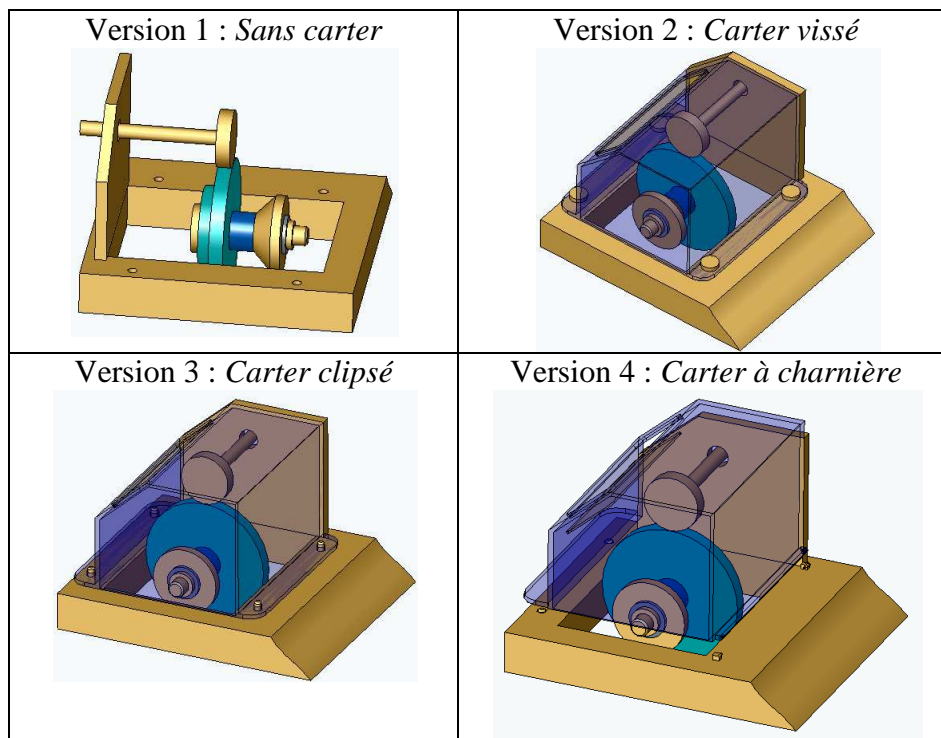


Fig. 16a: *Multiplicateur de vitesses (4 solutions alternatives)*

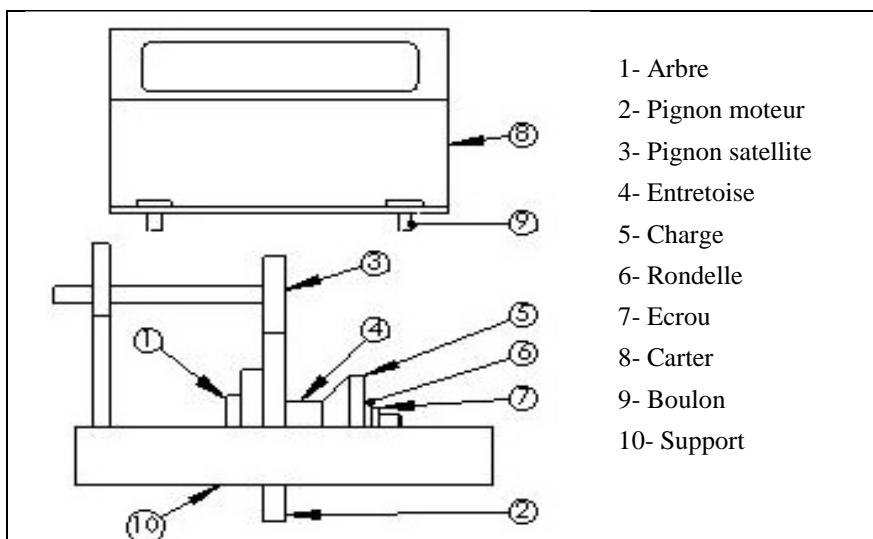


Fig. 16b: Nomenclature générique

Le tableau 4 présente les principaux résultats concernant les indicateurs de maintenabilité pour les 4 solutions la meilleure étant la version 1.

	Maintenabilité I_M	Sécurité I_S
Version 1	7	11,25
Version 2	19	0
Version 3	15	0
Version 4	11	0

Tableau 4 : Indicateurs de maintenabilité et de sécurité

Cette étude a également soulevé le problème de l'antagonisme entre les objectifs de maintenabilité d'une part et de sécurité d'autre part. Ce problème fera l'objet d'investigations ultérieures.

IV.4.3 Évaluation sur le cycle de vie

Depuis 2006, il a été mis en place au sein du LGeCo avec Bernard Mutel, Emmanuel Caillaud, Rémy Houssin, Mickaël Gardoni et François De Beuvron, un groupe de recherche sur le thème « Evaluation de Performances Comportementales de Produits » que j'anime.

Ce groupe de recherche a pour objectif d'étendre les domaines d'application de l'évaluation à d'autres aspects du cycle de vie comme la sécurité [A1, B1, B2, B6, AS1], l'analyse du risque [44] et la conception durable [B3].

Par ailleurs, dans le cadre de la thèse de Ying Huang [T1], démarrée en 2007, nous avons initié des travaux sur l'élaboration et la personnalisation contextuelle de document de maintenance pour les produits complexes notamment dans les secteurs de l'automobile et de l'aéronautique [2, 19, 99, 122].

ENCADREMENT DE TRAVAUX DE RECHERCHE

V. ENCADREMENT DE TRAVAUX DE RECHERCHE

V.1 Encadrement de thèses

J'ai co-encadré 3 thèses soutenues en mai 2005 (X. Zwingmann), Septembre 1998 (E. Ostrosi) et en Juin 1990 (E. Murzeau). Je participe actuellement à l'encadrement de trois autres thèses :

- la thèse de Jean-Baptiste Ményé dont la soutenance est prévue en décembre 2008,
- la thèse de Ying Huang engagée depuis août 2007 et
- la thèse de Khalifa Gaye démarrée en mars 2008.

Nous présentons ici un résumé de ces différents sujets ainsi que leurs contributions sur la modélisation produit et l'évaluation de performances comportementales.

a) Thèse d'Egon OSTROSI

Septembre 1998

1- Sujet

Contribution à l'étude d'une méthode de Représentation et de Reconnaissance de Features pour les systèmes avancés de CFAO Mécanique.

2- Objectifs

Cette thèse porte sur la Représentation des Features par un formalisme de Grammaire et une approche de Reconnaissance des Features liant le formalisme de représentation de ces features au processus de leur reconnaissance. Prenant en compte la *Syntaxe* et la *Sémantique* qui caractérisent le concept de Features l'approche de reconnaissance proposée permet de traiter les interactions entre Features.

3- Contribution

3-1 Représentation des features

Ces travaux ont permis de définir une Grammaire de Features comme un système formel représenté par un triplet des grammaires concurrentes, Figure 17 :

$$G_{Features} = \{ G_{structure}, G_{jonction}, G_{connexion} \}$$

où:

- $G_{structure}$ est la grammaire des structures ;
- $G_{jonction}$ est la grammaire des jonctions ;
- $G_{connexion}$ est la grammaire de connexions.

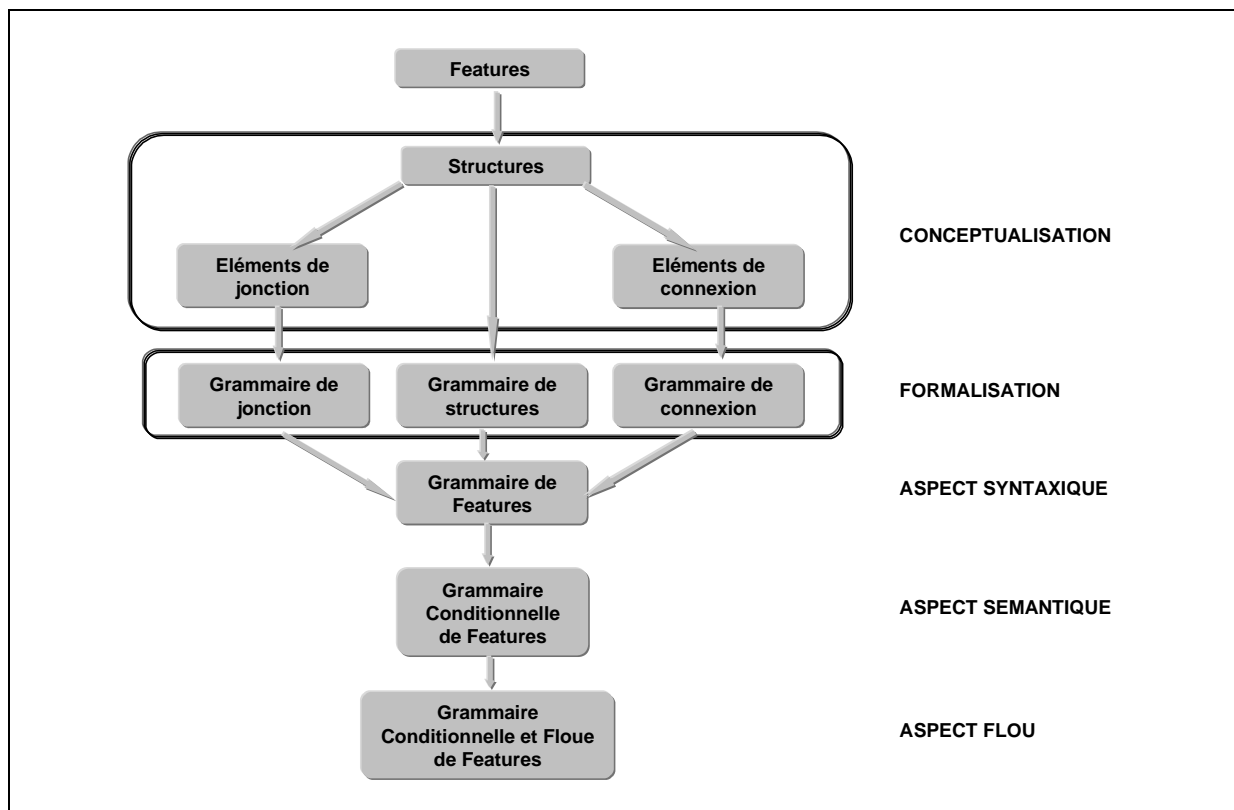


Fig. 17 : Etapes de formalisation par Grammaire

Chacune de ces grammaires est définie par un quadruplet :

$$G_i = \{ V_i^T, V_i^N, S_i, P_i \}$$

où :

- G_i est la grammaire pour la classe i
- V_i^T est le vocabulaire terminal de i , un ensemble fini non vide,
- V_i^N est le vocabulaire non terminal de i , un ensemble fini non vide
- $V_i^T \cap V_i^N = \emptyset$
- $S_i \in V_i^N$ est appelée structure axiome
- P_i est un ensemble de règles de production de i .

3-2 Reconnaissance de Features

Nous avons proposé une approche permettant de reconnaître des Features en interaction par le concept de *Grammaire Floue* obtenue définie à partir de la Grammaire de Features et en y introduisant la notion d'incertitude sur les formes reconnues qui interagissent dans un modèle de pièce [A6].

La figure 18 montre les principales phases de cette approche.

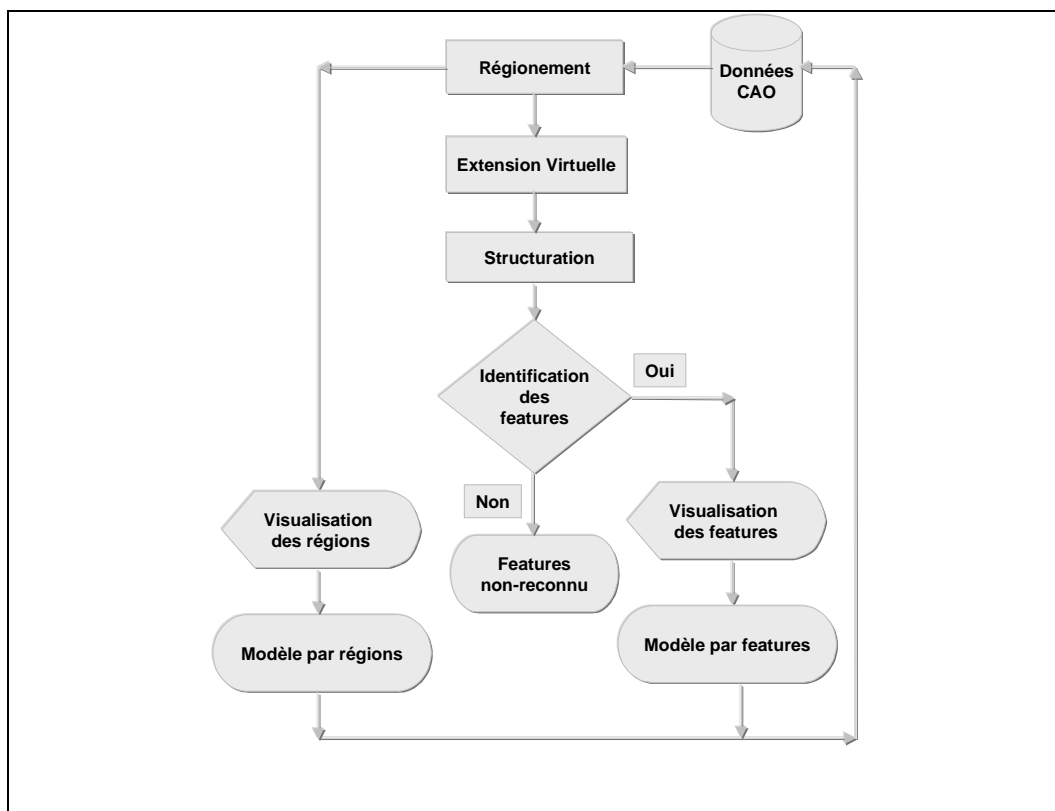


Fig.18 : Procédure de Reconnaissance des Features

- La première phase de *Régionnement*, consiste à localiser les zones de naissance de features potentiels.
- La deuxième phase, *Extension Virtuelle*, consiste à construire les liaisons et les faces virtuelles.
- La troisième phase, *Structuration*, consiste à transformer la région en une structure compatible avec la structure des features représentés par la Grammaire des Features.
- La quatrième phase, *Identification*, consiste à identifier les features dans ces zones.
- La cinquième phase, *Modélisation*, consiste à représenter le modèle soit par régions soit par features.

Une région définit une zone potentielle de la pièce où soit des features canoniques soit des features en interaction pourraient être reconnus. Ainsi, les régions représentent l'espace de recherche de features.

Par exemple, la pièce de la figure 19.a est composée de deux régions :

-la première région est constituée de faces concaves 1,2,3, et de la face convexe 7, qui est susceptible d'être transformée en concave par l'étendue virtuelle vers la face 1 ;

-la deuxième région est constituée de faces concaves 4,5,6, et de la face convexe 7. Dans ce cas, la face convexe 7 peut être transformée en concave par l'étendue virtuelle vers la face 6 ;

Ces deux régions ont la face 7 en commun. Par conséquent une macro - région est définie par $\langle \text{macro-région}_1 \rangle \rightarrow \langle \text{région}_{11} \rangle \langle \text{région}_{12} \rangle$ où $\langle \text{région}_{11} \rangle$ et $\langle \text{région}_{12} \rangle$ sont respectivement la première région et la deuxième région de la première macro - région $\langle \text{macro-région}_1 \rangle$.

La pièce en figure 19.b est composée d'une région constituée de faces concaves 1,2,3,4,5,6.

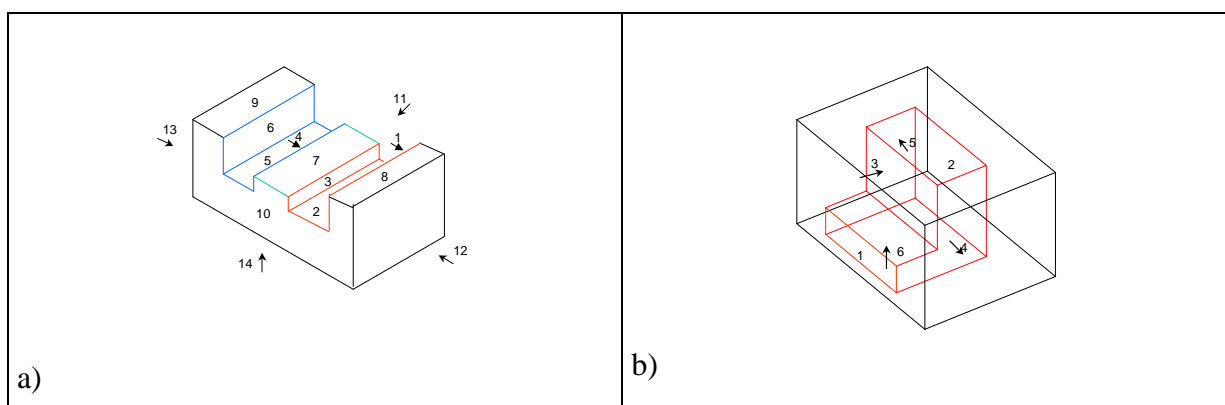


Fig. 19 : Exemple de décomposition en régions

Ces résultats ont fait l'objet d'un démonstrateur S.A.R.F. Système d'Aide à la Reconnaissance de Features. Ce système a été implémenté dans l'environnement Catia.

Publications : [T4, A6, B15, B16, B17, B18, B19, B20, B21]

b) Thèse de Xavier ZWINGMANN

Mai 2005

1- Sujet

Modèle d'Evaluation de la Fiabilité et de la Maintenabilité au stade de la Conception.

2- Objectifs

L'objectif de ces travaux est de développer des outils et des méthodes d'assistance aux différents intervenants dans la conception de produit en leur fournissant rapidement une évaluation des performances des solutions techniques qu'ils proposent.

3- Contribution

Ainsi, nous proposons deux modules d'évaluation, l'un pour la fiabilité et l'autre pour la maintenabilité, qui s'intègrent dans une nouvelle approche d'évaluation comportementale de la conception, l'approche Fonctionnelle, Structurelle et Comportementale (FSC) développée par Amadou Coulibaly. Cette approche met à profit l'ensemble des ressources disponibles dans les environnements de conception assisté par ordinateur (CAO) pour évaluer le comportement du produit à différentes périodes de son cycle de vie, de sa fabrication à son recyclage. L'évaluation repose sur l'identification et la formalisation de critères qui influencent le comportement considéré.

3-1 Evaluation de fiabilité

Pour l'évaluation de la fiabilité, nous avons étudié un critère de défaillance basé sur la résistance mécanique pour lequel nous avons proposé plusieurs possibilités de formalisation. Celles-ci reposent sur l'utilisation d'un banc d'essais virtuel qui reproduit, à l'aide des outils de la CAO, les essais traditionnellement réalisés sur des prototypes physiques en fin de conception. Ces différentes formalisations aboutissent à un indicateur de la fiabilité, statique dans un premier temps, puis variant dans le temps.

3-2 Evaluation de la Maintenabilité

Pour la maintenabilité, nous avons étudié un ensemble de critères, permettant de concevoir des produits « maintenables » : plus simples à assembler et à désassembler, et en utilisant des matières recyclables. Ainsi, pour chaque critère identifié, une formulation principale est détaillée afin de permettre de concourir vers un indice de maintenabilité global.

Les concepts et outils élaborés dans ce projet sont validés progressivement sur les aides à la mobilité attribuées, maintenues et valorisées par les centres de réadaptation en déficience physique du Québec, figure 20. Ces centres sont impliqués dans un projet de valorisation (récupération, recyclage) des aides à la mobilité et sont confrontés à des problèmes de fiabilité et de maintenabilité découlant de la conception.

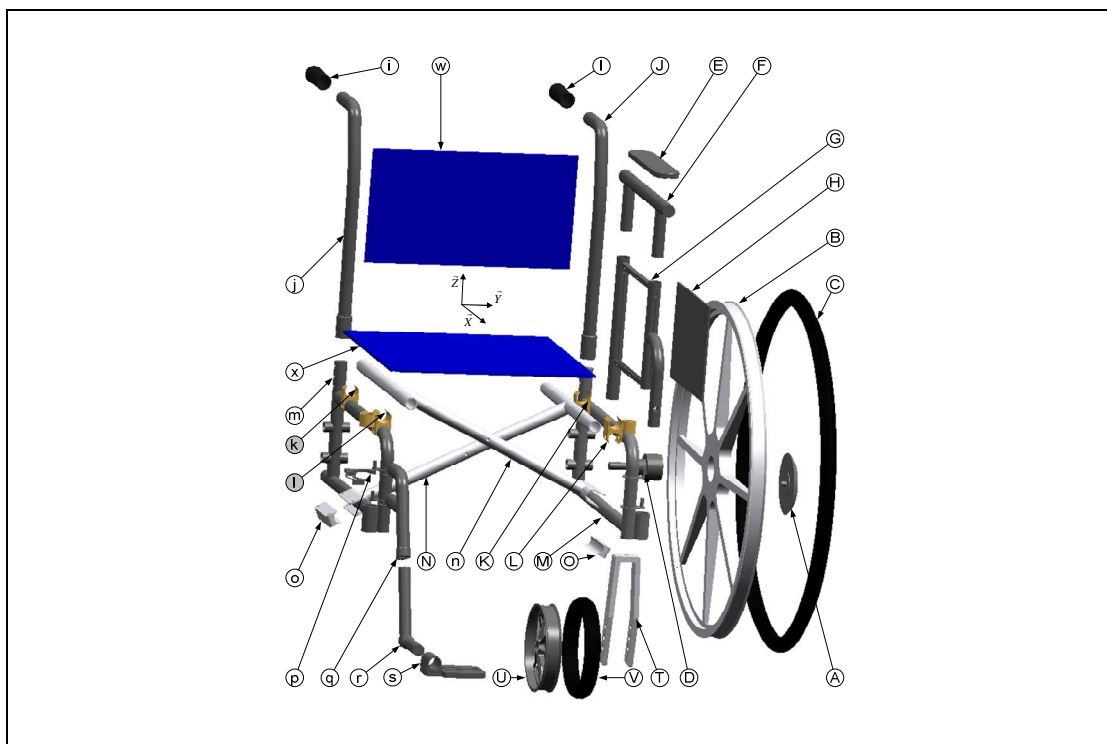


Fig. 20 : *Fiabilité et maintenabilité de Fauteuil roulant*

Cette application a permis d'améliorer la fiabilité tout en facilitant la maintenance pour une gamme de fauteuils roulants. La collaboration avec l'IRDPQ se produit encore en vue d'étendre l'étude à l'ensemble des gammes des aides à la mobilité.

Publications : [T3, A2, A4, B7, B8, B9, B10, B11, B12, B13, B14]

c) Thèse de Jean-Baptiste MENYE
Soutenance prévue été 2009

1- Sujet

Prise en compte de la Maintenabilité et de Disponibilité en conception

2- Objectifs

1°) Le premier objectif de cette thèse est de :

- proposer un indicateur de maintenabilité globale basé sur la Moyenne des Temps Techniques de Réparation (MTTR) de produits mécaniques [B4];
- réduire la complexité de la matrice sémantique en considérant la fiabilité et la criticité des composants.

2°) Le second objectif: est de :

- développer un outil d'aide à la décision pour réduire le Temps des Procédures Administratives (TPA) à partir d'un modèle d'affectation de ressources et de planification des activités de maintenance [B32];
- proposer une approche d'évaluation de la disponibilité en tenant compte du profil de mission d'un équipement assujetti à un remplacement préventif

3- Contributions

3-1 Évaluation de la Maintenabilité

Contribution 1 : Développement d'un indicateur agrégé de maintenabilité

Indicateur basé sur la Moyenne des Temps Techniques de Réparation (MTTR).

Soient λ_i et $MTTR_i$ le taux de panne et la moyenne des temps techniques de réparation du composant i , respectivement, un indicateur agrégé, MTTR du produit,

$$\text{peut s'écrire : } MTTR = \frac{\sum_i \lambda_i MTTR_i}{\sum_i \lambda_i}$$

Les λ_i sont obtenus à partir des essais de fiabilité.

Les $MTTR_i$ sont obtenus à partir du graphe de connexion ou de désassemblage du produit.

A Noter que les $MTTR_i$ ainsi obtenus supposent que toutes les ressources requises sont disponibles (main d'œuvre, pièces de rechange et outillage).

N.B.: cet indicateur a été établi pour des composants dont le taux de panne est constant. Dans le cas général, si au composant i , on associe une fonction densité de

$$\text{durée de vie } f_i(t), \text{ alors : } MTTR = \frac{\sum_i M_i(t) \times MTTR_i}{\sum_i M_i(t)}$$

où $M_i(t)$ est le nombre de renouvellements du composant i sur l'horizon $[0, t]$.

$$M_i(t) = F_i(t) + \int_0^t M_i(t-x) f_i(x) dx$$

Contribution 2 : Réduire la complexité de la matrice sémantique en considérant la fiabilité et la criticité des composants.

Si pour le composant k, la fiabilité, R_k , sur l'horizon considéré est supérieure ou égale à un seuil R_0 , alors le composant k ne figurera pas comme nœud terminal du graphe.

3-2 Évaluation de la Disponibilité

La disponibilité stationnaire est la proportion de temps où le système est en état d'opération sur un horizon donné.

On s'intéresse à la durée d'inactivité du système. Cette durée comporte deux composantes :

- temps de réparation active :
 - o localisation
 - o détection
 - o diagnostic
 - o désassemblage
 - o remplacement ou réparation
 - o assemblage
 - o test de bon fonctionnement

- temps pour les procédures administratives (TPA)
 - o autorisations
 - o bon de travail
 - o sécurité
 - o pièces de rechange
 - o outillages
 - o ressources humaines

$$UTR = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR + TPA}$$

Contribution 3 : Outil d'aide à la décision pour réduire le TPA.

Le niveau de disponibilité requis étant spécifié dans le cahier de charge, le concepteur doit recueillir les informations suivantes à prendre en considération dans l'estimation du TPA:

- politique de maintenance
- les ressources disponibles
- la méthode de planification des activités
- les procédures administratives
- les compétences disponibles

Nous proposons un outil d'aide à la décision permettant d'intégrer ces informations

Contribution 4 : Évaluation de la disponibilité en tenant compte du profil de mission d'un équipement soumis à un remplacement préventif.

Disponibilité instantanée : probabilité que le système soit en état d'opération au moment requis.

Pour un fonctionnement continu (profil de mission continu, arrêts dus uniquement aux pannes), si à chaque composant i , on associe le couple (λ_i, μ_i) , λ_i taux de panne, μ_i taux de réparation, sans maintenance préventive [83, 118],

$$UTR = \frac{1}{1 + \sum_i \frac{\lambda_i}{\mu_i}}$$

Pour évaluation de la disponibilité pour un système assujetti à un remplacement préventif, nous proposons une formulation de la disponibilité, comme suit :

$$A(T) = \frac{\int_0^T R(t)dt}{\int_0^T R(t)dt + T_c [1 - R(T)] + T_p R(T)}$$

L'état d'avancement de la thèse permettra une soutenance prévue pour la fin 2008.

Publications : [B4, B32]

d) Thèse de Ying HUANG
Soutenance prévue 2011

1- Sujet

Elaboration de documents de maintenance personnalisables pour les produits mécaniques complexes.

2- Objectifs

Cette recherche porte sur l'élaboration de documents de maintenance personnalisés pour produits complexes. Elle a pour objectif de proposer un modèle de document de maintenance électronique permettant de fournir à différentes catégories d'utilisateurs (clients, techniciens spécialisés) une vue des opérations de maintenance en fonction des conditions d'utilisation.

3- Contribution

A terme, ce travail permettra de tenir compte de l'influence des conditions d'utilisation du produit dans l'évaluation de performances. Les principaux facteurs d'influence sont définis selon le profil d'utilisation, le comportement de l'utilisateur et les conditions environnementales (poussières, humidités, température, etc...) [B32].

3-1 Approche d'élaboration de document de maintenance personnalisables

La figure 21 montre le principe de construction dynamique des documents de maintenance à partir d'une maquette numérique CAO.

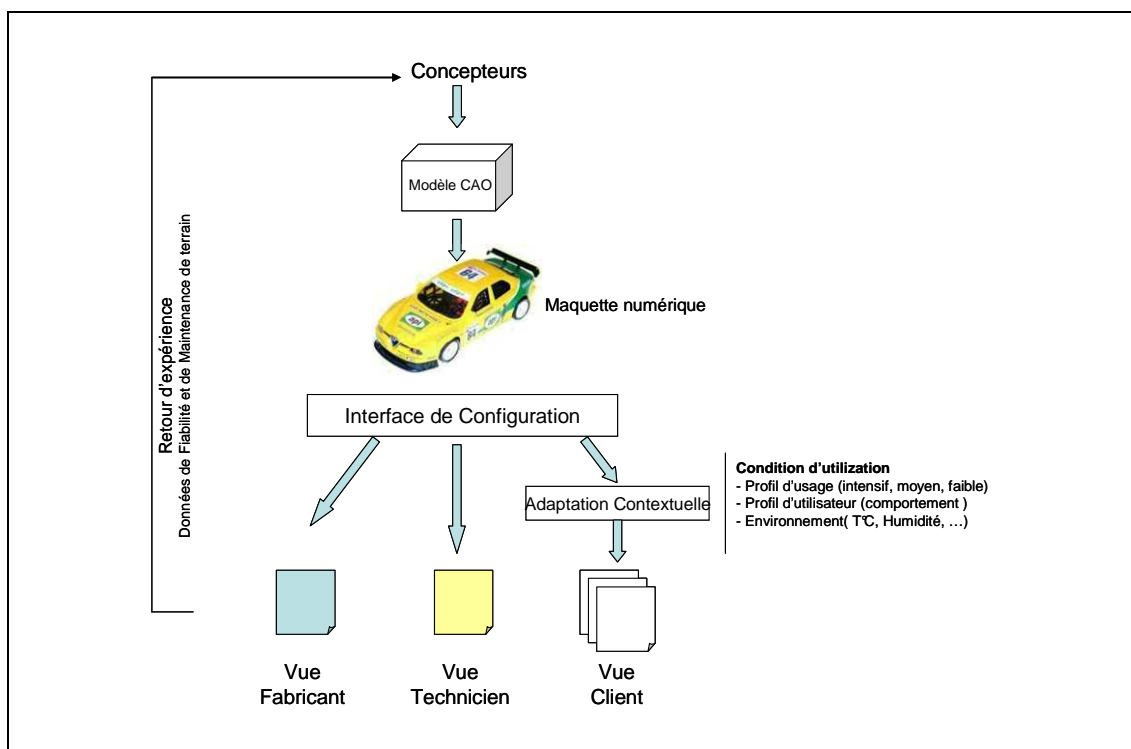


Fig. 21 : Approche de personnalisation de document de maintenance

L'interface de configuration permet de définir le profil du document de maintenance selon les vues fabricant, technicien ou client. L'adaptateur contextuel permet d'affiner le document en tenant compte des conditions d'utilisation caractérisées par le profil d'usage, le profil d'utilisateur et des contraintes environnementales.

3-2 Exploitation du document de maintenance

Le document de maintenance sera utilisable à partir d'un environnement PLM en vue de la collecte des données de fiabilité et de maintenance sur sites clients et de la remontée en conception pour améliorer les produits.

Publications : [B32]

e) Thèse de Khalifa GAYE
Soutenance prévue 2012

1- Sujet

Système d'information de connaissances pour le Transfert de Technologie dans les entreprises.

2- Objectifs

Créer les conditions propices à la construction d'une « collaboration compétitive » entre le tissu industriel local des PME et les laboratoires de recherche publique en fiabilisant les transferts de technologies, de compétences et/ou de connaissances.

3- Contribution

Dans le cadre de ces travaux, une application de notre approche d'évaluation de l'impact environnemental dans les processus industriels permettra la mise en œuvre de pratiques de développement durable de produits dans les PME.

V.2 DEA, Masters, Thèses CNAM

- [E1] Adil SARDI: Master Conception de Systèmes Mécaniques (ULP)
Evaluation de la Maintenabilité et de la Fiabilité des Systèmes Mécaniques au stade de la conception en environnement CAO (Juillet 2006).
- [E2] Saber TOUFIK: Master Conception de Systèmes Mécaniques (ULP)
Enrichissement sémantiques de modèles CAO en vue de l'évaluation de la Maintenabilité et de la Fiabilité des Systèmes Mécaniques au stade de la conception (Juillet 2006).
- [E3] Xavier ZWINGMANN: DEA Génie des Systèmes Industriels (ENSGSI-ENSAIS)
Prise en compte des contraintes de maintenabilité dès la phase de conception dans les systèmes de CAO Mécanique Avancée. (Co-encadrement Université Laval, Pr. D. Ait-Kadi). (Septembre 2000).
- [E4] Jamaa EL MHAMED: DEA Génie des Systèmes Industriels (ENSGSI-ENSAIS)
Reconnaissance des Features interactifs de conception à partir d'une approche basée sur les grammaires de Plex. Implémentation en CFAO. (Septembre 1999)
- [E5] Emmanuel KLEMKE, DEA Génie des Systèmes Industriels (ENSGSI-ENSAIS)
Prise en compte des contraintes de Maintenance dans le processus de Conception basée sur la méthode FSC. (Co-encadrement Université Laval, Pr. D. Ait-Kadi). (Septembre 1998)
- [E6] Pierre DALMASSO, DEA Génie des Systèmes Industriels (ENSGSI-ENSAIS)
Conception intégrée de Produits à partir des modèles de Spécifications Fonctionnelles, Structurelles et Comportementales de Produits (Approche FSC). (Septembre 1998)
- [E7] Laurent DESTÈ, DEA Génie des Systèmes Industriels (ENSGSI-ENSAIS)
Reconnaissance des Features interactifs de conception à partir d'une approche basée sur les grammaires conditionnelles (Septembre 1997)
- [E8] Denis MUGNIER, DEA Automatique et Informatique Industrielle de l'Institut de Recherche Polytechnique de Mulhouse.
Elaboration d'un Algorithme de reconnaissance des entités fonctionnelles de conception à partir de modèles CAO au format SET. (Septembre 1995).
- [E9] Vincent GAUTIER, DEA Automatique et Informatique Industrielle de l'Institut de Recherche Polytechnique de Mulhouse.
Description des Features par le formalisme des Frames : Application à un Système de préparation à la fabrication. (Septembre 1995).
- [E10] Mamaré MAGNI, Mastère de productique,
Méthodologie de reconnaissance des entités fonctionnelles à partir d'un modèle géométrique au format SET. (Septembre 1994)
- [E11] Andreas HERBST, DEA Automatique et Informatique Industrielle de l'Institut de Recherche Polytechnique de Mulhouse.
Spécification d'un cahier des charges fonctionnel pour le développement d'un Système de Gestion de Données Techniques. (Juin 1993).
- [E12] Malik BELBACHIR, Thèse professionnelle
Contribution à la génération automatique et à l'amélioration de maillages pour éléments finis en deux dimensions. (Mai 1993)

- [E13] Pierre CORDIER, Thèse CNAM
Conception d'outillages de moule d'injection plastique à partir de la bibliothèque d'éléments standards HASCO dans l'environnement AutoCAD. (Juin 1992).
- [E14] François XAINTRAY, Thèse CNAM
Mise au point d'une méthodologie de conception de pièces mécaniques en environnement XAO. (Juin 1992)

ACTIVITES DE TRANSFERT DE TECHNOLOGIES

VI. ACTIVITES DE TRANSFERT DE TECHNOLOGIES

Fortement impliqué dans les activités de transfert de technologie, j'ai assuré l'encadrement de différents contrats industriels dans le cadre de projets de fin d'études ou de contrats de recherche-développement (OARA, Cortechs) :

- TECHLASE, Sélestat (2008): Établissement d'un cahier des charges pour la mise en place d'un système de gestion documentaire informatisée.
- ROHL S.A., Krafft (2006) : Certification EN-40 de candélabres [D2].
- SOCOMEC, Benfeld (2006): Choix et déploiement de Systèmes de Gestion de Données Techniques (SGDT) dans les sociétés [E11].
- ANOFLEX (2006), Caluire et Cuire : Choix et déploiement de Systèmes de Gestion de Données Techniques (SGDT) dans les sociétés
- GEBO Industries, Reichstett (2005) : Mise en place d'une chaîne CAO / ERP
- SERCOM France, Strasbourg (2003): Développement d'un pulvérisateur de désodorisation industrielle)
- 9 Contrats Cortechs (Rolos, Manuest Concept [D3], LMA, Synergy'3, Rohl SA). (1999-2003)
- 4 Contrats OARA (Opération Alsace Robotique et Automatisation) (Projets de Fin d'Etudes 1999 - 2002)

CONCLUSIONS

VII. CONCLUSIONS

Dans un contexte de mondialisation et de compétition industrielle toujours plus rude, la maîtrise des coûts de développement, des délais de mise sur le marché et des performances du produit le long du cycle de vie est une des clés du succès commercial de tout projet de lancement de nouveaux produits. D'où un besoin crucial de méthodes et d'outils d'évaluation des performances au plus tôt dans la phase de conception. Les outils de simulation classiques disponibles dans les systèmes de CAO permettent d'évaluer les performances structurelles et fonctionnelles du produit mais s'avèrent insuffisants pour l'étude de son comportement. La principale difficulté est liée à la définition d'un modèle pertinent permettant de représenter les différents aspects syntaxiques décrivant la structure, et les données sémantiques caractérisant un produit. Cette modélisation suscite de nombreux travaux de recherche.

Nous avons développé une approche générique permettant d'évaluer le comportement du produit selon différents points de vue, et proposé une représentation de produits mécaniques en utilisant le formalisme UML qui permet de modéliser les vues statiques et dynamiques. Pour faciliter la lisibilité et l'exploitation d'un tel modèle produit, nous utilisons une matrice sémantique qui sert de support à la procédure d'évaluation des performances comportementales.

En exemple d'applications, en collaboration avec l'Université Laval de Québec, nous nous sommes intéressés à l'étude de la maintenabilité et de la fiabilité.

Les premiers résultats ont permis de valider le modèle sémantique et l'approche d'évaluation comportementale proposés. Par ailleurs, une architecture logicielle comportant un système de CAO couplé à un système d'évaluation a été définie. Ce dernier comprend un module d'enrichissement sémantique du modèle CAO et un autre pour le calcul d'indicateurs de performances à partir des exigences du cahier des charges. Une extension de cette approche à d'autres domaines comme la sécurité et la recyclabilité est en cours.

Le chapitre suivant présente mes perspectives de recherche sur cette thématique et les collaborations envisagées. Ces perspectives sont résumées par le synoptique thématique et chronologique montré en figure 22. Celle-ci met en évidence d'une part mes principaux thèmes portant sur la modélisation de produits et l'évaluation comportementale, et d'autre part les domaines d'applications industrielles et des pistes d'intégration avec d'autres approches d'aide à la conception

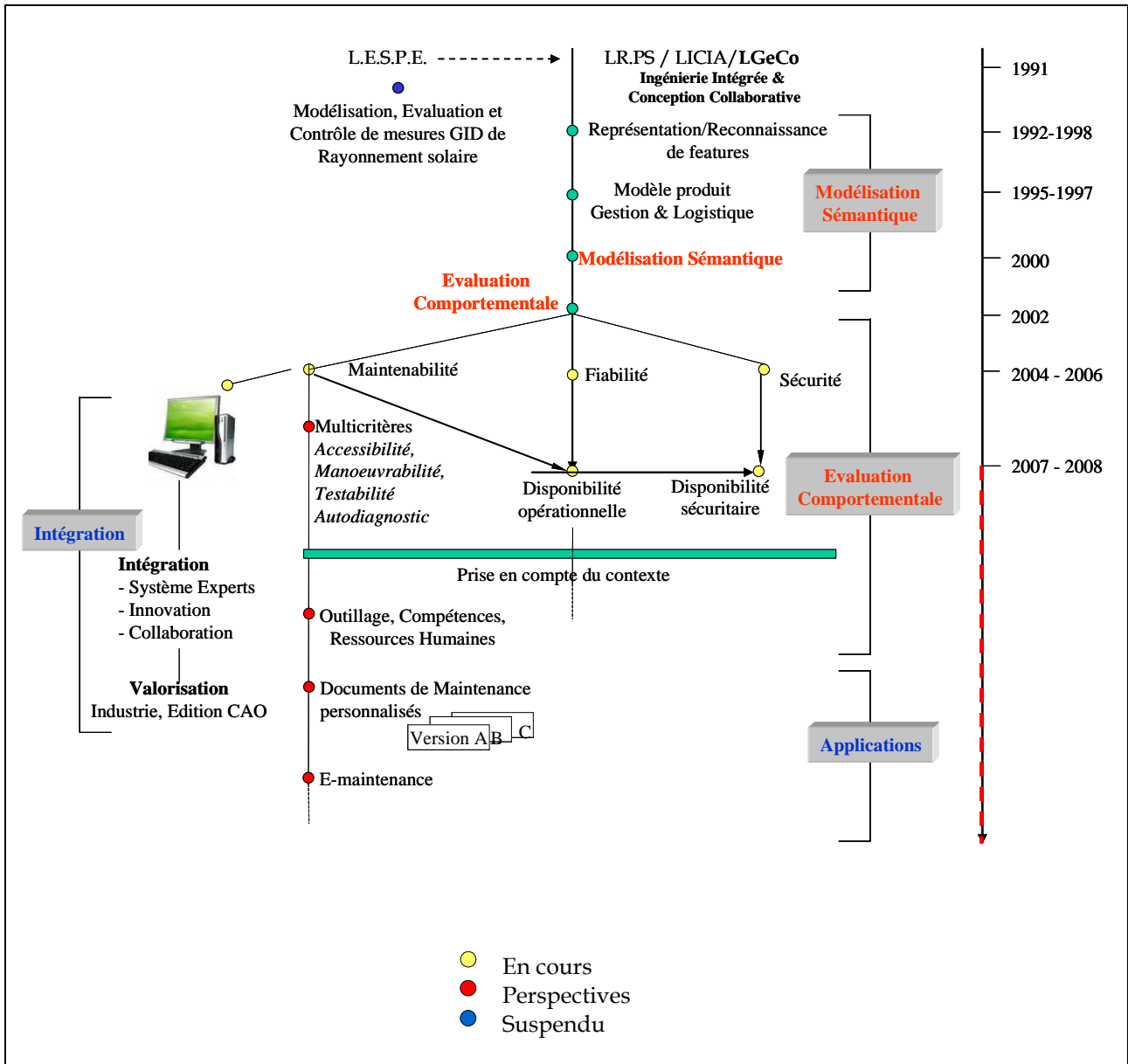


Fig. 22 : Synoptique thématique et chronologique de mes travaux de recherche

PERSPECTIVES

VIII. PERSPECTIVES

Ce chapitre décrit mon projet de recherche pour les années à venir. Ce projet a pour objectif de développer des approches de modélisation et d'évaluation permettant d'analyser, dès la phase de conception, les performances comportementales des produits mécaniques manufacturés à forte valeur ajoutée pour lesquels les critères de fiabilité, de maintenabilité, de sécurité et de disponibilité, constituent des arguments concurrentiels importants.

Dans ce cadre, mes perspectives de recherche s'inscrivent d'une part dans le prolongement des travaux que nous avons réalisés ces dernières années ou entrepris dans le cadre des différentes thèses en cours, d'autre part dans l'investigation de problématiques en vue d'éteindre nos résultats à l'évaluation comportementale le long du cycle de vie.

Dans les sections qui suivent je présente dans tout d'abord une synthèse des limites de nos travaux actuels et les perspectives d'extension envisagées à court terme. Ensuite, j'expose les investigations prévues pour l'étude des produits complexes en explicitant des pistes d'exploration. Enfin, des perspectives d'intégration de nos approches avec d'autres outils et méthodes d'aide à la conception sont définies.

VIII.1 Modélisation sémantique

Les travaux menés jusqu'à présent ont porté, en première approximation, sur la modélisation sémantique et l'évaluation comportementale d'un produit mécanique classique défini comme un ensemble de composants en interaction reliés entre eux par des accessoires mécaniques. Cette hypothèse simplificatrice constitue une restriction quant à l'applicabilité de nos résultats à l'étude du comportement de produits plus complexes constitués de sous-systèmes mécaniques, électroniques et des logiciels.

VIII.1.1 Stratégie de décomposition du produit

Le modèle sémantique proposé est basé sur une décomposition structurelle du produit qui conditionne l'évaluation. Or, cette décomposition peut être plus ou moins détaillée selon le point de vue de l'équipe de concepteurs. Pour palier ce problème, d'autres stratégies de décomposition peuvent être envisagées, par exemple, la décomposition fonctionnelle ou celle basée sur les contraintes de fabrication ou de maintenance figure 23.

Comme nous le verrons dans la section relative à l'élaboration de documents de maintenance personnalisés, nous avons utilisé la décomposition fonctionnelle en vue de mettre en évidence les fonctions susceptibles d'être altérées par les conditions d'utilisation du produit.

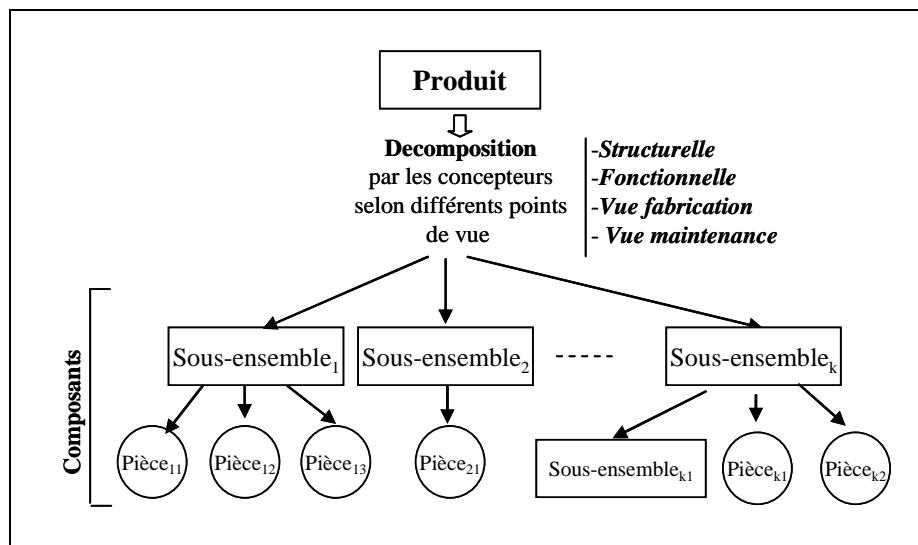


Fig. 23 : Stratégies de décomposition

Ce point est déterminant pour s'assurer de la représentativité de la nomenclature du jeu de composants qui servira de support à l'évaluation. Ce point fait partie de la problématique de l'ingénierie des systèmes traitée dans [102, 119].

Après la décomposition, une autre limite concerne la modélisation des liaisons utilisées dans le modèle sémantique.

VIII.1.2 Modélisation des liaisons

La modélisation des liaisons entre deux composants C_i , C_j est basée sur l'hypothèse d'une relation à une seule instance figure. 24 alors que bien souvent plusieurs instances de liaisons sont possibles simultanément figure 25. Dans ce dernier cas, la matrice sémantique actuellement utilisée, réduite à une valeur de liaison pour chaque couple de composants (C_i, C_j) , doit être remplacée par un vecteur de liaison multi-instances.

Ce point est crucial pour affiner le calcul de l'indicateur de maintenabilité. Une première piste sera de proposer une représentation sous forme de vecteur multi-valué du type :

$V(i, j, k, ..)$ où chaque instance de liaison sera codée sur une composante du vecteur.

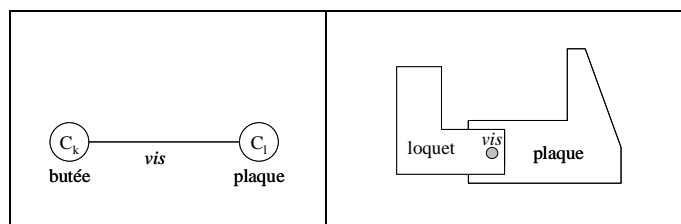


Fig. 24 : Liaison mono-instance

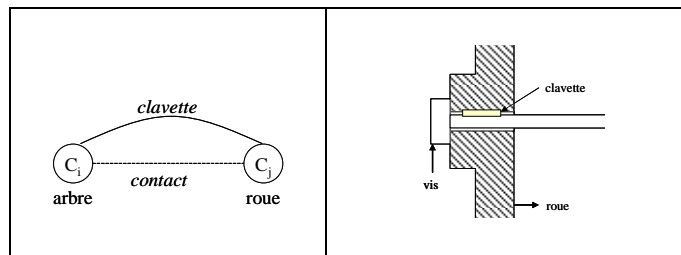


Fig. 25 : Liaison multi-instances

En conséquent, la matrice sémantique ne sera plus un tableau 2D mais une structure de données agrégées constituées d'entités de type objets décrits par des attributs et des opérations. A titre d'exemple, l'entité liaison entre les composants C_i et C_j aura comme attributs instanciés à *vissage*, *clipsage* et comme opération *visser_par_clé_pipe*. Le formalisme objet permet de créer et de gérer de tels objets sous forme de classes de type de liaisons.

VIII.1.3 Disponibilité des données sémantiques

Dans l'estimation de la maintenabilité, la fiabilité et la criticité sont les deux caractéristiques utilisées pour le filtrage permettant de mettre en évidence les composants critiques et pas assez fiables. Il est donc nécessaire d'avoir une bonne connaissance de ces caractéristiques. Différentes solutions existent. La plus couramment utilisée est l'utilisation de bases de données de fiabilité disponibles pour différents secteurs industriels (automobile, aéronautique) [15]. Des solutions informatiques comme Item Software ou Relx utilisent ces bases de données pour la prédiction de la fiabilité et de la maintenabilité lors de la conception de machines et

de systèmes production. A la différence de notre approche, ces solutions n'intègrent pas la maquette CAO.

Cependant les données sémantiques ne sont pas toujours disponibles pour certains composants et on doit parfois se résoudre à accepter des approximations notamment en ce qui concerne les spécifications de fiabilité [48, 55] à affecter aux composants figure 26.

Dans des situations où ces données sont inexistantes, notamment pour des composants nouveaux, des approches d'estimation de la fiabilité sont proposées dans la littérature. Parmi elles, on peut noter les essais virtuels et les tests accélérés.

Nous envisageons un approfondissement des essais virtuels dans le prolongement des travaux de X. Zwingmann [B8].

Dans le cadre des travaux de Sayed, nous abordons l'étude des tests accélérés avec des applications dans le secteur de la machine-outil et de l'automobile. Nos premiers résultats sur cette approche font l'objet d'un article [B35] accepté à la conférence ESREL'2008.

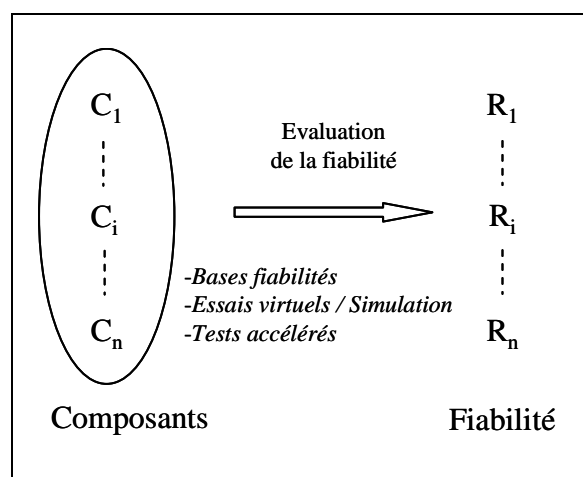


Fig. 26 : Fiabilité des composants

De même, une bonne connaissance du fonctionnement du produit est requise pour décider de l'affectation des niveaux de criticité fonctionnelle et de sécurité des composants Fig. 27. Ce critère caractérise l'importance relative de chaque composant dans le fonctionnement global du système considéré. Actuellement, nous allouons des valeurs binaires de criticité sur une échelle qualitative de 0 à 1 où un composant est affecté de :

- 1 si sa défaillance entraîne l'arrêt du fonctionnement pour des raisons de pannes structurelles ou de sécurité pour les usagers,
- 0 si sa panne n'a aucun effet sur le fonctionnement et la sécurité.

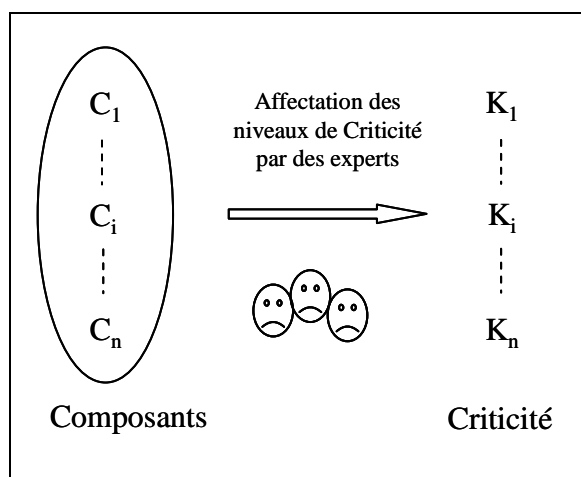


Fig. 27 : *Criticité des composants*

Les travaux menés par les fiabilistes utilisant les analyses AMDEC montrent bien que cette hypothèse binaire trop stricte doit être remplacée par une estimation graduelle permettant de tolérer des régimes de fonctionnement en mode dégradé [100].

Aussi, comme pour les données de fiabilité, une première piste d'affinement de la prise en compte de ce critère serait de constituer une base de données à partir de connaissances expertes et de résultats d'analyses AMDEC de conception.

VIII.2 *Evaluation comportementale*

Les premiers résultats concernent l'évaluation intrinsèque de la fiabilité, de la maintenabilité en supposant, d'une part que les fiabilités des composants sont indépendantes et, d'autre part que le produit est utilisé dans les conditions nominales spécifiées lors de la conception. Dans la pratique, ces conditions sont très variées, notamment pour les produits à large segment de marché dispersé à l'échelle mondiale. De ce fait, le comportement d'un produit peut considérablement changer d'un contexte à un autre. Une prise en compte de cette influence est nécessaire pour affiner l'évaluation.

Dans la suite, des développements sont envisagés sur différents axes à travers différentes collaborations :

- Evaluation contextuelle sur le cycle de vie
- Evaluation de produits complexes
- Elaboration de documents de maintenance personnalisés interactifs
- Intégration avec d'autres outils d'aide à la conception
- Réalisation d'un démonstrateur du système Product-BPAS.

VIII.2.1 Evaluation contextuelle sur le cycle de vie

En vue de l'évaluation contextuelle, nous distinguons trois catégories de facteurs d'influence :

- le profil d'utilisation, qui indique l'intensité, la fréquence d'exploitation (par exemple pour une machine-outil : le nombre de pièces/jour, types d'opérations sollicitant différents axes, etc... ; pour une voiture : le kilométrage, ...) ;
- le comportement de l'utilisateur : qui caractérise l'attitude de l'opérateur, par exemple un automobiliste qui a tendance à freiner brutalement, ...
- les conditions de l'environnement d'utilisation : climat, température, hygrométrie, corrosivité, poussière, de façon spécifique pour un véhicule l'état de la route, ...

Ces facteurs fragilisent certains composants dont les données de fiabilité doivent être ajustées et par conséquent, l'évaluation de la maintenabilité doit être revue afin d'améliorer la disponibilité des produits.

a) Evaluation contextuelle de la fiabilité

Nous explorons actuellement une piste qui, à partir de la décomposition fonctionnelle du produit, procède successivement à l'identification des fonctions altérables par les conditions d'utilisation, à la localisation des composants impactés, à l'estimation des facteurs correctifs et enfin à l'ajustement de fiabilité des composants concernés. Ces étapes sont résumées par les figures 28, les tableaux 5 et 6.

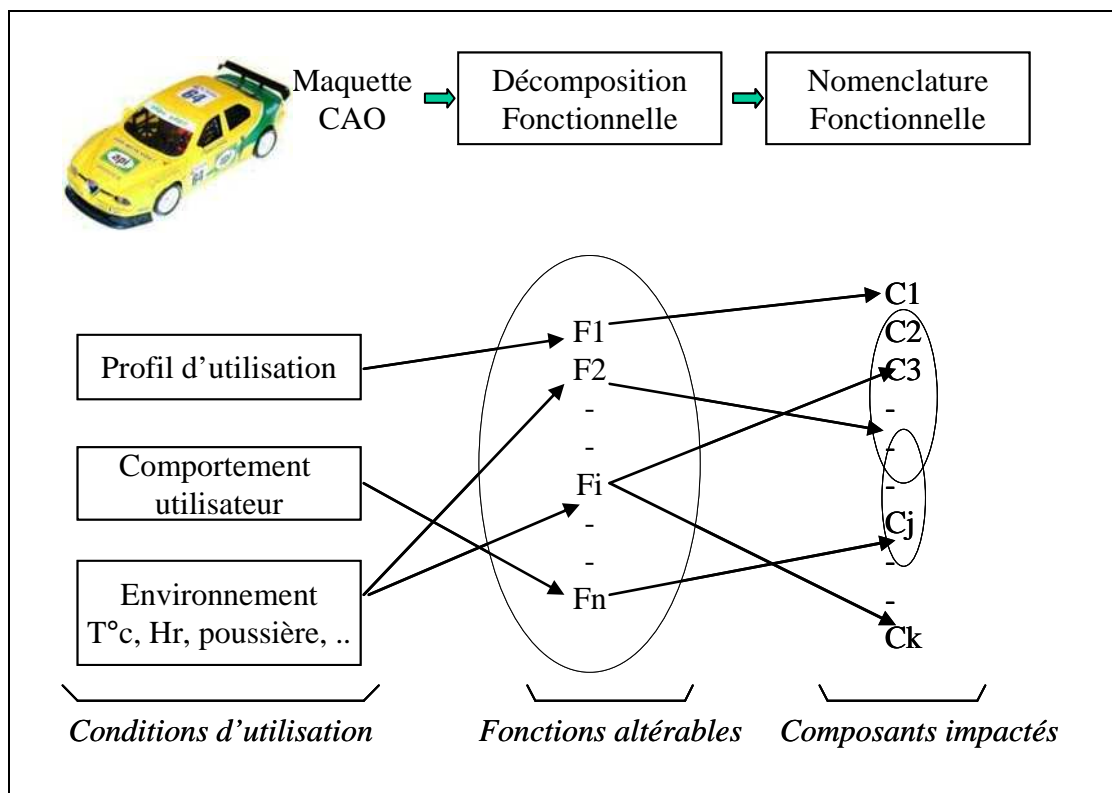


Fig. 28 : Fonctions et composants impactés par le contexte

		Fonctions					
		F ₁	F ₁	---	F _i	---	F _k
Conditions d'utilisation	Profil d'utilisation	0	0		0		1
	comportement Utilisateur	1	1		0		0
	Environnement	1	0		0		1
	Impact (F _i)	2	1		0		2

Tableau 5 : Fonctions altérables par le contexte

Composants	Fonctions						Fiabilité		
	F ₁	F ₂	---	F _i	---	F _k	R _{intrinsèque}	facteurs Correctif	R _{contextuel}
C ₁	1	0		1		0	0,95	-10%	0,86
C ₂	0	1		0		1	0,96	-7%	0,90
C _i	0	1		1		0	0,92	-5%	0,87
C _n	0	0		1		1	0,94	-6,5%	0,88

Tableau 6 : Correction des fiabilités

Ces nouvelles valeurs de fiabilité sont ensuite utilisées dans la matrice sémantique pour calculer la maintenabilité.

Cette approche fait l'objet de la communication acceptée à *ASME/DETC 2008, Design for Manufacturing and the Lifecycle Conference* [B34].

b) Evaluation de la maintenabilité

La maintenabilité est influencée, d'une part, par des critères structurels comme l'accessibilité, la manœuvrabilité, d'autre part, par des contraintes contextuelles liées à l'outillage, à la compétence des opérateurs de maintenance. La prise en compte de l'accessibilité implique différents éléments comme l'ergonomie, l'encombrement par rapport à l'outillage ou encore la visibilité des accessoires de liaisons. Cette problématique est abondamment abordée dans la recherche [18, 81]. Les approches théoriques n'apportent à ce jour aucun résultat probant, seuls les outils de réalité virtuelle offrent des solutions crédibles [112].

Dans ce cadre, nos perspectives de collaboration avec l'université Laval concernent la prise en considération de la compétence des opérateurs dans l'évaluation de la maintenabilité en y intégrant les aspects économiques. Les premières pistes d'investigation sont présentées dans [B32].

c) Evaluation de la sécurité

La sécurité est prise en compte à travers un ensemble de clauses normatives et de directives que le concepteur doit respecter. En pratique, certaines solutions de sécurisation ne sont définies qu'après la conception et consistent à rajouter des barrières et de consignes à afficher. Ces artifices tendent à alourdir les tâches de maintenance. Ce problème est étudié en collaboration avec Rémy Houssin (LGeCo,

groupe 2I2C) et l'INRS et fait l'objet de notre publication [A1] qui ouvre des perspectives sur l'analyse de l'interaction maintenabilité/sécurité.

d) Evaluation de la disponibilité

Traditionnellement, la disponibilité est estimée en considérant la notion de disponibilité opérationnelle basée sur les critères de maintenabilité (MTTR) et de fiabilité (MTBF) sans tenir compte des arrêts dus aux accidents, pourtant non négligeables selon plusieurs études de l'INRS [88]. Nous travaillons sur la notion de disponibilité sécuritaire qui considère trois causes de non disponibilité d'un équipement : les pannes, les opérations de maintenance préventive et les accidents. En considérant ces éléments, l'état d'un équipement est décrit par la chaîne de Markov en figure 29 et nous avons proposé une reformulation de sa disponibilité.

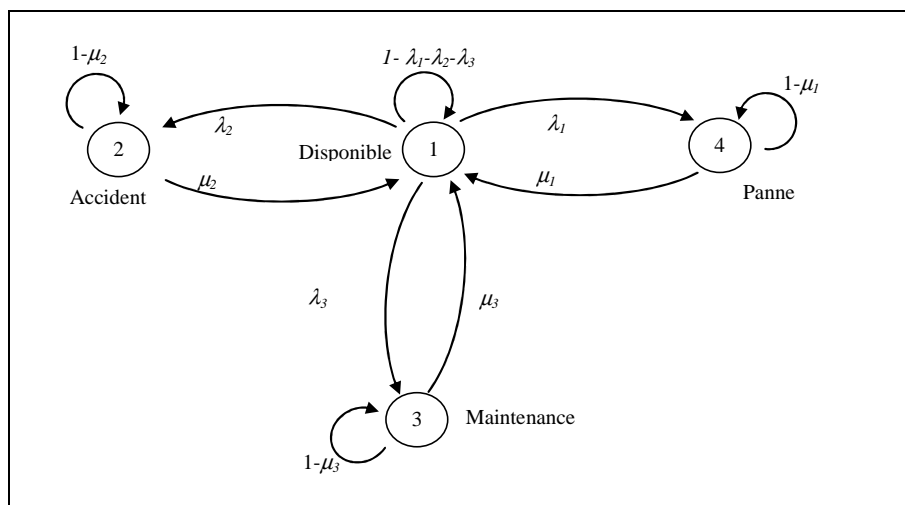


Fig. 29: Chaîne de Markov des 4 états d'un équipement

Les premiers résultats de ce travail ont été présentés à ICED'2007, [B1] et font l'objet d'un article soumis à la revue Reliability Engineering and System Safety (RESS).

e) Evaluation de l'impact environnemental

Il s'agit d'appliquer l'évaluation comportementale en éco-conception dans le cadre du CIDD (Conception Industrielle et Développement Durable) du LGECO (collaboration Françoise Hlawka du LISS : Laboratoire d'Ingénierie des Surfaces et des Solides).

Les travaux prévus concernent :

1°) l'enrichissement sémantique des modèles CAO avec des données liées à la recyclabilité : matériaux (biodégradabilité, démantèlement, ...) et aux procédés utilisés (usinage, traitements de surface. ...).

2°) la prise en compte de ces données pour l'évaluation de la recyclabilité en CAO.

Avec ces caractéristiques, il s'agit d'estimer le taux de recyclabilité et de définir son impact environnemental en phase de conception. Un couplage entre système Product-BPAS et le logiciel SYMAPRO est envisagé.

La communication [B3] expose les bases de cette approche.

VIII.2.2 Evaluation de produits complexes

a) Problématique

Nous entendons par « *produit complexe* » un produit ayant certaines particularités:

- une *complexité technologique*, qui se traduit par le fait que le système est composé de composants et de sous-systèmes de différentes technologies. Un tel produit est constitué d'éléments mécaniques, électroniques/électriques et des logiciels.
- une *complexité structurelle*, caractéristique qui décrit l'architecture du produit et indique comment les sous-systèmes et composants sont interconnectés.
- un autre point de rupture est la différence structurelle des types de liaisons entre les composants : d'autres liaisons se rajoutent (électromagnétique, logique, ...).
- enfin, la grande différence de comportement des sous-systèmes logiciels, électroniques par rapport aux éléments mécaniques en termes d'interaction (absence de mouvements, pas de frottements, ...).

En conséquence, les notions de fiabilité, de maintenabilité, de sécurité et de disponibilité bien que omniprésentes pour ces différentes technologies, changent de nature.

b) Pistes envisagées

Dans une première étape, nous essayons de redéfinir ces caractéristiques non pas à l'échelle des composants mais à l'échelle du système global. Nous présentons, à titre d'exemple, une perception en première approximation de la notion de fiabilité et de criticité pour de tels systèmes.

On procède tout d'abord à une décomposition du système en sous-systèmes constitués de composants.

Chaque composant est supposé avoir une base mécanique et, selon son niveau de complexité technologique, peut contenir des éléments électroniques et/ou un logiciel de contrôle.

La fiabilité d'un tel composant C_i est donnée par l'équation suivante:

$$R(C_i) = R_{\text{mech}} \times R_{\text{elec}} \times R_{\text{soft}} \quad (\text{Eq. 8})$$

où R_{mech} , R_{elec} et R_{soft} représentent respectivement la fiabilité des éléments mécanique, électronique et logiciel [8]. Les différents cas de figures envisagés sont montrés en tableau. 7:

	C_{mech}	C_{elec}	C_{soft}
Element Mecanique	R_{mech}	1	1
Equipement électronique	R_{mech}	R_{elec}	1
Logiciel	R_{mech}	R_{elec}	R_{soft}

Tableau 7: Configuration des composants

En supposant l'indépendance entre ces composants, la fiabilité du système global, est donnée par :

$$R(t) = \prod_{i=1}^n R_i(t)$$

La criticité d'un tel système est définie en tableau 8 :

Criticité status	Mécanique	Electronique	Logiciel
<i>Normal</i>	1	1	1
<i>Survie</i>	1	1	0
	1	0	1
	1	0	0
<i>Arrêt</i>	0	1	1
	0	1	0
	0	0	1
<i>Crash</i>	0	0	0

Tableau 8: Niveaux de criticité d'un produit complexe

Un article est soumis à la revue *Reliability Engineering and System Safety* (RESS) sur cette première étape.

VIII.3 Documents de maintenance personnalisés interactifs

Il s'agit d'un nouvel axe qui a été ouvert dans le cadre de la thèse de Ying Huang. Les contributions attendues portent sur la proposition d'un modèle de document électronique basé sur le concept IETM (Interactive Electronic Technical Manual) développé par le US. DOF Department Of Defense) pour remplacer les documents papier classiques [91, 98]. Un tel document exploitable en e-maintenance, a pour objectif de servir de support à l'ensemble des activités de maintenance : diagnostic, réparation, de systèmes techniques complexes [31, 84].

Dans ce cadre, nous souhaitons exploiter ce concept en vue de personnaliser les supports selon les conditions d'utilisation et selon le profil de l'opérateur de maintenance : utilisateur final, technicien spécialisé ou encore le fabricant.

VIII.4 Intégration avec d'autres démarches de conception

Nous envisageons des développements en vue d'intégrer notre approche d'évaluation avec d'autres outils et méthodes d'aide à la conception comme les systèmes experts, les méthodes de conception innovante et conception collaborative.

- Intégration avec les systèmes de CAO avancée

Les systèmes de CAO avancée comme ENOVIA (Dassault Systèmes) disposent d'outils d'analyse et de synthèse de projets de conception. En collaboration avec des experts de différents domaines ces outils permettent l'évaluation pour certains points de vue techniques. Un couplage avec notre approche permettra de compléter ces outils avec un module d'évaluation comportementale des solutions de produits.

- Intégration en conception innovante

Le processus d'évaluation met en évidence des contradictions dans le cas d'une analyse multicritères concernant plusieurs points de vue, par exemple entre la maintenabilité et la sécurité. Les outils de conception innovante, permettraient d'aborder ce problème en offrant des pistes de résolution de conflits.

- Intégration en conception collaborative

Les travaux envisagés dans ce domaine s'inscrivent dans le cadre du projet EVAPERCO et ont pour objectif de permettre une évaluation, en environnement collaboratif, des performances d'un produit en conception distribuée. Dans cette perspective, il est nécessaire d'intégrer à cet environnement le système Product-BPAS dont un démonstrateur est en cours développement.

VIII.5 Démonstrateur du système Product-BPAS

Le module Product-BPAS (Product Behavioral Performance Assessment System) est en cours d'implémentation Fig. 30. Ce travail comporte 2 verrous techniques :

- l'extraction des données de la maquette CAO pose le problème récurrent de l'accès aux formats natifs des systèmes CAO du commerce et aux structure de données associées aux modèles des pièces et aux contraintes d'assemblage ;
- avant l'évaluation il faut s'assurer de la cohérence des données de la matrice sémantique du produit. Ce contrôle fait l'objet d'une collaboration avec François De Beuvron du groupe Conception et Intelligence Artificielle du LGeCo. La conversion automatique du modèle UML du produit en une représentation par la logique de description reste à faire.

Les principaux modules du système Product-BPAS sont présentés sur la figure 32 de l'annexe 1.

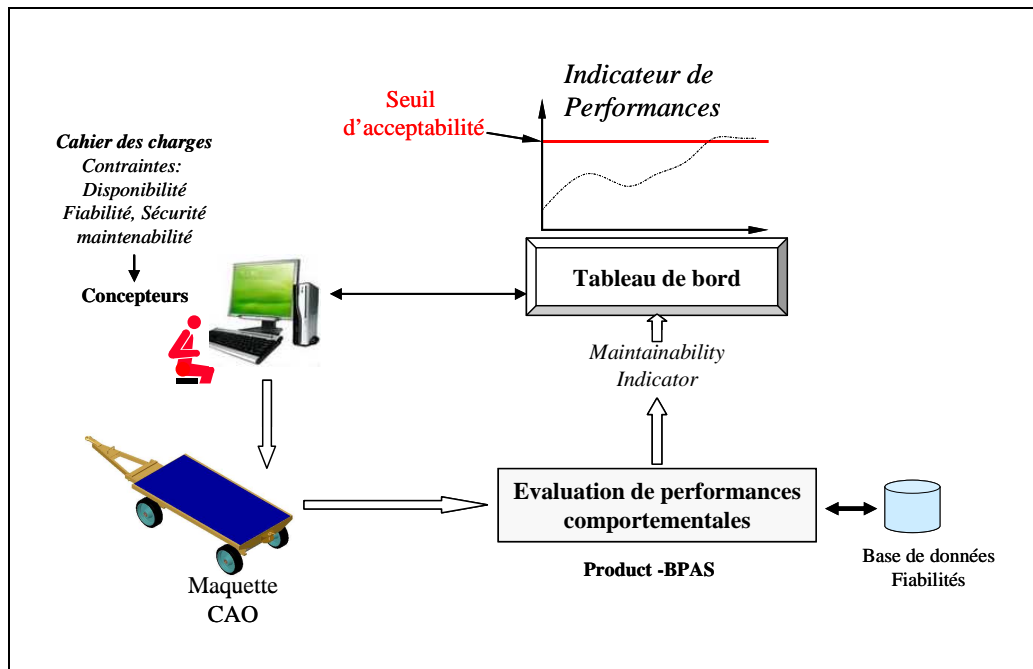


Fig. 30 : Intégration Product-BPAS / CAO

VIII.6 *Le Projet MPC-SM (Modélisations et Performances Comportementales des Systèmes Mécaniques)*

Dans différents chapitres de ce mémoire nous avons fait référence à des travaux réalisés en commun (thèses en cotutelle, publications cosignées) avec le Professeur D. Ait Kadi et son équipe de l'université Laval. Afin de renforcer et de pérenniser ces échanges, je travaille actuellement à l'élaboration d'une convention de recherche entre le groupe Ingénierie Intégrée et Conception Collaborative (2I2C) du LGeCo, avec l'équipe du Professeur Ait Kadi du Centre de Recherche sur les Technologies de l'Organisation Réseau (CENTOR) de l'Université Laval (Québec). Ce projet de collaboration scientifique est basé sur la complémentarité des compétences des deux équipes et sur l'expérience déjà acquise de partager des connaissances.

Ainsi dans le cadre d'actions concertées pour la conception et le suivi le long du cycle de vie de produits nouveaux, le CENTOR apportera son expertise sur les problèmes de fiabilité, maintenabilité, disponibilité, recyclabilité et d'organisation collaborative tandis que le 2I2C développera les aspects de modélisation, d'évaluation, de gestion des données du cycle de vie (PLM) et d'implémentation de démonstrateurs.

A terme, le projet MPC-SM permettrait la mise en place d'un partenariat plus large entre :

- nos laboratoires de recherche travaillant sur le développement des modèles et approches d'évaluation comportementales;
- les industriels afin de collecter les données sur les comportements des systèmes mécaniques dans différents secteurs industriels,
- et les éditeurs de systèmes de CAO avancée en vue de l'intégration d'un module d'évaluation comportementale dans ces systèmes.

VIII.7 *Conclusions*

Nos perspectives à court terme concernent le prolongement des travaux en cours et l'extension de l'approche d'évaluation à d'autres domaines comportementaux, ainsi qu'à la prise en compte de l'influence de facteurs contextuels. Par ailleurs, de nouvelles pistes d'investigation visent l'application de ces résultats à l'évaluation de produits complexes d'une part et, d'autre part, l'intégration de notre démarche avec d'autres outils d'aide à la conception. La figure 31 montre le plan d'action prévisionnel des perspectives envisagées.

Perspectives	2008	2009	2010	2011	Après ...
Modélisation Sémantique Liaisons multimodales, Produits complexes, décomposition ?	■	■	■	---	---
Evaluation sur le cycle de vie Maintenabilité, Fiabilité, Sécurité, Recyclabilité, Impact environnemental	■	■	---	---	---
Documents de maintenance	■	■	■	---	---
Intégration en Conception	■	■	---	---	---
Démonstrateur	■	---	---	---	---
Projet MPC des Systèmes Mécanique	■	■	---	---	---

Fig. 31 : Plan d'action de recherche

PUBLICATIONS ET COMMUNICATIONS

IX. PUBLICATIONS ET COMMUNICATIONS

IX.1 Publications dans des revues avec Comité de Lecture [réf. A]

- [A1] A. Coulibaly, R. Houssin, B. Mutel
Maintainability and Safety indicators at design stage for mechanical products.
Computers In Industry, Vol. 59/5, pp 438-449, 2008,
<http://dx.doi.org/10.1016/j.compind.2007.12.006> ,
www.sciencedirect.com
- [A2] Zwingmann, X., Ait-Kadi, D, Coulibaly, A. Mutel, B.
Optimal Disassembly sequencing strategy using constraint programming
approach. Journal of Quality in Maintenance Engineering (JQME), Vol. 14/1, pp
46-58, 2008,
<http://www.emeraldinsight.com/10.1108/13552510810861932>,
- [A3] A. Coulibaly, B. Mutel, D. Ait-Kadi
Product Modelling Framework for Behavioural Performance Evaluation at Design
Stage. Computers In Industry Vol. 58, pp 567-577, 2007,
www.sciencedirect.com
- [A4] A. Coulibaly, X. Zwingmann, D. Ait-Kadi, B. Mutel
Formalisation des contraintes de maintenabilité des produits mécaniques à partir
de Modèles CAO.
Int. J. of Design and Innovation Research, Vol. 3, N°1&2, pp. 67-80, 2003
- [A5] Jamila Mehli Qaissi, A. Coulibaly
Product Data Model for Production Management and Logistics
Computer and Industrial Engineering
Vol. 37/ Issue 1, pp. 27-30, October 1999
- [A6] E. Ostrosi, A. Coulibaly, B. Mutel, P. Lutz
A Plex Grammars Approach Directed to Manufacturing Features Recognition.
Int. Journal of Robotics and Automation, Vol.13, N° 2, pp.33-42, 1998
- [A7] A. Coulibaly and B. Mutel
The CAD/CAM Systems as Basis of Integration: The strength of the Feature Based
Technologies in Mechanical Engineering.
Int. J. of Modelling and Simulation, Vol. 1, N° 1, pp 39-50, 1995
- [A8] Jamila Mehli Qaissi, A. Coulibaly, P. Lutz
Stratégies d'intégration des systèmes de production manufacturière.
Revue d'Automatique et de Productique Appliquée (RAPA),
Vol 8 n° 2-3/1995 pp. 205-210.

IX.2 Publications soumises dans revues à Comité de Lecture [réf. AS]

- [AS1] R. Houssin, A. Coulibaly, E. Caillaud, B. Mutel
Safety-based Availability Assessment in Mechanical Design.
Soumise à la Revue Reliability Engineering and System Safety (R.E.S.S.), 12 Mai
2008.

IX.3 Communications aux conférences avec Comité de Lecture [réf. B]

- [B1] A. Coulibaly, R. Houssin, E. Caillaud, B. Mutel (2007)
Contextual Knowledge For Availability Assessment in Mechanical Product Design. International Conference on Engineering Design (ICED 2007), France, Paris (28-30 Août 2007), ISBN: 1-904670-01-6 (Abstracts of papers), ISBN: 1-904670-02-4 (Proceedings CD)
- [B2] A. Coulibaly, M. Gardoni, Laurent Maranzana (2007)
Life Cycle Analysis using Product Semantic Model for Reliability and Maintainability Assessment. Inderscience: Product Lifecycle Management, Assessing the industrial relevance, 5-6 June 2007, Kilometro Rosso, Italy, ISBN: 0-907776-32-9 (Print), ISBN: 0-907776-33-7 (Online).
- [B3] A. Coulibaly, B. Mutel, D. Ait-Kadi (2007)
Manufactured Products Behavioral Performance Evaluation under environmental constraints. Conférence Internationale de Génie Industriel, Canada, Trois-Rivières (Juin 2007)
- [B4] J-B. Menye, D. Ait-Kadi, A. Coulibaly, E. Caillaud (2007)
Prise en compte de la maintenabilité en conception de produits mécaniques. Conférence Internationale de Génie Industriel, Canada, Trois-Rivières (Juin 2007)
- [B5] A. Coulibaly, B. Mutel, D. Ait-Kadi (2006)
Mechanical Products Behavioral Performance Assessment in CAD systems
Proceedings CESA 2006 ISBN: 7-302-13922-9, Multiconference on "Computational Engineering in Systems Applications", October 4-6, Beijing, China, 2006
- [B6] A. Coulibaly, R. Houssin, B. Mutel, « Contribution to maintainability and safety assessment in the mechanical product design ». CD Proceeding of International Design Conference - Design 2006, Dubrovnik - Croatia, May 15 - 18, 2006, Proceedings vol 1, ISBN 953-6313-79-0, pp 203-214
- [B7] X. Zwingmann, D. Ait-Kadi, A. Coulibaly, B. Mutel «Disassembly sequencing model for multi-component products ». IESM'05 - Int. Conference on Industrial Engineering and Systems Management - Proceedings. ISBN 2-9600532-0-6, Marrakech, 16-19 Mai 2005
- [B8] A. Coulibaly, B. Mutel, X. Zwingmann, D. Ait-Kadi
Evaluation des performances comportementales de produits en cours de conception : Application à la fiabilité. Congrès Français de Mécanique (CFM 2005), Troyes, Septembre 2005
- [B9] Zwingmann, X., Ait-Kadi, D., Coulibaly, A. & Mutel, B. "Disassembly sequencing model for multi-component products". IESM'05 - Int. Conference on Industrial Engineering and Systems Management. Proceedings. ISBN 2-9600532-0-6, Marrakech, 16-19 Mai 2005.
- [B10] X. Zwingmann, A. Coulibaly, D. Ait-Kadi, et B. Mutel
Fiabilité et maintenabilité des aides à la mobilité, Actes Conférence GISEH, Lyon, Janvier 2003, pp. 131-140
- [B11] X. Zwingmann, D. Ait-Kadi, A. Coulibaly, B. Mutel
Product reliability assessment using virtual samples.
IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics Proceedings, Hammamet, Tunisie, 2002.

- [B12] A. Coulibaly, X. Zwingmann, D. Ait-Kadi, B. Mutel
Formalisation des contraintes de maintenabilité des produits mécaniques à partir de modèles de CAO., CPI'2001, FES, Maroc, Octobre 2001
- [B13] A. Coulibaly, X. Zwingmann, D. Ait-Kadi, B. Mutel
Intégration des contraintes de maintenance dès la phase de conception avec les systèmes de CAO Mécanique avancée
3rd International Conference on Integrated Design and Manufacturing in Mechanical Engineering (IDMME 2000), Montréal, Mai 2000.
- [B14] X. Zwingmann, A. Coulibaly, D. Ait-Kadi
Intégration des contraintes de maintenance dans le processus de conception de produits à l'aide de systèmes avancés de CAO mécanique. CONFERE'2000, Marseille, Juillet 2000.
- [B15] A. Coulibaly, E. Ostrosi
An Integrated Mechanical Design Approach based on the product FST Specifications Models. 2nd Int. Conference on Integrated Design and Manufacturing in Mechanical Engineering, IDMME'98 PRIMECA, May 27-29, 1998, Compiègne, France.
- [B16] A. Coulibaly, E. Ostrosi
An Integrated CAD System based on the product FST Specifications Models IFAC symposium on Information Control Problems in Manufacturing (INCOM'98), June 24-26, 1998 Nancy, France.
- [B17] A. Coulibaly, E. Ostrosi, B. Mutel
Modélisation et Simulation en CAO en tenant compte des déformations liées aux procédés de fabrication
2ème Congrès International Franco-québécois "Le Génie Industriel dans un monde sans frontières" 3-5 septembre 1997, Albi, France
- [B18] E. Ostrosi, A. Coulibaly, B. Mutel
An Approach for Interacted Manufacturing Features Recognition in CAD-CAM Systems. Proceedings of the 2nd Annual International Conference on Industrial Engineering Applications and Practise
November 12-15, San Diego, California, USA, Vol. 2, pp. 849-854. Edited by J. J. Chen & A. Mital ISBN 0-9654599-2-6, 1997
- [B19] Laurent Desté, E. Ostrosi, A. Coulibaly
Features recognition by Plex Grammars: potential feature regions extraction. Proceedings of 2nd CAD-CAM and Concurrent Engineering Colloquium, Casablanca, Maroc, 1997.
- [B20] E. Ostrosi A. Coulibaly, B. Mutel, P. Lutz
A Conditional Multiattaching Structures Grammar for Feature Recognition in Advanced Integrated Systems.
Proceedings of the 3rd France-Japan Congress & 1st Europe-Asia Congress on Mechatronics, October 1-3, Besançon, France, Vol. 2, pp. 716-721, 1997
- [B21] E. Ostrosi A. Coulibaly, B. Mutel, P. Lutz
A Grammar-Based Approach for Manufacturing Features Recognition. 8th International Conference on Artificial Intelligence Applications, 21-22 Oct. 1996, Paris, Marne - La - Vallée.

- [B22] D. Mugnier, A. Coulibaly, P. Lutz, B. Mutel
 Algorithme de reconnaissance de caractéristiques fonctionnelles à partir de modèles CAO au format SET. PRIMECA. 1ère Conférence Internationale IDMME'96, 15-17 Avril 1996, Ecole Centrale de Nantes.
- [B23] A. Coulibaly, E. Ostrosi, B. Mutel, J. Pato, V. Bihl
 Feature-Based Concurrent Design in Mechanical Industries
 Proceedings 3rd IFAC/IFIP/IFORS Workshop, IMS'95 pp 329-333 October 24-26, 1995, Bucharest (Romania)
- [B24] E. Ostrosi, A. Coulibaly
 Recognition and Learning to Manufacturing Features
 Proceedings 1er Colloque National de CFAO et Ingénierie Simultanée
 1-3 Novembre 1995, Casablanca (Maroc), pp 122-130
- [B25] J. Qaissi, A. Coulibaly
 Intégration des données de GPAO et de CFAO
 Proceedings, 1er Colloque National de CFAO et Ingénierie Simultanée.
 1-3 Novembre 1995, Casablanca (Maroc).
- [B26] J. Qaissi, A. Coulibaly, P. Lutz
 Stratégies d'intégration des systèmes de production manufacturière.
 Colloque Productique Robotique du Sud Europe Atlantique
 1er et 2 Juin 1995, Bourges - France.
- [B27] E. Ostrosi, A. Coulibaly, B. Mutel
 Features Recognition in Knowledge-based analysis of Manufacturing Parts. Proc, IAR Workshop on Knowledge Engineering and Object Oriented Automation. Strasbourg, France, 1995.
- [B28] B. Mutel, A. Coulibaly
 Design for Manufacturing by Analogy: The likeness and the differences between Group Technology and Features Approaches.
 Proc. 11th ISPE/IEE/IFAC International Conference on CAD/CAM, Robotics and Factories of Future (CARS & FOFs'95). pp 622-627,
 28-30 August 1995, Pereira, Colombia, South America.
- [B29] A. Coulibaly and B. Mutel
 The CAD/CAM Systems as Basis of Integration: The strength of the Feature Based Technologies in Mechanical Engineering.
 Proceedings, 3rd IASTED International Conf.,
 Cairo, Egypt, Dec. 26-28, 1994, pp.30-39.
- [B30] A. Triboix, A. Coulibaly et N. Dondainas
 Conception d'un mailleur automatique interactif à partir de la méthode inverse du Laplacien pour surfaces connexes.
 Congrès STRUCOM, Septembre 1992, France
- [B31] A. Coulibaly, P. Dalsanto et A. Meyer
 Méthodologie de réalisation d'une pièce en matériau composite de forme complexe à l'aide du système de CAO UNIGRAPHICS II.
 Forum UNIX, Strasbourg, Nov. 1992.
- [B32] J.B. Ményé, D. Ait-Kadi, A. Coulibaly, E. Caillaud
 Estimation des besoins en ressources humaines pour la maintenance d'un système au stade de la conception.
 MOSIM'2008

- [B33] F. B. De Beuvron, A. Coulibaly
Applying Description Logic to Product Behavioural Design within Advanced CAD Systems. Int. Conference on Description Logic DL'03, Roma Italy, September 2003.

IX.4 Communications acceptées aux conférences avec Comité de Lecture

- [B34] A. Coulibaly, Y. Huang, M. Gardoni, R. Maranzana
Multi-users Dynamic Maintenance Document for Mechanical Products.
Application for automobile.
ASME, DETC'2008
- [B35] S. Hossein Mohammadian, D. Ait-Kadi, A. Coulibaly, B. Mutel
A contribution to Accelerated Testing Implementation
Europe, European Safety and Reliability Association and Society for Risk Analysis
Europe (SRA-E) Annual Conference.
ESREL'2008 & 17th ERA

IX.5 Conférences invitées [réf. C]

- [C1] Club Utilisateurs Unigraphics
Les stratégies de développement de produits virtuels : choix et mise en œuvre des outils de conception et d'ingénierie. Paris, Juin 2001
- [C2] GEBO Industries
Expertise du projet PARADI d'unification des procédures de développement de convoyeurs industriels :quels logiciels pour le bureau d'études et la Production.
Reichstett, Août 2001
- [C3] SOCOMEC
Méthodologie de déploiement d'un SGDT en environnement CAO hétérogène.
(*Unigraphics, Pro/Engineer, SolidWorks, AutoCAD*). Benfeld, Janvier 2000.
- [C4] École Nationale d'Ingénieurs de Bamako (Mali)
Mission d'études des possibilités de collaboration ENSAIS/ENIB dans le domaine de l'enseignement de la CAO. (*Service Relations Internationales de l'ENSAIS*)
Exposé devant les enseignants, étudiants et industriels sur la démarche de choix de systèmes de CAO. Mars 1998
- [C5] École Supérieure de Technologies de Casablanca (Maroc)
Échanges et Partage des données de conception : la place des Systèmes de Gestion de Données Techniques. Casablanca, Novembre 1995.
- [C6] X^{ème} Anniversaire de l'École Polytechnique de Thiès (Sénégal)
Les Technologies de Conception et de Fabrication Assistées par Ordinateur dans la formation des ingénieurs et Apports pour les PME. Dakar, Août 1993.

IX.6 Rapports de contrats sur les 5 dernières années [réf. D]

- [D1] A. Coulibaly, D. Ait-Kadi, B. Mutel
Rapport de synthèse de contrat TORNOS, Déc. 2007
Amélioration de la fiabilité de tours de décolletage mono et multibroches.
- [D2] A. Coulibaly,
Rapport de contrat ROHL S.A., Krafft, Mai 2005
Standardisation et Certification EN-40 de poteaux et de consoles de candélabres
- [D3] A. Coulibaly,
Rapport de contrat MANUEST CONCEPT, Duttlenheim, Février 2003
Mise en place d'une méthodologie de développement rapide de chariots industriels personnalisés.

IX.7 Supports de cours [réf. S]

- [S1] A. Coulibaly
Modélisation UML et Programmation Orientée Objet
Application en langage Java
Cours et Travaux Pratiques (87 pages), Septembre 2005
- [S2] A. Coulibaly
Conception et Réalisation de Bases de Données Relationnelles
Avec Microsoft Access et MySQL
Cours et Travaux Pratiques (43 pages), Février 2004
- [S3] A. Coulibaly
Ingénierie Simultanée, Gestion de Données Techniques
Aspects organisationnels et Techniques
Cours et Travaux Pratiques (122 pages), Septembre 2001
- [S4] A. Coulibaly
Systèmes de CFAO, Principes et mise en œuvre
Cours et Travaux Pratiques (76 pages), Septembre 1999
- [S5] A. Coulibaly
Informatique Scientifique
Aide-mémoire C++, Recueil thématique d'exercices (38 pages), Avril 2008

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

X. Références bibliographiques

- [1] A. J. D. Lambert “Disassembly sequencing: a survey”, *International Journal of Production Research*, vol. 41, no. 16, 2003, pp. 3721-3759.
- [2] Abdul-Nour Georges, Michel Demers and Raynald Vaillancourt
Probabilistic safety assessment and reliability based maintenance policies: application to the emergency diesel generators of a nuclear power plant
Computers & Industrial Engineering, Volume 42, Issues 2-4, 11 April 2002, pp 433-438
- [3] Aït-Kadi, D., Menye, J.-B., et Kane, H., 2006,
Resources assignment model in maintenance activities scheduling, *International Journal of Production Research* (accepté pour publication, Juillet 2007).
- [4] Al-Hakim L., A. Kusiak and J. Mathew
A graph-theoretic approach to conceptual design with functional perspectives. *Computer-Aided Design*, Volume 32, Issue 14, December 2000, pp 867-875
- [5] Ammar-Khodja, S; Perry, N; Bernard, A
Processing knowledge to support knowledge-based engineering systems specification
Concurrent Engineering – Research and Applications 16 (1) 89-101 Art. No. 10.1177/1063293X07084642/ISSN 1063-293X 2008
- [6] Azim Houshyar Bahador Ghahramani
A practical reliability and maintainability data collection and processing software
Computers & Industrial Engineering, Volume 33, Issues 1-2, October 1997, Pages 133-136
- [7] Baader Franz et al. , Cambridge University Press, 2003
The Description Logic Handbook, Theory, Implementation and Applications.
ISBN 0-521-78176-0
- [8] Bahador Ghahramani
Software reliability analysis: a systems development model
Computers & Industrial Engineering, Volume 45, Issue 2, August 2003, pp 295-305
- [9] Balachandran, M., Gero, J.S.
Role of prototypes in integrated expert systems and CAD systems
(1990) *Applications of Artificial Intelligence in Engineering V*, 1, pp. 195-211.
Gero, J.S, Ed, Berlin: Springer-Verlag
- [10] Bernard, A
Virtual engineering: methods and tools
Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers PART B - Journal of Engineering Manufacture Volume: 219 Issues: 5 Pages: 413-421 Published: May 2005
- [11] Bernard, A. , Ammar-Khodja, S., Perry, N., Laroche, F.
“Virtual engineering based on knowledge integration”, *Virtual and Physical Prototyping*
Volume 2, Issue 3, September 2007, Pages 137-154
- [12] Bernard, A; Labrousse, M; Perry, N
LC universal model for the enterprise information system structure
12th CIRP International Conference on Life Cycle Engineering, APR, 2006, University Grenoble, Grenoble, France.

- [13] Brissaud Daniel, Serge Tichkiewitch
Innovation and manufacturability analysis in an integrated design context
Computers in Industry, Volume 43, Issue 2, October 2000, Pages 111-121
- [14] Bronsvort W. F. and A. Noort
Multiple-view feature modelling for integral product development
Computer-Aided Design, Volume 36, Issue 10, 1 September 2004, pp 929-946
- [15] Browning, T.R.
Applying the design structure matrix to system decomposition and integration problems: A review and new directions (2001) *IEEE Transactions on Engineering Management*, 48 (3), pp. 292-306, doi: 10.1109/17.946528
- [16] Brunetti G. and B. Golob
A feature-based approach towards an integrated product model including conceptual design information
Computer-Aided Design, Volume 32, Issue 14, December 2000, pp 877-887
- [17] Buchele Suzanne F. and Richard H. Crawford
Three-dimensional halfspace constructive solid geometry tree construction from implicit boundary representations
Computer-Aided Design, Volume 36, Issue 11, 15 September 2004, pp 1063-1073
- [18] Buciumeanu M., A.S. Miranda, A.C.M. Pinho and F.S. Silva
Design improvement of an automotive-formed suspension component subjected to fretting Fatigue. *Engineering Failure Analysis* Volume 14, Issue 5 , July 2007, Pages 810-821
- [19] Carlier S., M. Coindoz, L. Deneuille and L. Garbellini A. Altavilla
Evaluation of reliability, availability, maintainability and safety requirements for manned space vehicles with extended on-orbit stay time
Acta Astronautica, Volume 38, Issue 2, January 1996, Pages 115-123
- [20] Chakrabarti, A., Bligh, T.P.
A scheme for functional reasoning in conceptual design
(2001) *Design Studies*, 22 (6), pp. 493-517. doi: 10.1016/S0142-694X(01)00008-4
- [21] Chein M., Mugnier M.-L., Conceptual Graphs :Fundamental Notions, *Revue d'Intelligence Artificielle*, Volume 6 N°4, 1992.
- [22] Chien-Fu Kuo and Chih-Hsing Chu
An online ergonomic evaluator for 3D product design
Computers in Industry, Volume 56, Issue 5, June 2005, pp 479-492
- [23] Chih-Hsing Chu, Ching-Yi Cheng and Che-Wen Wu
Applications of the Web-based collaborative visualization in distributed product development
Computers in Industry, Volume 57, Issue 3, April 2006, pp 272-282
- [24] Chomsky Noam, *Syntactic Structures*, Mouton, La Hague (Traduction française: *Structures syntaxiques*, 1959, Le seuil, Paris), 1957.
- [25] Clarkson, P.J. and Eckert, C.M. (2005) 'Design process improvement - a review of current practice', Springer Verlag
- [26] Coit David W. and Alice E. Smith
Genetic algorithm to maximize a lower-bound for system time-to-failure with uncertain component Weibull parameters
Computers & Industrial Engineering, Volume 41, Issue 4, February 2002, pp 423-440

- [27] Concheri G., V. Milanese
MIRAGGIO: a system for the dynamic management of product data and design models.
Elsevier, *Advances in Engineering Software* 32 (2001) 527-543
- [28] Corbo Pasquale, Michele Germani and Ferruccio Mandorli
Aesthetic and functional analysis for product model validation in reverse engineering applications.
Computer-Aided Design, Volume 36, Issue 1, January 2004, pp 65-74
- [29] Deng, Y.-M.
Function and behavior representation in conceptual mechanical design
(2002) *Artificial Intelligence for Engineering Design, Analysis and Manufacturing: AIEDAM*, 16 (5), pp. 343-362.
- [30] Deng, Y.-M., Britton, G.A., Tor, S.B.
Constraint-based functional design verification for conceptual design
(2000) *Computer-Aided Design*, 32 (14), pp. 889-899., doi: 10.1016/S0010-4485(00)00077-4
- [31] Dhillon, B.S.,
Engineering Maintenance : A Modern Approach, CRC Press, ISBN 1-58716-142-7, 2002
- [32] Dorst, K., Vermaas, P.E.
John Gero's function-behaviour-structure model of designing: A critical analysis
(2005) *Research in Engineering Design*, 16 (1-2), pp. 17-26., doi: 10.1007/s00163-005-0058-z
- [33] Dunbing Tang, Li Zheng, Zhizhong Li and Kwai-Sang Chin
STEP-based product modeling for concurrent stamped part and die development
Computers in Industry, Volume 46, Issue 1, August 2001, Pages 75-94
- [34] El Assami, Y., Aït-Kadi, D., Menye, J.-B. et Kane, H,
Modèle d'allocation d'opérateurs polyvalents dans l'ordonnancement de tâches de maintenance, Actes (CD-ROM) du 7^{ème} Congrès International de Genie Industriel (CIGI 2007), Trois-Rivières, Canada, 5-8 juin.
- [35] Eynard Benoît, Thomas Gallet, Pierre Nowak and Lionel Roucoules
UML based specifications of PDM product structure and workflow
Computers in Industry, Volume 55, Issue 3, December 2004, pp 301-316
- [36] Eynard, Benoît Sébastien Liénard, Sébastien Charles, Aurélien Odinot
Web-based Collaborative Engineering Support System: Applications in Mechanical Design and Structural Analysis. *Concurrent Engineering*, Vol. 13, No. 2, 145-153 (2005)
DOI: 10.1177/1063293X05053799
- [37] Gardan Yvon, Mael Hillereau, Estelle Perrin
DIJA system: a CAD solution for collaboration between designers and manufacturers.
International Journal of Product Lifecycle Management 2006 - Vol. 1, No.4 pp. 436 - 450
- [38] GDR MACS Rapport Comité d'Experts Productique, Prospective de Recherche, 15 Janvier 2007
- [39] Gero, J.S., Kannengiesser, U.
A function-behaviour-structure ontology of processes, (2006) *Design Computing and Cognition'06*, pp. 407-422. J. S. Gero (ed), Springer
- [40] Gero, J.S., Kannengiesser, U.
The situated function-behaviour-structure framework
(2004) *Design Studies*, 25 (4), pp. 373-391. doi: 10.1016/j.destud.2003.10.010
- [41] Giachetti Ronald E. and Mohammed I. Alvi
An object-oriented information model for manufacturability analysis of printed circuit board fabrication
Computers in Industry, Volume 45, Issue 2, June 2001, pp 177-196

- [42] Giannini Franca, Marina Monti, Domenico Biondi, Flavio Bonfatti and Paola Daniela Monari
A modelling tool for the management of product data in a co-design environment
Computer-Aided Design, Volume 34, Issue 14, 1 December 2002, pp 1063-1073
- [43] Girard Philippe and Guy Doumeingts
Modelling the engineering design system to improve performance
Computers & Industrial Engineering, Volume 46, Issue 1, March 2004, Pages 43-67
- [44] Gouriveau Rafael, Daniel Noyes
Risk management – dependability tools and case-based reasoning integration using the object formalism, Computers in Industry, Volume 55, Issue 3, December 2004, Pages 255-267
- [45] Harding J. A., K. Popplewell, R. Y. K. Fung and A. R. Omar
An intelligent information framework relating customer requirements and product characteristics.
Computers in Industry, Volume 44, Issue 1, January 2001, pp 51-65
- [46] Hepperle, C., Maier, A.M., Kreimeyer, M., Lindemann, U. and Clarkson, P.J.
'Analyzing communication dependencies in product development using the design structure matrix'
in 9th International Design Structure Matrix Conference (DSM'07), Munich, Germany.
- [47] Hicks, B. J. and S. J. Culley
An integrated modelling environment for the embodiment of mechanical systems
Computer-Aided Design, Volume 34, Issue 6, May 2002, pp 435-451
- [48] Hsien-Chung Wu
Fuzzy reliability estimation using Bayesian approach
Computers & Industrial Engineering, Volume 46, Issue 3, June 2004, pp 467-493
- [49] <http://www.dfki.de/web>
- [50] <http://www.pi.titech.ac.jp/english/e-index.html>
- [51] Huang G. Q. and K. L. Mak
Design for manufacture and assembly on the Internet
Computers in Industry, Volume 38, Issue 1, January 1999, pp 17-30
- [52] Ireson, W.G., Coombs, C.F. and Moss, R.Y., 1995, Handbook of Reliability Engineering and Management, Second Edition, McGraw-Hill Companies, ISBN 0-07-012750-6.
- [53] Jabbour T., Ch. Mascle, R. Maranzana
A database for the representation of assembly features in mechanical products International Journal of Computational Geometry & Applications Vol. 8 Nos. 5 & 6 1998
- [54] Jing Rong Li, Li Pheng Khoo and Shu Beng Tor
An object-oriented intelligent disassembly sequence planner for maintenance
Computers in Industry, Volume 56, Issue 7, September 2005, pp 699-718
- [55] Kahn Hilary, Nick Filer, Alan Williams and Nigel Whitaker
A generic framework for transforming EXPRESS information models
Computer-Aided Design, Volume 33, Issue 7, June 2001, pp 501-510
- [56] Kalligeros K., de Weck O., de Neufville R., Luckins A., "Platform Identification using Design Structure Matrices", Sixteenth Annual International Symposium of the International Council On Systems Engineering (INCOSE), Orlando, Florida, 8 - 14 July 2006
- [57] Kang-Soo Lee and Kunwoo Lee
Framework of an evolutionary design system incorporating design information and history
Computers in Industry, Volume 44, Issue 3, April 2001, Pages 205-227
doi:10.1016/S0166-3615(01)00075-6

- [58] Katz J. J., Fodor J. A., The structure of a semantic theory, *Language*, 39, 1963.
- [59] Kayser D., *La Représentation des Connaissances*, Hermes, (ISBN 2-86601-647-5), 1997.
- [60] Kelly T. P. and J. A. McDermid
A systematic approach to safety case maintenance
Reliability Engineering & System Safety, Volume 71, Issue 3, March 2001, pp 271-284
- [61] Keraron, Y; Bernard, A; Bachimont, B
An UML model of the technical information system to enable information handling and recording during the product life cycle. 4th Int. Conference on Product Lifecycle Management, JUL 11-13, 2007, Kilometro Rosso, Stezzano, Italy.
- [62] Ke-Zhang Chen and Xin-An Feng
CAD modeling for the components made of multi heterogeneous materials and smart materials.
Computer-Aided Design, Volume 36, Issue 1, January 2004, pp 51-63
- [63] Kikuo Fujita
Product variety optimization under modular architecture
Computer-Aided Design, Volume 34, Issue 12, October 2002, pp 953-965
- [64] Kosanke K., J.G. Nell (2006)
Standardisation in ISO for enterprise engineering and integration
Computers in Industry 40 (1999) 311-319
- [65] Kumar V., D. Burns, D. Dutta and C. Hoffmann
A framework for object modeling
Computer-Aided Design, Volume 31, Issue 9, August 1999, pp 541-556
- [66] Labrousse, M., A. Bernard
Modèle FBS enrichi pour la modélisation des processus d'entreprise.
Proceedings of CPI Conference 2003, Morocco.
- [67] Labrousse, M; Bernard, A; Veron, P.
Generic FBS concept for process/product/resource integration
5th Int. Symposium on Tools and Methods of Competitive Engineering, APR 13-17, 2004, Lausanne, Switzerland. *Tools and Methods of Competitive Engineering* Vol. 1, 2004
- [68] Ladet Pierre, Rapport Journées Nationales GDR MACS, Lyon 5-7 septembre 2005
- [69] Lambert Alfred J. D.
Determining optimum disassembly sequences in electronic equipment
Computers & Industrial Engineering, Volume 43, Issue 3, September 2002, pp 553-575
- [70] Lu Chen and Jianguo Cai
Using Vector Projection Method to evaluate maintainability of mechanical system in design review
Reliability Engineering & System Safety, Vol. 81, Issue 2, August 2003, pp 147-154
- [71] Ma Weiyin, Yongmin Zhong, Shiu-Kit Tso and Tianxiang Zhou
A hierarchically structured and constraint-based data model for intuitive and precise solid modeling in a virtual reality environment
Computer-Aided Design, Volume 36, Issue 10, 1 September 2004, pp 903-928
- [72] Maier, A.M., Kreimeyer, M., Lindemann, U. and Clarkson, P.J. (2008) 'Reflecting Communication: a key factor for successful collaboration between embodiment design and simulation' in *Journal of Engineering Design*, (in press)
- [73] Mangesh P. Bhandarkar and Rakesh Nagi
STEP-based feature extraction from STEP geometry for Agile Manufacturing
Computers in Industry, Volume 41, Issue 1, January 2000, pp 3-24

- [74] Martorell Sebastián, Ana Sanchez, Sofia Carlos and Vicente Serradell
Alternatives and challenges in optimizing industrial safety using genetic algorithms
Reliability Engineering & System Safety, Volume 86, Issue 1, October 2004, pp 25-38
- [75] Mauchand, M; Siadat, A; Bernard, A; Perry, N
Proposal for tool-based method of product cost estimation during conceptual design
Journal of Engineering Design 19 (2):159-172 Art No. 10.1080/09544820701802857/ISSN 0954-4828 2008
- [76] McKay Alison, Alan de Pennington and Jim Baxter
Requirements management: a representation scheme for product specifications
Computer-Aided Design, Volume 33, Issue 7, June 2001, pp 511-520
- [77] Mervyn F., A. Senthil Kumar, S. H. Bok and A. Y. C Nee
Developing distributed applications for integrated product and process design
Computer-Aided Design, Volume 36, Issue 8, July 2004, pp 679-689
- [78] MIL-HDBK-470A, 1997, Designing and Developing Maintainable products and Systems,
Military HandBook, US Department Of Defense, Washington, DC.
- [79] MIL-HDBK-791AM, 1988, Maintainability Design Techniques. Military HandBook, US
Department Of Defense, Washington, DC.
- [80] MIL-STD-721C, 1981, Definitions of Terms for Reliability and Maintainability, Military Standard,
US Department Of Defense, Washington, DC
- [81] Noel M. Frederic,
“A dynamic multi-view product model to share product behaviours among
designers: how process model adds semantic to the behaviour paradigm”.
International Journal of Product Lifecycle Management 2006 - Vol. 1, No.4 pp. 380 – 390
- [82] Noort, A., G. F. M. Hoek and W. F. Bronsvooort
Integrating part and assembly modelling
Computer-Aided Design, Volume 34, Issue 12, October 2002, pp 899-912
- [83] Nourelfath Mustapha and Daoud Ait-Kadi
Optimization of series–parallel multi-state systems under maintenance policies
Reliability Engineering & System Safety, Volume 92, Issue 12, December 2007, Pages 1620-1626.
Special Issue on ESREL 2005
- [84] Pérès François, Daniel Noyes
Envisioning e-logistics developments: Making spare parts in situ and on demand: State of the
art and guidelines for future developments, Computers in Industry, Volume 57, Issue
6, August 2006, Pages 490-503
- [85] Perry, N; Mauchand, M; Bernard, A
Integration of cost models in design and manufacturing
14th International CIRP Design Seminar, May 16-18, 2004, Cairo, Egypt
Advances in Design 315-323 2006
- [86] Ping Yi Chao and Tsung Te Chen
Analysis of assembly through product configuration
Computers in Industry, Volume 44, Issue 2, March 2001, pp 189-203
- [87] Pomares J., S. T. Puente, F. Torres, F. A. Candelas and P. Gil
Virtual disassembly of products based on geometric models
Computers in Industry, Volume 55, Issue 1, September 2004, pp 1-14
- [88] Pouliquen, M; Bernard, A; Marsot, J; Chodorge, L
Virtual hands and virtual reality multimodal platform to design safer industrial systems
Computers In Industry 58 (1):46-56 Art No. 10.1016/j.compind.2006.04.001/ISSN 0166-3615 2007

- [89] Prabhu, B. S., S. Biswas and S. S. Pande
Intelligent system for extraction of product data from CADD models
Computers in Industry, Volume 44, Issue 1, January 2001, pp 79-95
- [90] Pratt Michael J. and Bill D. Anderson
A shape modelling applications programming interface for the STEP standard
Computer-Aided Design, Volume 33, Issue 7, June 2001, Pages 531-543
- [91] R. M. Setchi, D. T. Pham, S. S. Dimov “A methodology for developing intelligent product manuals”,
Engineering Applications of Artificial Intelligence 19 (2006) 657-669.
- [92] Rajpa P.S. I, K.S. Shishodia and G.S. Sekhon
An artificial neural network for modeling reliability, availability and maintainability of a repairable system. Reliability Engineering & System Safety, Vol. 91, Issue 7, July 2006, Pages 809-819
- [93] Ramakumar, R., Dhillon, B., Jambekar, A., and Pelc, K., 2000,
Reliability and Maintainability, Technology Management Handbook, Ed. Richard C. Dorf,
Boca Raton: CRC Press LLC.
- [94] Rezayat, M.
The Enterprise-Web portal for life-cycle support
Computer-Aided Design, Volume 32, Issue 2, 1 February 2000, pp 85-96
- [95] Roy U. and B. Bharadwaj
Design with part behaviors: behavior model, representation and applications
Computer-Aided Design, Volume 34, Issue 9, August 2002, pp 613-636
- [96] Roy U., N. Pramanik, R. Sudarsan, R. D. Sriram and K. W. Lyons
Function-to-form mapping: model, representation and applications in design synthesis
Computer-Aided Design, Volume 33, Issue 10, September 2001, pp 699-719
- [97] Salvendy, G., 2001,
Handbook of industrial engineering :technology and operations
management, 3rd Edition, Wiley, New York.
- [98] Setchi R. M., D. White
“The development of a hypermedia maintenance manual for an advanced manufacturing company”,
Int. J. Manufacturing Technologies 22 (2003) 456-464
- [99] Shakeri M.
Implementation of an automated operation planning and optimum operation sequencing and tool
selection algorithms
Computers in Industry, Volume 54, Issue 3, August 2004, pp 223-236
- [100] Shi Jiaoying, Lin Feng and Zhang Ning
Artificial intelligence in Computer Aided Design
Computers in Industry, Volume 8, Issue 4, June-July 1987, Pages 277-282
- [101] Shingo Nakanishi and Hidetoshi Nakayasu
Reliability design of structural system with cost effectiveness during life cycle
Computers & Industrial Engineering, Volume 42, Issues 2-4, 11 April 2002, Pages 447-456
- [102] Shyamsundar N. and Rajit Gadh
Internet-based collaborative product design with assembly features and virtual design spaces
Computer-Aided Design, Volume 33, Issue 9, August 2001, pp 637-651
- [103] Siddiqi A., de Weck O., “Spare Parts Requirements for Space Missions with Reconfigurability and
Commonality”, Journal of Spacecraft and Rockets, 2006

- [104] Simon Matthew, Graham Bee, Philip Moore, Jun-Sheng Pu and Changwen Xie
Modelling of the life cycle of products with data acquisition features
Computers in Industry, Volume 45, Issue 2, June 2001, pp 111-122
- [105] Sortrakul N., H.L. Nachtmann and C.R. Cassady
Genetic algorithms for integrated preventive maintenance planning and production scheduling for a single machine
Computers in Industry, Volume 56, Issue 2, February 2005, pp 161-168
- [106] Sowa J. F. – Conceptual Graphs for Data Base Interface,
IBM Journal or Research and Development 20(4), 36-357, 1976.
- [107] Sowa J. F., Conceptual structures : Information processing in Mind and Machine, Addison-Wasley, ISBN 0-201-14472-7, 1984
- [108] Sudarsan R., S.J. Fenves, R.D. Sriram and F. Wang
A product information modeling framework for product lifecycle management
Computer-Aided Design, Volume 37, Issue 13, November 2005, pp 1399-1411
- [109] Tanaka Fumiki and Takeshi Kishinami
STEP-based quality diagnosis of shape data of product models for collaborative e-engineering
Computers in Industry, Volume 57, Issue 3, April 2006, pp 245-260
- [110] Tay Francis E. H. and Jinxiang Gu
Product Modeling for Conceptual Design support
Computers in Industry, Volume 48, Issue 2, June 2002, pp 143-155
- [111] Thimm G., S.G. Lee and Y.-S. Ma
Towards Unified Modelling of product life-cycles
Computers in Industry, Volume 57, Issue 4, May 2006, pp 331-341
- [112] Wang Qing-Hui, Jing-Rong Li (2006)
Interactive visualization of complex dynamic virtual environment for industrial assemblies.
Computers in Industry 57 (2006) 366-377
- [113] Wani M. F. and O. P. Gandhi
Maintainability design and evaluation of mechanical systems based on Tribology.
Reliability Engineering & System Safety, Volume 77, Issue 2, 1 August 2002, pp 181-188
- [114] Wani M. F. and O. P. Gandhi
Development of maintainability index for mechanical systems
Reliability Engineering & System Safety, Volume 65, Issue 3, September 1999, pp 259-270
- [115] Weckman G. R., R. L. Shell and J. H. Marvel
Modeling the reliability of repairable systems in the aviation industry
Computers & Industrial Engineering, Volume 40, Issues 1-2, June 2001, pp 51-63
- [116] Xue D. and H. Yang
A concurrent engineering-oriented design database representation model
Computer-Aided Design, Volume 36, Issue 10, 1 September 2004, Pages 947-965
- [117] Xue D. and Y. Xu
Web-based distributed system and database modeling for concurrent design
Computer-Aided Design, Volume 35, Issue 5, 15 April 2003, pp 433-452
- [118] Yi-Chih Hsieh
A linear approximation for redundant reliability problems with multiple component choices
Computers & Industrial Engineering, Volume 44, Issue 1, January 2003, pp 91-103

- [119] Yuh-Jen Chen, Yuh-Min Chen, Hui-Chuan Chu
Enabling collaborative product design through distributed engineering knowledge management.
Computers in Industry 59 (2008) 395–409
- [120] Yun Won Young and Jong Woon Kim
Multi-level redundancy optimization in series systems
Computers & Industrial Engineering, Volume 46, Issue 2, April 2004, Pages 337-346
- [121] Zaytoon Janan, Pierre Ladet, Rapport Projet GDR MACS 2006-2009
- [122] Zbigniew Szuma ski
Modeling of the behavior of an integrated industrial system during a catastrophe
Computers in Industry, Volume 2, Issue 1, March 1981, pp 13-21
- [123] Zha X. F. and H. Du
A PDES/STEP-based model and system for concurrent integrated design and assembly planning.
Computer-Aided Design, Volume 34, Issue 14, 1 December 2002, pp 1087-1110
- [124] Zha Xuan F. and H. Du
Knowledge-intensive collaborative design modeling and support: Part I: Review, distributed models
and framework. Computers in Industry, Volume 57, Issue 1, January 2006, pp 39-55
- [125] Zhang F. and D. Xue
Distributed database and knowledge base modeling for concurrent design
Computer-Aided Design, Volume 34, Issue 1, January 2002, pp 27-40
- [126] Zhang Q. Li, W. J. and S. K. Tso
Generalization of strategies for product data modeling with special reference to Instance-As-Type
problem. Computers in Industry, Volume 41, Issue 1, January 2000, pp 25-34
- [127] Zhang Yanping (Paul), Chun (Chuck) Zhang and H. P. (Ben) Wang
An Internet based STEP data exchange framework for virtual enterprises
Computers in Industry, Volume 41, Issue 1, January 2000, pp 51-63
- [128] Zwingmann, X.,
Modèle d'évaluation de la fiabilité et de la maintenabilité au stade
de la conception, thèse de doctorat, Mai 2005, Département de génie mécanique, Université
Laval Québec, Canada.

ANNEXE 1
DEMONSTRATEUR
Product-BPAS

XI. ANNEXE 1: Démonstrateur Product-BPAS

Un démonstrateur du système Product-BPAS (Product Behavioral Assessment Software) est en cours d'implémentation en langage Java sous NetBeans/IDE en environnement Windows XP. Le système actuellement des modules présentés en tableau 9 :

Modules	Description
CAD 3D Digital Mockup	<ul style="list-style-type: none"> - Importation du modèle CAO 3D : format STEP ISO-10303 AP-203, AP-214. - visualisation du modèle avec E-Drawing (version disponible pour plusieurs systèmes de CAO : Catia, SolidWorks, Pro/Engineer, Inventor) ; - Décomposition structurelle et définition de la nomenclature (liste des composants C_1, C_2, \dots, C_n) à partir de la CAO ou décomposition libre pour avoir une nomenclature personnalisée.
Part Editor	<ul style="list-style-type: none"> - Récupération des attributs de pièces issus de la CAO (géométrie, dimensions, surfaces, masse volumique, matériaux, ...) - Edition de composants pour enrichissement sémantique.
Assembly Editor	<ul style="list-style-type: none"> - Récupération des attributs d'assemblages issus de la CAO (contraintes d'assemblage : contact, alignement, coaxialité, orientation α, ...) - Edition d'assemblages de couples de composants avec enrichissement sémantique (type de liaisons, mouvement relatif, liaison fonctionnelle/ physique).
Cohérence	<ul style="list-style-type: none"> - effectue un contrôle de cohérence en utilisant la logique de description.
Evaluation	<ul style="list-style-type: none"> - calcul des indicateurs de performances et affichage des résultats.

Tableau 9 : Modules de Product-BPAS

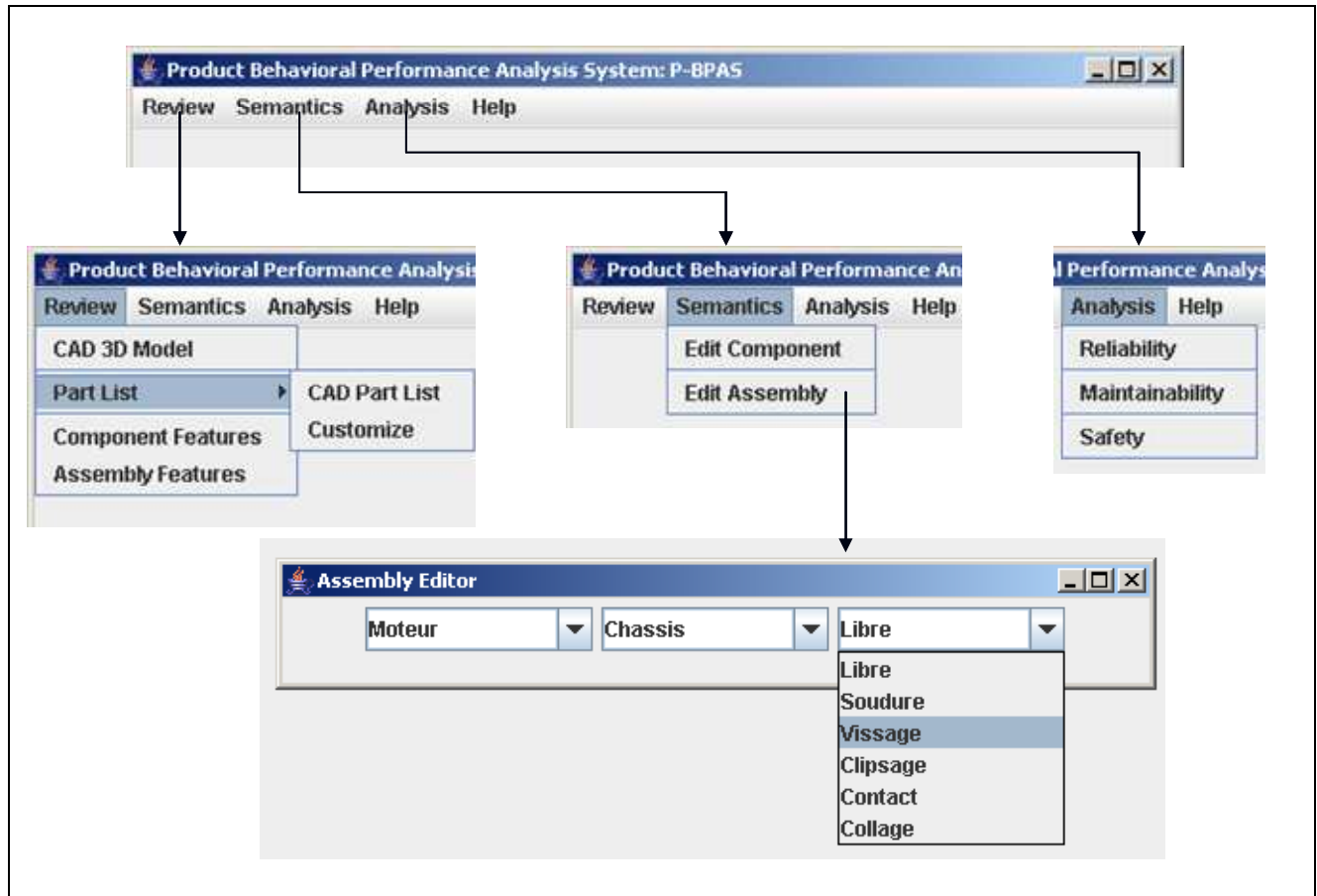


Fig 32 : *Vues des principaux menus*

Le menu «**Design Review** » permet :

- l'extraction des données du modèle CAO exporté au format STEP (AP-203, AP-214) [73];
- la récupération de la nomenclature standard fournie par le système de CAO ou la définition d'une nomenclature personnalisée en fonction d'une décomposition (structurelle ou fonctionnelle) spécifique définie par le concepteur ;
- la consultation des caractéristiques des composants ;
- la consultation des caractéristiques des sous-ensembles.

Le menu « **Semantics** » d'enrichissement sémantique permet :

- l'édition des attributs des composants,
- l'édition des liaisons entre les composants,

Ce module utilise une base de données MySQL contenant une bibliothèque de matériaux et des données de fiabilité. Dans la perspective de l'application à d'autres domaines, cette base sera enrichie avec d'autres caractéristiques.

Le menu « **Analysis** » réalise l'évaluation comportementale pour un domaine considéré : maintenabilité en cours d'implémentation) et à terme d'autres domaines comme la sécurité et la recyclabilité.

ANNEXE 2

PUBLICATIONS

XII. ANNEXE 2 : Principales publications récentes

Textes de publications récentes représentatives de nos travaux.