

INDUSTRIALISATION DES CONNAISSANCES : APPROCHES D'INTEGRATION POUR UNE UTILISATION OPTIMALE EN INGENIERIE (CAS DE L'EVALUATION ECONOMIQUE)

Nicolas Perry

▶ **To cite this version:**

Nicolas Perry. INDUSTRIALISATION DES CONNAISSANCES : APPROCHES D'INTEGRATION POUR UNE UTILISATION OPTIMALE EN INGENIERIE (CAS DE L'EVALUATION ECONOMIQUE). Sciences de l'ingénieur [physics]. Université de Nantes, 2007. tel-00204563

HAL Id: tel-00204563

https://theses.hal.science/tel-00204563

Submitted on 14 Jan 2008

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

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

Habilitation à Diriger des Recherches

Ecole Doctorale Mécanique, Thermique et Génie Civil

Spécialité : Sciences Physiques et de l'Ingénieur

Présentée à

L'Université de Nantes

Nicolas PERRY

INDUSTRIALISATION DES CONNAISSANCES : APPROCHES D'INTEGRATION POUR UNE UTILISATION OPTIMALE EN INGENIERIE (CAS DE L'EVALUATION ECONOMIQUE)

Soutenue le 8 Novembre 2007 devant le jury composé de :

Proposition de jury

Rapporteurs proposés :

Jean-Pierre **Bourey**	Professeur au LGI - Ecole Centrale de Lille
Patrick **Martin**	Professeur au LGIPM - ENSAM de Metz
Serge **Tichkiewitch**	Professeur au G-SCOP - l'INP de Grenoble

Examinateurs proposés :

Jean Paul **Bourrières**	Professeur au LAPS - Univ. de Bordeaux1
Emmanuel **Caillaud**	Professeur au LGECO - ULP - Univ Stasbourg 1
Vincent **Giard**	Professeur au LAMSADE - Paris Dauphine
Pierre **Mévellec**	Professeur au LEM – IAE Univ. De Nantes
Bernard **Yannou**	Professeur au LGI - Centrale Paris

Dir. de Recherche :

Alain **Bernard**	Professeur à l'IRCCyN - Ecole Centrale de Nantes

La complexité ne se laisse jamais appréhender totalement. J.L. Le Moine

Le tout est beaucoup trop confus pour qu'on le s'y retrouve. P. Foucher

Le progrès est la simplification de la technique. A. de Saint Exupéry

Le progrès c'est la simplification de l'usage. J. Birgand

Aux K(s) motivations et finalités de ce manuscrit
Et à L qui s'en suit

Table des matières

TOUT RESUME EN SEPT PAGES 9

PREMIERE PARTIE 17

CURRICULUM VITAE 19
ACTIVITES D'ENSEIGNEMENT 20
ACTIVITES D'ENSEIGNEMENT 21
RESPONSABILITES PEDAGOGIQUES 23
RESPONSABILITES DIVERSES 24
ACTIVITES DE RECHERCHE 25
THEMATIQUE DE RECHERCHE 25
RESUME DES APPORTS 28
PRIME D'ENCADREMENT DOCTORAL ET DE RECHERCHE 38
COLLABORATIONS INTERNATIONALES 38
COLLABORATIONS NATIONALES 44
COLLABORATIONS INDUSTRIELLE 47
RELECTURE D'ARTICLES, DE PARTIE D'OUVRAGE, KEYNOTE-PAPER ET TUTORIAUX 49
BILAN QUANTITATIF DEPUIS 1997 50
REFERENCES DE PUBLICATIONS PERSONNELLES 52
RESUME 58

DEUXIEME PARTIE 59

SOMMAIRE DES ACTIVITES DE RECHERCHE 61
1. INTRODUCTION 64
2. RECONVERSION THEMATIQUE 70
2.1 RESUME DU TRAVAIL DE THESE 70
2.2 MISE EN PERSPECTIVE DU TRAVAIL DE THESE 75
3. RECHERCHE A L'IRCCYN 77
3.1. CONTEXTE DE RECHERCHE 77
3.2 INTEGRATION DES CONNAISSANCES 86
3.4 EVALUATION DES COUTS EN INGENIERIE 156
3.5. CONCLUSIONS DES ACTIVITES DE RECHERCHE 191
4. PERSPECTIVES 193
4.1. INDUSTRIALISATION DE CONNAISSANCES 195

4.2. EVALUATION ECONOMIQUE EN INGENIERIE, VERS LE PILOTAGE DE LA PERFORMANCE INDUSTRIELLE 198
RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES 203

TROISIEME PARTIE 219

SOMMAIRE DES TIRÉS À PART 221

Table des illustrations

Figures

Figure 1 : Synoptique de présentation des axes de recherche de l'équipe IVGI au 05/2004 26
Figure 2 : Illustration de la structure du Projet USIQUICK 48
Figure 3 : Synthèse des recherches menées et encadrées depuis 1996 51
Figure 4: Passage de l'ère industrielle à l'ère de l'information [Gra 00] 65
Figure 5 : Vue d'ensemble de la génération de valeur à travers l'activation d'expertise [Can 06] 66
Figure 6 : Structuration des connaissances : phase informelle de MOKA [C.2006.1] 66
Figure 7 : Vue d'ensemble des interactions entre les éléments structurants [Can 06] 67
Figure 8 : Cordon TIG et ATIG d'acier inoxydable 304 d'épaisseur 5mm sous les mêmes paramètres opératoires Intensité et Tension d'arc ainsi que vitesse de déplacement 72
Figure 9: Schéma des modifications d'arc TIG et ATIG et courants de convection dans les bains TIG et ATIG 72
Figure 10: Les différents courants du bain de fusion 72
Figure 11 : Morphologie comparative d'arc et de cratère de fin de fusion en soudage TIG (en haut) et ATIG (en bas) 73
Figure 12 : Gestion de la notion de comportement dans le modèle FBS-PPR [C.2005.3] 82
Figure 13 : Domaines de compétences du Réseau d'Excellence INTROP [@Inter] 83
Figure 14 : De la donnée à la connaissance - Lien entre connaissance et compétence [Gar 99] 84
Figure 15 : Synthèse du processus USIQUISK en 3 phases et répartition des tâches par niveau d'intégration et par acteurs 85
Figure 16 : Gestion de projet à base de connaissances [E.2005.1] 90
Figure 17 : Complémentarité des domaines autour de la capture de l'expertise et des connaissances 91
Figure 18 : Modèle de la marguerite d'Ermine [Erm 01] 93
Figure 19 : Les cinq facettes de la capitalisation des connaissances de Grundstein [Gru 94] 93
Figure 20 : Représentation du modèle SECI de Nonaka [Non 00] 94
Figure 21 : Le cycle de vie de la connaissance [Fire 00] 94
Figure 22 : Enjeu de la sémiotique : reconstruction mentale du sens 97
Figure 23 : Zone de disparition de la responsabilité entre la conception d'une application d'assistance d'une expertise et son utilisation [Can 06] 97
Figure 24 : Schéma de principe de la méthode MOKA 103
Figure 25 : Les deux grandes phases de l'ingénierie des connaissances 104
Figure 26 : Démarche de capture d'expertise, illustration de l'utilisation [Rab 03] 118
Figure 27 : Processus d'ingénierie pour la restitution de la connaissance métier (gauche) et cycles de vie de la connaissance dans USIQUICK (droite) [Amm 05a] 119
Figure 28 : Processus d'ingénierie pour l'intégration de connaissances métier 121
Figure 29 : Apports d'Ammar-Khodja dans les phases de modélisation et d'intégration d'expertise 122
Figure 30 : Démarche de spécification [C.2007.1] 124
Figure 31 : Démarche de déploiement, exigence de synchronisation 125
Figure 32 : Structure de la matrice de synchronisation 126
Figure 33 : Matrice d'analyse et suivi d'implémentation extrait de PC-Pack 126
Figure 34 : Aide au développement d'application par la navigation guidée dans le contexte métier 127
Figure 35 : Couples de concepts pour préparer / suivre le projet d'intégration d'expertise [Can 06] 130
Figure 36 : Vision de la dynamique du projet par rapport à l'évolution de la maturité de la gestion du domaine d'expertise étudié [C.2007.1] 132
Figure 37 : Les piliers de ressources à l'intégration de la connaissance dans une application de KBE [Can 06] 133

Figure 38 : Niveaux de maturité de la gestion d'une expertise dans la création d'une application KBE [Can 06] [A.2007.5] 134
Figure 39 : Phases de modélisation et d'intégration, questionnement systématique par niveau et suivi des influences [Can 06] 135
Figure 40: Ensemble d'éléments d'analyse pour l'aide à spécification de projet d'intégration des connaissances [A.2007.5][Can 06] 138
Figure 41 : Illustration de la définition d'Entité d'usinage selon le groupe GAMA 141
Figure 42 : Convergence des problématiques associées aux OSE 142
Figure 43 : Paramètre d'orientations dans la machine [A.2006.2] 144
Figure 44 : Fonderie de référence mais parachèvement archaïque 146
Figure 45 : Intégration numérique pour le développement rapide de produit 148
Figure 46 : Environnement numérique intégré 148
Figure 47 : Résumé des gains obtenus 149
Figure 48 : Schéma global d'intégration du référentiel numérique commun 149
Figure 49 : Modèle macroscopique de l'approche proposée [Lar 06] 152
Figure 50 : Résumé de l'approche sur le cas de la machine à vapeur Piguet [Lar 06] 152
Figure 51 : Interfaces de consultation et préférences en fonction de la complexité du document 154
Figure 52 : Mise en perspective du triptyque coût / valeur / prix dans le cycle de structuration / déstructuration de la connaissance 156
Figure 53 : Evolution de la répartition des coûts 159
Figure 54 : Les enjeux économiques des premières phases de développement et des modifications 159
Figure 55 : Composantes à intégrer dans l'évaluation d'un coût global 161
Figure 56 : Analyse du portefeuille d'affaires en 1999 et prévisions pour 2003 175
Figure 57 : Stratégie d'évaluation des contributions de chaque produit fabriqué 176
Figure 58 : Résultat Brut d'exploitation en fonction du chiffre d'affaires à charge fixe (à gauche) et en fonction de nombre d'heures de main d'œuvre à charge constante (à droite) 177
Figure 59 : Devis, structure et interface avec la CAO 178
Figure 60 : Modèle du processus de parachèvement et Interface de saisie "grenaillage et dégrappage" 179
Figure 61 : Maille Procédé –Matière – Entité du logiciel et structure de valorisation du coût en fonderie 181
Figure 62 : Modèle de la fonderie sable SMC Colombier fontaine, son méta modèle, son modèle de donné et son modèle d'agrégation des coûts (formalisme arbitraire) 182
Figure 63 : Typologie d'unité de production et modèle de structure de produits 185
Figure 64 : Exemple de définition d'infrastructure de SysCost 185
Figure 65 : Enrichissement de la notion d'entité dans SysCost avec les attributs issus de WaCoFo 186
Figure 66 : Intérêt des parties bénéficiaires vis-à-vis de la valeur produite [D.2007.7] 187
Figure 67 : Attributs de la valeur 187
Figure 68 : Proposition de définition de chaîne de valeur [D.2007.6] 188
Figure 69 : Les trois faces d'un produit industriel 188
Figure 70 : Ontologie du concept entité coûts [H'Mid 02] 189
Figure 71 : Synthèse des apports des principales publications (revues et chapitres de livres pour l'essentiel) 192

Tableaux

Tableau 1 : Histogramme des publications personnelles depuis 1996 51
Tableau 2 : Grille d'analyse support à l'algorithme méthodologique pour maîtriser les objectifs et les indicateurs des projets d'intégration d'activités basées sur les connaissances [A.2007.8][Can 06] 140
Tableau 3 : Paramètres influents sur la consommation d'énergie 143
Tableau 4 : Résultats des essais pour la pièce test [D.2005.1] 144
Tableau 5 : Influence des paramètres sur les différents procédés [A.2006.1] 144
Tableau 6 : Phases d'un projet et choix d'une méthode de chiffrage en aéronautique [Pet 91] 164
Tableau 7 : Méthode d'évaluation au long du cycle de vie produit dans l'industrie automobile [Far 01] 164
Tableau 8 : Méthode d'évaluation et fonction d'entreprise [Bri 02] 165
Tableau 9 : Proposition de méthodes et outils sur le cycle de conception production de produits [Rus 00] 167
Tableau 10 : Caractéristiques clés des logiciels analysés 185
Tableau 11 : Proposition d'outils ou de formalisme par phase d'analyse 186

Tout résumé en sept pages

L'objectif de ce mémoire est de synthétiser mes activités d'enseignement et de recherche depuis mes travaux de thèse jusqu'à mes activités comme Maître de conférences à l'Ecole Centrale de Nantes. Dans le manuscrit, je profiterai de cette mise en perspective de mes travaux pour les positionner par rapport à la communauté de recherche.

Après un DEA et une thèse au Laboratoire de Mécanique et Matériaux de l'Ecole Centrale de Nantes (soutenue en 2000), centrés sur le développement de procédé de soudage gardant en ligne de mire l'impact procédé - matériaux, j'ai intégré l'Institut de Recherche en Communications et Cybernétique de Nantes en 2001. Au sein de l'équipe projet « Ingénierie Virtuelle pour le Génie Industriel », créée en 2002 sous l'impulsion d'Alain Bernard, j'ai abordé des thèmes de recherches liés à l'amélioration des performances industrielles. Nous prônons la structuration, la spécification et le développement d'environnements virtuels qui sont supports aux démarches d'ingénierie pour en améliorer les performances. Ainsi le déploiement de ces méthodes, démarches et outils a pour finalité d'améliorer tant le produit conçu et réalisé, que tout le processus qui le supporte. Ce lien entre l'environnement virtuel d'ingénierie et les performances a fait l'objet du réseau thématique EVEN[1] qui a fait la promotion de ces solutions, abordables, efficaces, pour les PME-PMI européennes.

[1] European Virtual Engineering Network, 5ième PCRD

Les clés de l'amélioration des processus d'ingénierie sont multiples. J'ai choisis d'adresser le problème en travaillant sur la mise à disposition d'environnements virtuels qui vont assister le processus d'ingénierie selon deux axes :

- d'une part, en accélérant les démarches d'ingénierie par la contextualisation et l'automatisation d'une partie des prises de décisions,
- d'autre part, en facilitant et en guidant la navigation dans la masse d'informations présentes, tout en s'adaptant aux nouvelles structures de réseaux virtuels qui se créent et disparaissent au grès des évolutions des centres d'intérêt.

Pour se faire :

- il importe de proposer des approches de capitalisation des connaissances adaptées aux démarches d'ingénierie, tant sur les démarches de formalisation et capture, que sur les restitutions et échanges avec les experts pour valider les éléments modélisés,
- il faut minimiser la perte de sens de ces connaissances dans l'étape de spécification et de développement de l'environnement d'ingénierie virtuelle qui va intégrer et manipuler ces connaissances,
- il est nécessaire d'anticiper, sur tout le cycle de vie des connaissances, les outils et méthodes, nécessaires au développement d'environnements d'ingénierie à base de connaissances et donc de fournir une assistance à la préparation, au suivi et à l'amélioration des projets de ce type, en fonction des évolutions des technologies d'intelligences artificielles.

C'est ainsi qu'ont été menées mes activités de recherche sur le thème « Intégration des connaissances ». Ma démarche se démarque des approches de gestion des connaissances, dans le sens où nous nous appuyons sur les actions de capitalisation de connaissances pour proposer des environnements qui les automatisent partiellement et les mettent à disposition dans les démarches d'ingénierie. En ce sens nous nous différencions des cibles de N.Matta (ISIT - UTT) ou R.Dieng (ACACIA – INRIA) pour ce qui est des aspects de Knowledge Management, ainsi que de A.Bouras (PRISMa – Univ Lyon) ou B.Bachimont (HEUDIASYC – UTC) pour les approches liées à l'intelligence artificielle appliquées aux TIC. Par rapport à des recherches beaucoup plus proches de nous, nous ne nous intéressons que très peu aux aspects de connaissances spécifiques au processus de conception, comme le font le G-SCOP/Gilco (M.Tollenaere), le LAPS/Grai (P.Girard), le LGI (J.C.Boquet) ou le LAB (E.Bonjour). Nous abordons l'intégration des connaissances relatives aux métiers de la production comme l'abordent le LGIPM (P.Martin), le G-SCOP/3S (S.Tichkiewitch) ou le CRAN (G.Ris). Mais nous nous démarquons par la recherche et l'identification des états de transformations de la connaissance, ainsi que des méthodes, outils et technologies qui supportent ces transformations et leur mise à disposition pour l'utilisateur. Ce qui permet de proposer un outillage complet, depuis la préparation de projet de développement de systèmes à base de connaissances et son pilotage (maîtrise d'ouvrage du projet), ainsi que sa mise en œuvre opérationnelle dans le cadre d'ingénierie de production ou de conception de systèmes industriels (maîtrise d'œuvre du projet).

Ainsi, une partie importante de mes activités d'encadrement et de recherche a porté sur ces trois éléments moteurs de l'amélioration des performances d'ingénierie, en postulant que le développement de systèmes d'ingénierie à base de connaissances offre une solution pour répondre à ces exigences d'améliorations. Pour ce thème, j'ai co-encadré deux thèses (Candlot

2006 et Ammar-Khodja 2007) dans le cadre du projet RNTL USIQUICK, ainsi que plusieurs sujets de Master ou travaux de fin d'étude d'élèves ingénieurs de Centrale Nantes.

Le premier travail mené a abordé la problématique de modélisation et de formalisation de la connaissance. Le DEA de S.Rabeau (2003) a ainsi permis de tester une approche de représentation des connaissances qui déjà évoque la nécessité d'aller vers les ontologies comme structure commune, manipulable par les environnements numériques (en collaboration avec la société Adexys). Ce travail a, de plus, mis en avant la nécessité d'alignement entre les différents objectifs des acteurs de cette capitalisation des connaissances, ainsi que les difficultés de convergences des différents experts, surtout si, comme dans ce cas, ils sont multiples et dans des domaines non formels.

La nécessité de structurer les connaissances pour pouvoir naviguer dedans, s'assurer de leur cohérence et s'en servir de manière partiellement automatique nous a poussés vers la création de bases de connaissances. C'est l'objet du travail de thèse de S.Ammar-Khodja (2007), du Master de L.Billon (2006) et de P.Rauffet (2007). Le développement des systèmes à base de connaissances est une solution qui vise à répondre aux besoins de capitalisation, de structuration des connaissances expertes et d'industrialisation de leur traitement. Il permet, après intégration des différentes expertises, d'amorcer une démarche continue et donc de sauvegarder le capital intellectuel des entreprises, tout en limitant les appels systématiques aux experts d'un domaine dans la mesure où ils ont formalisé et partagé leurs savoirs. De plus, une partie des raisonnements peut être automatisée pour, d'une part les dérouler automatiquement, d'autre part, contextualiser et justifier les solutions proposées. Ainsi les décisions sont prises avec les éclairages et les impacts de tous et sur tous les acteurs. Les temps d'ingénierie en sont donc réduits. Ces connaissances (et donc le système à base de connaissances) doivent évoluer avec la matière qu'elles (les connaissances) manipulent ainsi que les technologies qui les supportent. Enfin, mettre à disposition les savoirs de chacun va faciliter les croisements et la fertilisation des idées pour faciliter l'émergence de solutions ou d'approches innovantes. Le travail de thèse a, entre autre, permis de proposer une approche mixte d'un premier cycle de spécification / développement de logiciel, couplé au cycle d'ingénierie des connaissances (capitalisation, formalisation, intégration et restitution). Les états de la connaissance, du bréviaire jusqu'au logiciel utilisé par l'ingénieur, sont donc analysés et suivis, pour proposer une démarche de transformation par phases successives, articulées autour de la création de la base de connaissances qui devient le support aux spécifications, au développement, puis à la vie de l'environnement à base de connaissances ainsi proposé. Ce travail a, entre autre, largement participé à la spécification des environnements de Knowledge Based Engineering définis pour le réseau d'excellence VRL-KCiP.

Or, l'une des principales remarques concernant les limites des projets de gestion des connaissances, réside dans le manque de visibilité des bénéfices ou de l'efficacité de ces projets. En effet, les temps de mise en œuvre sont importants, mais les retours sur investissement ou les mesures de performances associées sont difficilement mesurables. Cet aspect va être ainsi abordé dans ce troisième volet. Ainsi, après avoir abordé les aspects de formalisation des connaissances puis celui de la structuration et de la transformation, depuis son état brut jusqu'à sa mise à disposition dans un environnement métier, le troisième pan d'étude consiste à aborder de manière générique les projets de développement de systèmes à base de connaissances et d'assurer sa mise en œuvre efficace. Ce travail vise donc à assister les choix de stratégies de préparation dans un

premier temps, puis de guider le pilotage du déploiement dans un second temps, avant de proposer une solution de capitalisation d'expériences sur le projet mené. La thèse d'A.Candlot (2006) se base sur l'identification de problèmes critiques et récurrents dans ce type de projets et analyse les solutions (méthodologiques et technologiques) qui permettent de les dépasser. Ce travail fournit alors un cadre général pour la préparation et la réalisation de projets de développement de systèmes à base de connaissances. Il fournit un outillage méthodologique d'analyse et de capitalisation d'expériences (vécues ou rapportées) pour comparer, proposer et suivre les solutions pour chaque phase du projet identifié. Cette boite à outil méthodologique s'auto-alimente de l'expérience des projets réalisés ou des projets analysés, tout en s'affranchissant des contraintes technologiques qui évoluent très rapidement (Web sémantique par exemple). Ce travail a largement alimenté notre échange avec une équipe Sud Africaine ainsi que les travaux de fin d'étude effectués par des élèves de l'ECN (C.Debully 2004, J.B.Théard 2005, A.Le Bihan 2006). Ce travail a trouvé un écho dans le cadre du réseau INTEROP où les problématiques de management des connaissances se transposent plus généralement à des problématiques de management de modèles.

Nous allons chercher à étendre le domaine d'application de la méthode définie par S.Ammar-Khodja pour arriver au déploiement d'un système à base de connaissances pour voir dans quelle mesure, le travail d'analyse et de pilotage de ce type de projet va faciliter le transfert d'un domaine d'application à plusieurs autres domaines. Ainsi, une nouvelle thèse a débuté en début 2007, en partenariat avec le CETIM, sur la mise en place d'un système générique d'ingénierie numérique support à la maîtrise des processus d'entreprise étendue par une exploitation statique et dynamique des connaissances pour l'aide à la décision. L'ensemble des démarches et outils proposés (tant sur l'aspect maîtrise d'œuvre que maîtrise d'ouvrage) va pouvoir être testé et appliqué dans un autre contexte en cherchant à valider la robustesse des propositions et à compléter les aspects plus faibles ou manquants.

De plus, ces environnements ne reflètent pas encore les nouvelles structures d'organisations qui peuvent apparaître dans le cadre de réseaux virtuels. Il devient donc nécessaire de trouver des biais pour valoriser et récompenser les acteurs qui mettent en œuvre ses nouveaux réseaux, tout en facilitant leur établissement et leur activité. Ainsi les approches d'extraction automatique de connaissances depuis un corpus de documents, associées à des métriques de mesures de distances sémantiques permettraient de proposer à l'utilisateur des sources d'informations ou réseaux d'acteurs vers lesquels il pourrait contribuer mais aussi tirer profit.

Comme je l'ai déjà indiqué, j'ai participé à deux réseaux d'excellence VRL-KCiP[2] et INTEROP[3] dans lesquels j'ai travaillé sur des aspects de manipulation, d'intégration et d'interopérabilité des connaissances. Le réseau INTEROP, qui s'est terminé en mai 2007 a trouvé une continuité dans le cadre du Laboratoire Virtuel INTEROP, dans lequel j'œuvre au niveau du Pôle Grand Sud Ouest qui regroupe 13 partenaires français du grand ouest (académiques et industriels) autour de problématiques d'interopérabilité. De plus, c'est autour du thème de l'*Analyse de performance basée sur le management des connaissances* que le CNRS a financé depuis 2004 une collaboration avec l'équipe du Professeur Du Preez du Global Competitiveness Center (Université de Stellenbosch - Afrique du Sud). Nous avons envoyé 6 stagiaires et Masters chez

[2] Virtual Laboratory in Knowledge Community in Production, 6ième PCRD

[3] Interoperability Research for Networked Enterprises Applications and Software, 6ième PCRD

eux et j'ai pour ma part effectué 3 séjours à Stellenbosch . Cette collaboration ainsi que celles effectuées dans les deux réseaux d'excellence m'ont permis de proposer, comparer, échanger avec de nombreux partenaires aux domaines, approches et points de vue différents. Enfin, c'est dans le cadre du réseau AIP Priméca d'une part et du GDR MACS d'autre part (groupes Ingénierie des Systèmes de Conception et Conduite du Cycle de vie produit - IS3C et Connaissances et de Compétences dans les Entreprises Industrielles - C2EI), que ces travaux ont principalement été présentés et débattus.

Un second facteur d'amélioration des performances industrielles consiste en la maîtrise des coûts, dans le processus de décisions techniques (conception du produit ou de son processus, prise de commande de produit). La mise à disposition des informations relatives aux coûts devient donc un facteur décisif dans le succès et le maintien de la compétitivité des produits et des processus qui les réalisent. Comme précédemment, nous nous orientons vers le développement d'environnements numériques qui font le lien entre les méthodes d'évaluations économiques et les données techniques. Ainsi, les ingénieurs peuvent évaluer, simuler ou piloter l'impact des décisions sur les aspects économiques. Cependant, l'étendue et la difficulté du problème imposent de rester humble dans les revendications.

Ainsi cette partie peut être vue comme une application, dans le domaine spécifique de l'évaluation économique, des approches de développement de systèmes à base de connaissances, qui visent à intégrer des approches d'experts en gestions utilisables et compréhensibles pour des ingénieurs. Ce point de vue de l'ingénieur, sur les besoins d'informations liés aux coûts, a fait évoluer notre réflexion vers une notion plus complète : la notion de valeur. Cette dernière est pivot entre les concepts de coûts et de prix, mais surtout, elle dépend des parties bénéficiaires et a une incidence et une résonance différente selon le point de vue utilisé. Ainsi, de l'évaluation d'entité de valeurs, sommées au cours des processus d'ingénierie ou de production, il est possible d'envisager la mesure et la simulation de la chaîne de valeur associée. Et donc, comme dans les approches de Lean Manufacturing, la recherche d'optimisation de cette chaîne de valeur peut être envisagée.

Cette proposition, bien que s'appuyant fortement sur les compétences d'experts en sciences de gestion comme P.Mévellec (LEM – IAE Nantes) ou V.Giard (LAMSADE – Dauphine), se démarque de leurs approches par la volonté de fournir un environnement intégrant, dans le métier quotidien, les indicateurs et les évaluateurs de coûts ou de valeur. L'objectif est de donner à cette évaluation un rôle pilotant dans la prise de décisions, et non plus une simple résultante des choix techniques pris. Nos travaux de recherche ciblent l'évaluation lors du choix conjoint produit / processus. Notre apport se distingue par notre évolution vers l'évaluation de la valeur plus que du coût. Ainsi nous sommes proches du travail de B.Yannou (LGI) sur cet aspect de valeurs quand l'essentiel des recherches sont menées sur l'évaluation des coûts des systèmes de production (Vallespir au LAPS et Tahon au LAMIH), des coûts de fin de vie de produit (M.Bigand au LGIL), des coûts en conception et en innovation (Boly à l'INPL et Brissaud au G-SCOP/3S).

Ainsi pour aborder ce thème nous avons commencé par proposer une approche d'intégration des inducteurs de coûts dans un environnement de développement et d'industrialisation de pièces de fonderies (thèse Delplace 2004). Cet environnement a été construit sur la base de l'expression des

processus de l'entreprise en récupérant l'ensemble des inducteurs de coûts dans une application de devis qui pilote tous les paramètres opératoires du processus de production. Cette approche a proposé une démarche d'agrégation des données économiques pour les comparer, à différents niveaux de pilotage, aux objectifs de l'entreprise. L'environnement numérique développé a intégré la démarche d'industrialisation des pièces en CAO, tout en alimentant l'application de devis des pièces à industrialiser et obtenir, au final une information réaliste sur la part bénéficiaire ou déficitaire de la commande proposée. Ce travail a été complété par le DEA de Melle Mauchand visant à proposer un modèle générique d'évaluation des coûts en fonderie et à l'intégrer dans un système expert dédié au calcul des coûts de procédés (Mauchand 2003).

Une seconde étape dans ce thème a constitué à s'intéresser aux méthodes de calculs des coûts largement dépendant des phases de développement des produits (Thèse Mauchand 2007). Ainsi les données nécessaires en avant projet permettent d'alimenter des approches paramagnétiques ou analogiques, mais le raffinement d'information nécessaire au calcul fin ne peut être atteint souvent que trop tard par rapport aux décisions effectivement mises en œuvre. Ainsi, un second travail, dans le domaine de la microélectronique, a-t-il été entrepris afin d'uniformiser les données et structures d'informations nécessaires pour passer d'une méthode à l'autre. Ce travail, tel qu'initié et orienté à son début, n'a pu se terminer suite à un dépôt de bilan de la société support à la thèse CIFRE. Sur un support de budget propre de l'équipe et en collaboration avec les collègues du LGIPM, il s'est orienté vers le concept de valeur et sur son évaluation. Cependant il a proposé les premiers éléments d'un modèle générique d'uniformisation des méthodes d'évaluations, non pas sur tout un cycle de vie, mais sur les différentes mailles des produits en microélectronique, qui vont de la micro-puce au système complet (exemple téléphone portable). Ce travail a été complété par une étude de Master (Hongyang 2005) concernant le déploiement de méthodes de calculs des coûts, au long du cycle de vie produit, et en essayant d'extraire les informations utilisables et transposables, d'une approche à l'autre, pour suivre l'évolution des définitions du produit et de son processus.

Enfin, fort de l'expérience de Melle Mauchand sur le domaine de la fonderie, pour commencer, puis de la microélectronique, nos réflexions nous ont amené vers le constat que la valeur jouait un rôle trop souvent négligé, alors qu'existent des approches d'analyse de la valeur en conception ou dans le cadre du Lean Manufacturing pour la production. Ainsi, dans la cadre de la poursuite du travail de thèse de Melle Mauchand, nous avons cherché, dans ce troisième volet, à évaluer la valeur, en commençant par la définir et par proposer une première série d'inducteurs de valeur. Une fois l'entité évaluable, en parallèle de la définition du processus de production d'un produit, on peut modéliser la chaîne de valeur associée et donc en évaluer sa valeur globale. Ainsi, il devient possible de simuler des alternatives de solutions, et donc de rechercher un compromis solution technique / valeur globale (ou chaîne de valeur), pour proposer des solutions produit / processus qui soient conscientes des impacts qui en résultent. Le développement d'un environnement de simulation (basé sur Aréna) permet de jouer différents scénarii et d'en sélectionner le ou les plus pertinents. Cette approche va être reprise par V.Vergara dans le cadre d'une thèse sur l'impact des intégrations verticales des organisations. D'autre part, une partie de la démarche fait l'objet du cadre d'application du Master de A.Radouanne chez Airbus Saint Nazaire sur le déploiement et l'analyse des performances de l'atelier de protection panneau de fuselage composite.

Dans le cadre de ces travaux, nous avons profité de la proximité de P. Mévellec (IAE de Nantes) pour nous enrichir de son expérience et de ses conseils pour aborder ces problématiques au

croisement des sciences de gestion et des sciences pour l'ingénieur. Ainsi, c'est à l'occasion d'une université d'automne AIP PRIMECA que nous avons organisée ou de journées thématiques du GDR MACS qu'il est intervenu pour éclairer notre communauté sur son point de vue relatif aux approches d'évaluations économiques. Enfin, nous avons eu l'occasion à plusieurs reprises, d'échanger avec le Professeur Rajkumar Roy (Université de Cranfield), à l'occasion de plusieurs sessions spéciales sur le thème du Cost Engineering qu'il a organisées, sessions auxquelles il nous invite systématiquement depuis 2003, et qui se concrétisent par une proposition d'article pour le Journal of Engineering Design, special issue on Cost Engineering, piloté par R. Roy.

Cependant, il reste encore beaucoup à faire, à savoir, finaliser la mise en adéquation des méthodes d'évaluation économique en fonction des phases du cycle de vie produit et fournir une plateforme d'évaluation permettant, sans re-modéliser à chaque étape, de passer des approches par analogies (avant projet et faisabilité) à celles analytiques par activités (en production) puis reprendre des approches paramétriques pour évaluer les coûts d'usage et de fin de vie. Cette plateforme d'évaluation du coût global de produit (et de ses processus) servirait alors de base à la bascule vers l'évaluation de la valeur qui pour le moment est réduit aux activités de conception produit / processus et se limite aux évaluations des phases de productions. Les aspects de valeur non tangibles (perceptifs par exemple) ou ceux d'usage et de fin de vie méritent d'être évalués pour proposer une valeur globale de produit pendant au coût global de possession.

En conclusion de ce rapide tour d'horizon, mes différentes implications et collaborations se sont concrétisées par trois dépôts pour l'appel à projet RNTL de l'ANR en Mars 2007 (dont deux ont été labellisés par le pôle de compétitivité EMC2) et la participations à la rédaction de projets pour les appels ICT du 7^{ième} PCRD. Les différents sujets et thématiques abordés relèvent des approches de gestion des connaissances, d'intégration des connaissances et/ou d'agrégation et d'évaluation d'informations et de la valeur pour l'amélioration des performances.

C'est sur la base de ce constat que j'aborde ce document de synthèse des activités d'enseignement, d'encadrement et de recherche que j'ai menées, pour prétendre à l'habilitation à diriger des recherches.

Ainsi, ce document est structuré en trois parties :

- La première partie présente mon curriculum vitae, mes activités pédagogiques et la synthèse des apports dans mes activités de recherche et d'encadrement.
- La seconde partie regroupe les thématiques de recherches menées, les collaborations et le projet de recherche que je propose. Cette partie débute par une rapide présentation de mon travail de thèse dans le domaine des matériaux et des procédés. La mise en perspective de ce travail dans le cadre des thèmes actuellement abordés illustre la reconversion thématique effectuée. Elle sera conclue par des perspectives de recherche associées aux deux thèmes que je revendique dans ce document.
- Enfin, la troisième partie regroupe des tirés à part de certaines de mes publications personnelles majeures.

Première Partie

Synthèse des activités

Curriculum Vitae

Etat Civil

Nom : **PERRY**
Prénom : Nicolas
Naissance le 12 Août 1971 à Brest
Nationalité : Française
Situation de famille : Divorcé, 2 enfants
Fonction : Maître de conférences 60ième Section, 5ième échelon

Adresse Professionnelle :
Ecole Centrale de Nantes
1, rue de la Noé - BP 92101
44321 Nantes Cedex 03 France
email : nicolas.perry@irccyn.ec-nantes.fr
tel : 02 40 37 16.71
fax : 02 40 37 25 36

Fonctions actuelles

- Responsable de l'Option Développement des Produits et Systèmes Industriels de l'Ecole Centrale de Nantes (option de troisième année)
- Responsable de l'Equipe Ingénierie Virtuelle pour le Génie Industriel au sein de l'IRCCyN

Formation

1997-2000 Thèse de Doctorat de l'Ecole Centrale et de l'Université de Nantes, soutenu en juin 2000. ***Etude et développement de flux solides pour le soudage ATIG appliqué aux alliages de titane et aux aciers inoxydables,*** au Laboratoire de Mécanique et Matériaux de l'Ecole Centrale de Nantes sous la direction de S.K.MARYA, mention Très Honorable avec Félicitation. Discipline : Sciences de l'Ingénieur, Spécialité : Génie Mécanique.

1996-1997 D.E.A. Génie Mécanique, LMM, Ecole Centrale de Nantes

1993-1996 Ecole Normale Supérieure de Cachan
1996 : Agrégation de Génie Mécanique (rang 6)
1995 : Maîtrise de Technologie Mécanique (Université de Paris VI – ENS Cachan)
1994 : Licence de Technologie Mécanique (Université de Paris VI – ENS Cachan)

….-1993 Baccalauréat E – Mathématique Supérieure et Spéciale Technologique (Lycée les Eucalyptus, Nice)

Expérience Professionnelle

2006-… Responsable de l'équipe Ingénierie Virtuelle pour le Génie Industriel
2006-… Responsable d'Option Disciplinaire Dév. Des Produits et Systèmes Industriels de l'ECN

2001-… Maître de conférences, Ecole Centrale de Nantes, Dpt. Ingénierie des Produits et Systèmes Industriels,

2000-2001 Professeur Agrégé, ENSAM CER Châlons en Champagne,

1997-2000 Moniteur à l'Ecole Centrale de Nantes, Dpt. Matériaux,

1996-1997 Vacataire, IUT d'Angers, antenne de Cholet, Dpt. GMP,

Activités d'enseignement

Au travers de mes expériences d'enseignant vacataire (en IUT GMP), d'allocataire moniteur (au département mécanique et matériaux de l'Ecole Centrale de Nantes), de professeur agrégé (au CER ENSAM Châlons en Champagne ou à l'ITII[4]) et enfin de Maître de conférences (au département Ingénierie des Produits et Systèmes Industriels), j'ai été amené à enseigner trois domaines complémentaires de la productique que sont :

- le Génie Mécanique au travers de la conception, le dimensionnement, la production de pièces mécaniques par différents procédés,
- la Mécanique et les Sciences des Matériaux dans des cours de mécanique de métallurgie et de procédés spéciaux,
- l'Organisation Industrielle et le Génie Industriel par le biais d'enseignements de gestion de projet, gestion de production, gestion des connaissances, modélisation et pilotage de systèmes industriels et de leurs systèmes d'informations.

Ces différentes facettes permettent d'illustrer le constat qu'un produit (ou service), pour atteindre sa cible industrielle (technique et commerciale), doit être conçu intelligemment, réalisé efficacement, dans un environnement organisé et ce de manière pérenne, réutilisable et économiquement rentable.

Il est alors possible de faire le lien Produit Procédé Matériaux (entre autre renforcé par mon expérience dans les métiers du soudage et de la fonderie) tout au long du Cycle de Vie du Produit en anticipant au plus tôt la fin de vie et les contraintes environnementales tant au niveau du produit que celui du processus de production. Or, seule une bonne maîtrise de toute l'organisation associée à la mise en place de démarches de « capitalisation et partage » d'expertises et donc de connaissances, permettent d'innover et de maintenir la compétitivité des produits et des processus de production. Ces derniers points viennent s'enrichir et s'illustrer des activités de recherche que je mène sur ces sujets (formalisation / capitalisation des connaissances, modélisation et gestions des modèles distribués, évaluation économique en ingénierie).

D'autre part, mon recrutement au département Génie Mécanique et Productique de l'Ecole Centrale de Nantes en 2001 a coïncidé avec le recrutement d'un Professeur des Universités (A. Bernard) avec pour objectif de développer des enseignements de génie industriel. Nos propositions, réflexions et contributions respectives ont abouti à modifier la maquette pédagogique de l'option (dans un premier temps) puis du tronc commun école dans un second temps. Sur ce dernier, nous avons contribué au développement d'un module d'enseignement d'approche système (40H) en tronc commun école de première année et un module d'organisation et gestion de systèmes industriel (20H) en tronc commun école (dont j'ai la responsabilité). En option de troisième année, nous avons proposé une variété d'enseignements d'un volume de 100h, abordant et traitants des thèmes tels que les systèmes d'informations, la modélisation et le pilotage d'entreprise, la gestion des connaissances ou la logistique. L'option et

[4] Institut des Techniques d'Ingénieurs de l'Industrie, formation par apprentissage réalisée en convention avec des établissements d'enseignement supérieure. ITII Pays de la Loire avec entre autre l'ECN, ITII Champagne Ardennes avec entre autre l'ENSAM de Châlons en Champagne.

le département ont évolué, dans leurs noms et leur schéma pédagogique. La nouvelle option, *Développement de Produits et de Systèmes Industriels*, propose en troisième année :

- un tronc commun de 350H en partie commune avec le Master Mécanique Appliquée dont 150H sont dédiées à un projet de conception intégrée commun à toute l'option, j'en assure une partie de la responsabilité administrative et pédagogique,
- une filière *Développement de Produits et Industrialisation* de 150H qui s'intéresse aux phases amont du cycle de vie produit (de l'idée au produit industrialisé),
- une filière *Développement de Systèmes Industriels* de 150H qui s'intéresse aux phases aval du cycle de vie produit (de l'industrialisation à la fin de vie).

L'essentiel des nouveaux enseignements développés depuis 2001 sur le thème du génie industriel sont en co-responsabilité avec A. Bernard, ou de ma propre responsabilité.

L'intérêt des étudiants vers ces nouveaux enseignements, orientés systèmes industriels, nous font encore envisager des évolutions de maquette pédagogique que je ne détaillerai pas ici. Une naturelle conséquence de mon implication dans le département d'enseignement se concrétise par ma prise de responsabilité de l'option Développement des Produits et Systèmes Industriels de l'Ecole Centrale de Nantes.

La suite présente mes interventions pédagogiques sur ces dix dernières années.

Activités d'enseignement

2001-… Maître de conférences à l'Ecole Centrale de Nantes

Dpt. Ingénierie des Produits et Systèmes Industriels – Option Développement de produits et Systèmes Industriels

- **Tronc commun première année**

Conception Mécanique de Produits Industriels (éq. péd. : 5) 70H (TD TP)
TD-TP et Projet de bureau d'étude sur planche et CAO (Solidworks)

Production Mécanique Industrielle (éq. péd. : 8) 48H (TD TP)
TP de fabrication mécanique sur machines conventionnelles, sur CN CFAO (TopCam) et préparation des usinages et en soudage

Management de projet (éq. péd. : 6) *jusqu'en 2005* 8H (TD TP)

Approche Système (éq. péd. multidisciplinaire : 8) *jusqu'en 2005* 12H (TD / Projet)

- **Deuxième année**

Organisation et Gestion de Systèmes Industriels : Responsable pédagogique depuis 2006
Initiation à la gestion de production, aux méthodes et outils 20H (C TD TP)

Projet de Conception et Fabrication (éq. péd. : 10) *jusqu'en 2005* 40H (Projet)
Conception et réalisation d'un ensemble conçu par les étudiants (encadrement en phase de conception et de réalisation), en option DPSI jusqu'en 2005.

- **Troisième année : Option Développement de Produits et Systèmes Industriels**

- TRONC COMMUN OPTION

Projet de Conception Intégrée : Responsable (eq. péd. : 12) 150H / élève
Projet par équipe de 6 à 8 de conception / réalisation d'un prototype / industrialisation d'un système complexe. Responsabilité de gestion et d'organisation du projet, intervention comme expert industrialisation.

Modélisation et Pilotage d'entreprise : Co-responsable 10H (C TD)
TD et TP sur les méthodes et outils de modélisation

Produit et Procédés : Co-responsable 15H (TD TP)
TD et Projet sur une analyse de produit au travers des axes PPM
Encadrement d'Elèves Ingénieur en Travail de Fin d'Etudes 3 à 4 par an

- Filière Développement de Systèmes Industriels
Logistique : Responsable 20H (C TD)
Cours TD TP sur la Chaîne logistique, approche par flux, externes et internes …
Gestion des Systèmes Industriels : Co-Responsable 20H (C TD)
Cours et projets pour approfondir les méthodes de gestion de production
Système d'information : Co-responsable 10H (C TD)
Cours TD de langage, modélisation, utilisation de plate-forme logicielle (MEGA)
Gestion des Connaissances et des compétences : Co-responsable 12H (C TD)
Cours TD TP sur les approches de formalisation et partage des connaissances

2000-2001 PRAG à l'ENSAM C.E.R. Châlons en Champagne

Dpt. Procédés et Génie Industriel

- **Cursus général (tronc commun première année)**

Procédés d'obtention de bruts par moulage : Responsable 200H (C TD TP)
Cours TD et TP, méthodes en fonderie, conception de pièces et d'outillages, simulation
Métallurgie et contrôle des pièces de moulage : Responsable 60H (C TD TP)
Cours TD et TP, métallurgie et contrôle de pièces

- **Cursus professionnalisé (approfondissements)**

Spécialisation métier : Fonderie, procédés spéciaux et simulation 40H (C TD TP)
Encadrement de stages ingénieurs et de projets de spécialisation

2000-… ITII : Institut des Techniques d'Ingénieurs de l'Industrie

- **ITII Champagne Ardennes**

Procédés spéciaux de mise en œuvre de métaux en feuille 10H (C TP)
Cours et TP, sur les procédés à haute densité d'énergie (Laser, FE, Plasma…)
Assemblages collés 20H (C TP)
Cours et TP sur les procédés de collage, en collaboration avec la société 3M
Moulage coquille et outillage 10H (C TD)
Cours et TD, procédés, conception - dimensionnement des outillages, simulation (Simulor-Pam Cast)

- **ITII Pays de la Loire**

Conférence procédés spéciaux de mise en œuvre de métaux en feuille 8H (C TP)
Cours et TP, sur les procédés à haute densité d'énergie (Laser, FE, Plasma…)

- **Tuteur pédagogique Projet de Fin d'Etude**

N. DELACROIX, Tipiak, 2004-2005, *Implantation d'une ligne de filmage de palettes et d'une ligne de palettisation automatisée*
T. HELOURY, Ernault, 2003-2004, *Développement d'un second traînard vertical sur tours commande numérique série Rubis*
B. LEGRAND, Polysoude, 2002-2003, *Développement et prototypage d'une nouvelle tête de soudage fermée*

S. MAURER, Famat, 1999-2000, technicien qualité, responsable 6 Sigma, a réalisé une étude intitulée : *Optimiser et maîtriser la qualité du soudage automatique*

1997-2000 Monitorat effectué à l'Ecole Centrale de Nantes

TD et TP de caractérisation mécanique est sciences des matériaux (métalliques et non métalliques) (EI2 ECN) 96H (TD TP)

1996-1997 Enseignant Vacataire - IUT Cholet, Département G.M.P.

Enseignements de productique sur M.O.C.N. 96H(C TD TP)
FAO (EUCLID) et mise en œuvre sur machine outil (étudiants de première année d'IUT, issus de bac technique et productique)

1996-1999 Encadrements divers

- **Collaboration avec un Master Japonais**

T. Susuki, étudiant japonais (EHIME University) Octobre 1999-Avril 2000
Recherche d'une durée de 6 mois à l'Ecole Centrale de Nantes en collaboration avec la DCN Brest : *Etude de soudabilité Laser d'aciers inoxydables duplex austéno-ferritiques* (co-encadré avec S. Marya)

- **Encadrement de stages de technicien IUT Science et Génie de Matériaux (Nantes)**

T. LE HETTET, *Analyse des structures et recherche de pollution dans des cordons ATIG d'alliage de titane* (1997)
D. DORGE, *Arc TIG, Arc ATIG, analyse vidéo et spectroscopie* (1998)
M. FRITZ, *Soudage ATIG hybride - influence des nuances d'aciers inoxydables sur la soudabilité* (1999)
G. RUCKER, *Soudage Laser CO2 d'alliage d'aluminium - silicium avec métal d'apport* (1999)

Responsabilités Pédagogiques

- Responsable de l'option Développement des Produits et Systèmes Industriels (48 étudiants en nominal).

Voici la liste des enseignements dont j'ai la responsabilité :

- En troisième année de l'Ecole Centrale de Nantes :
  - Logistique (20H)
  - Gestion des Systèmes Industriels (20H)
  - Modélisation et Pilotage d'Entreprise – enseignement commun EI3 - Master Sciences Mécaniques Appliquées (30H coresponsabilité avec A. Bernard)
  - Connaissance – Compétences (30H coresponsabilité avec A. Bernard)
  - Projet de Conception Intégrée (150H/élève coresponsabilité avec O. Legoff)

Le projet de conception intégré fédère un groupe de 10 enseignants qui jouent le rôle d'experts dans le cadre d'une conception, du prototypage et de l'industrialisation d'un système complexe. Avec O. Legoff, nous assurons la coordination de toutes les activités proposées pour des groupes de 6 à 8 élèves. Ceci conclue l'ensemble des activités pédagogiques vues à l'école au travers d'un projet commun vécu et voulu comme une transition vers le futur métier. Ce projet est une

excellente occasion pour chaque enseignant de jauger l'impact de ses enseignements et d'envisager de les faire évoluer. Le dernier sujet traité était un système d'aide au transfert de personnes à mobilité réduite dans un véhicule léger.

- En deuxième année de l'Ecole Centrale de Nantes, tronc commun d'école (300 étudiants):
    - Organisation et Gestion des Systèmes Industriels (20H)

Responsabilités diverses

D'autre part, voici présentées par ordre chronologique mes responsabilités, à caractère non pédagogiques :

Depuis 2006	Responsable pédagogique de l'option Développement des Produits et Systèmes Industriels (DPSI) de l'Ecole Centrale de Nantes (ECN) qui voit passer un flux d'une cinquantaine d'étudiants, hors étudiants étrangers et Master. Certains enseignements sont communs au Master Sciences Mécaniques Appliquées et génèrent un flux d'une dizaine d'étudiants spécifiques en Master. Il faut les guider et les suivre dans leurs choix de modules.
Depuis 2004	Responsable de la gestion administrative de la thèse CIFRE de M. Mauchand en relation avec l'ANRT jusqu'en 2005.
Depuis 2003	Responsable des budgets du réseau d'excellence INTEROP pour notre collaboration, d'un montant de 96k€ sur 3 ans.
Depuis 2002	Responsable de la plate-forme AIP d'amélioration industrielle, constituée d'un ensemble d'outils logiciels pour modéliser, analyser et aider à prendre des décisions sur les systèmes industriels. Cette plate-forme est partagée avec des enseignements de l'IUT OGP et de Licences professionnelles.
Depuis 2001	Contact Ecole Centrale de Nantes des associations CPIM de France - GIR Ouest, et ASLOG Nantes – Angers – Rennes. Dans ce cadre nous organisons des réunions d'échanges d'expériences ou des visites thématiques d'entreprises, auxquels nous convions les étudiants intéressés.
2000 à 2001	Responsable des formations à l'étranger : zone RU – ENSAM Châlons en Champagne.
De 1997 à 1999	Secrétaire du Pôle Atlantique de Mécano soudage, association de promotion des industries du mécano-soudage dans l'Ouest regroupant des universitaires (Ecole Centrale de Nantes, ENSAM d'Angers, ISITEM de Nantes…), des industriels (Chantier de l'Atlantique, DNC Indret, Airbus, FAMAT…) et le CETIM.

Activités de Recherche

Depuis septembre 2001, mes activités de recherche se déroulent à l'Institut de Recherche en Communications et Cybernétique de Nantes (IRCCyN), UMR CNRS 6597, sous les tutelles de l'Ecole Centrale de Nantes, l'Université de Nantes et l'Ecole des Mines de Nantes. La thématique revendiquée dans ce document fait suite à une reconversion initiée lors de mon embauche comme Maître de conférences à l'Ecole Centrale de Nantes. Ces thèmes s'intègrent dans les axes de recherche définis pour l'équipe projet Ingénierie Virtuelle pour le Génie Industrielle (IVGI) créée en 2002, sous la direction du Professeur Alain Bernard, recruté comme moi à l'Ecole Centrale de Nantes et à l'IRCCyN en septembre 2001. Cette nouvelle équipe projet est née d'une restructuration générale des équipes de l'IRCCyN. Elle résulte de la division de l'ancienne équipe CMAO Productique dirigée par Ph. Wenger en trois nouvelles entités, l'équipe Méthode de Conception Mécaniques (MCM) pilotée par Ph. Wenger, l'équipe Modélisation et Optimisation de Process de Production (MO2P) dirigée par J.Y. Hascoët et l'équipe projet IVGI. Avec l'équipe Robotique, ces quatre entités forment l'axe Système Mécanique et Productique de l'IRCCyN.

Thématique de recherche

Dans l'équipe Ingénierie Virtuelle pour le Génie Industriel, la proposition de définition de la recherche en génie industriel s'articule autour de l'amélioration de la performance industrielle au travers de la mise en application des domaines thématiques divers et complémentaires, en postulant que les sujets abordés relèvent de problématiques industrielles.

A cette notion de performance se greffe tout de suite une notion de valeur qu'il est de plus en plus difficile à cerner puisque dans le cas de systèmes étendus et complexes, la valeur est partagée. De plus, avec des notions peu palpables comme les connaissances par exemple, elle devient difficilement modélisable et valorisable. Le paradigme de valeur industrielle a glissé d'un modèle financier, de biens physiques et de produits, vers une valeur intellectuelle, de connaissances, de savoirs et de savoir-faire d'entreprises.

La nécessité de piloter un système industriel passe par des exigences de modélisation. Les connaissances n'échappent pas à cette règle si l'on souhaite optimiser globalement et aligner les projets d'entreprise sur les objectifs d'efficacité souhaités. Ainsi, comme le montre la Figure 1, les thèmes de l'équipe se sont structurés autour d'un socle commun de gestion des connaissances et de deux domaines d'applications que sont l'évaluation technico-économique en conception et l'évaluation des risques par la prise en compte de l'homme lors de la conception d'un système sociotechnique (ayant participé de manière plus réduite dans ce dernier point, je ne l'évoquerai que très peu dans ce document).

A ce titre, une partie importante de mes travaux de recherche, d'encadrements et de collaborations se revendiquent d'approches d'intégration des connaissances (et donc pour partie de gestion de connaissance ou Knowledge management) et s'articulent autour de la capture d'expertise métier dans l'objectif de spécifier et définir des Systèmes à Base de Connaissances (ou Knowledge Based Systems) appliqués à l'évaluation économique.

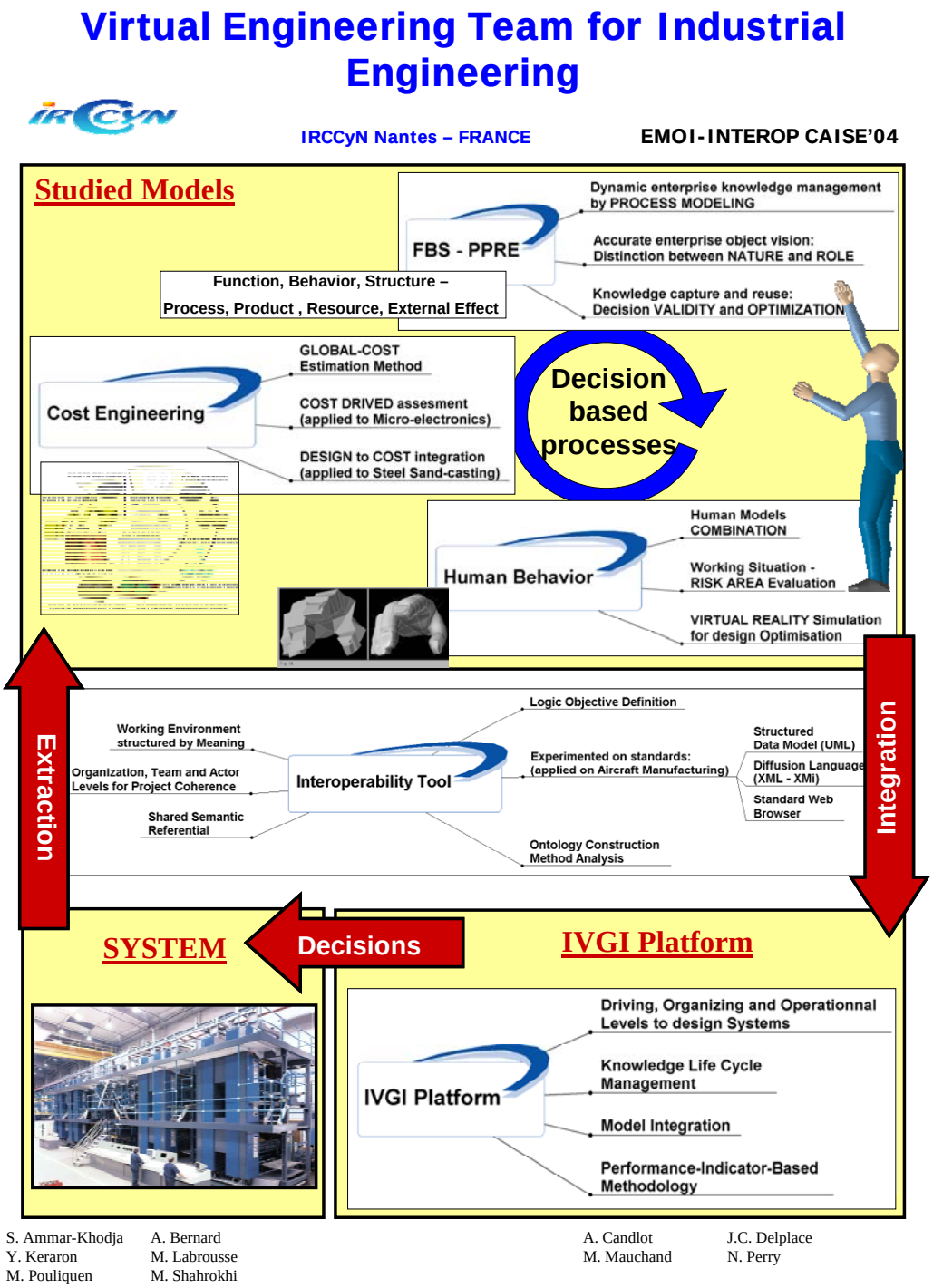


Figure 1 : Synoptique de présentation des axes de recherche de l'équipe IVGI au 05/2004

Les finalités sont :

- de capturer, formaliser et structurer cette expertise de manière optimale pour utiliser le maximum du potentiel dormant,
- d'être dynamique et agile pour intégrer les évolutions et enrichissements à venir,

- de restituer cette expertise dans un environnement intuitif, efficace et proactif par rapport aux demandes (exprimées ou non) des utilisateurs,
- d'automatiser une partie des expertises et d'optimiser l'interaction avec l'utilisateur.

L'intégration dans un système à base de connaissances doit :

- faciliter l'aide à la décision en fournissant une expertise pertinente et rapide,
- s'adapter aux évolutions des structures de travail et aux nouveaux écosystèmes ou réseaux intégrés de connaissances,
- faciliter la navigation et l'analyse des flux d'informations nombreux et dynamiques (dont on perd la notion de confiance) tout en facilitant l'interconnexion des flux,
- favoriser la recombinaison des connaissances pour aller vers une aide à l'innovation ou la création de nouvelles connaissances.

Pour ce faire, deux niveaux d'analyse ont été menés. Le premier se concentre sur l'objet même de connaissance. La préoccupation principale est de transformer les masses (de plus en plus importantes) d'informations et de connaissances non formalisées en objets manipulables et automatisables par un système à base de connaissances (environnement métier enrichi de nouveaux objets, de sémantique et de règles d'application et d'utilisation).

Le second niveau d'analyse propose de formaliser une méthode d'aide au déploiement et au suivi des systèmes à base de connaissances (identification des phases clés, propositions d'outils et méthodes pour lever les étapes verrous, mise en place de méthodes d'évaluation et de pilotage du projet). Cette démarche propose des concepts structurants pour l'analyse et le déploiement de tels projets.

En application de ce thème, les modèles économiques et la notion de valeur (triptyque coût / valeur / prix indissociable de la performance industrielle) forment un cadre particulier de mes activités de recherche et d'encadrement depuis 2001.

L'environnement industriel a glissé d'un monde de production de masse vers un monde de réflexion et de création de produits, en quantité limitée et customisés pour répondre aux demandes spécifiques de chaque client [Gra 00] [Bou 00]. Les répartitions des charges ont basculé dans des proportions identiques. La part des coûts indirects devient majoritaire par rapport à celle des coûts directs [Ber 98]. Pour valoriser l'ensemble des activités, les approches par activités ou d'analyse de la chaîne de valeur de l'entreprise permettent de sortir des méthodes caduques de comptabilité analytique[5] classiques comme la méthode des coûts complets par exemple. La place de la valeur dans le duo coût / prix prend ainsi toute son importance [Mev 98].

Cependant, les organisations peinent à instaurer des systèmes d'évaluation économique fiables. Ainsi, elles ne peuvent fournir aux ingénieurs des outillages efficaces pour évaluer économiquement l'impact de leurs décisions techniques. Pourtant, la prise en compte des aspects économiques est un des éléments d'évaluation de performance les plus critiques dans les structures d'entreprises actuelles [Gir 01]. L'évaluation et l'analyse d'inducteurs de coûts, des facteurs de valeurs et de risques, sont les briques indispensables afin de proposer des modèles

[5] La comptabilité analytique se base sur la comptabilité générale afin de présenter une image économique de l'activité de l'entreprise, à des fins de gestion. En tant que telle, elle se concentre sur le compte de résultat, sur lequel elle opère quelques retraitements permettant de mettre en exergue la rentabilité des différents centres de profit de l'entreprise ou plus généralement des composants des axes d'analyse retenus (exemples : clients, circuits de distribution, etc.)

prédictifs d'évaluations économiques s'appuyant sur l'analyse de la chaîne de valeur [Elh 05]. Cette expertise est classiquement l'apanage d'experts comptables ou de services de gestion. Mais les approches de comptabilité analytique ne sont plus adaptées aux organisations actuelles pour suivre et prédire l'impact économique des décisions prises en cours de conception [Mev 01] [Fab 91].

Pour résumer, je positionne mon travail de recherche en interface avec :

- d'un côté un ingénieur utilisateur pour lequel l'objectif est de faciliter l'accès aux connaissances et savoirs d'experts par l'intermédiaire d'outils métier enrichis ou bien d'accès aisés aux sphères d'expertises,
- d'un expert (ou d'une nébuleuse d'experts) riche de connaissances qu'il faut extraire, formaliser pour les manipuler et les partager en les intégrant dans un environnement métier adapté,
- d'un ingénieur informaticien qui développera l'environnement de travail final. Ce nouvel outil devant s'intégrer naturellement dans le processus de l'utilisateur.

Il convient alors de proposer des méthodes et outils pour :

- aider l'utilisateur à naviguer dans ces nouveaux flux d'information,
- aider l'expert à partager ses connaissances,
- structurer et traduire pour le développeur les exigences issues d'objets qui par essence sont dynamiques et évolutifs.

Ces thématiques de recherche seront détaillées dans la partie II.

A l'issue des quatre années de vie de notre équipe projet, nous proposons à notre direction de laboratoire de devenir une équipe à part entière, intitulée Ingénierie Virtuelle pour l'Amélioration de la Performance Industrielle, et dont j'ai pris la responsabilité en 2006.

Résumé des apports

Je vais succinctement résumer les principales articulations et apports des activités de recherche qui seront plus détaillées en partie II.

Deux thèmes ressortent :

- L'intégration des connaissances pour faciliter le processus d'ingénierie en conception de produits ou systèmes industriels.
- L'évaluation économique des produits et systèmes en conception.

Je vais hiérarchiser les différents apports et ne mentionner que les points apportant du sens par rapport au cadrage général mentionné précédemment.

1. Intégration des connaissances dans un environnement virtuel supportant les démarches d'ingénierie

Positionnement :

Dans le cadre présenté précédemment, il a été nécessaire de se rapprocher des acteurs de l'ingénierie des connaissances pour faciliter la formalisation et l'intégration des savoirs dans des

environnements métiers (environnement d'ingénierie numérique). Une partie importante du travail a consisté à s'approprier leurs approches et s'interfacer (au sens des échanges d'informations, de connaissances et de savoirs) avec les experts du métier, les experts en informatique et développement des applications, ainsi que les utilisateurs (experts ou non). Il a donc fallu :

- comprendre, utiliser et adapter les différentes approches, outils et formalismes,
- transformer ou adapter ces solutions pour une utilisation par l'ingénieur en conception ou fabrication de produits,
- spécifier les environnements de travail qui supporteront les démarches d'ingénierie,
- évaluer et piloter la performance des solutions mises en œuvre.

Comme je l'ai déjà évoqué, ces démarches de développement de systèmes à base de connaissances visent à : ➔ **fournir un environnement facilitant le processus de conception**.

Pour se faire il faut traduire le métier de l'ingénieur (formaliser, modéliser et structurer) puis automatiser une partie des connaissances expertes (intégrer les connaissances).

L'objectif est donc de faciliter les prises de décisions par la mise à disposition d'un d'outils d'aide à la décision pour :

- éviter le recours aux experts,
- fournir automatiquement le traitement d'une partie du processus ou les informations nécessaires à la prise de décision (connexion entre les informations pertinentes, contextualisation, identification des experts),
- justifier les aides ou propositions formulées,
- interagir efficacement avec l'utilisateur.

Afin de justifier ces démarches, il est donc nécessaire de définir des indicateurs pour mesurer les performances du projet de KBE (sa mise en œuvre et le retour sur investissement) et les améliorations liées à son utilisation. On pense trivialement alors aux :

- temps de développement de produits et de mise à disposition de produits,
- nombres d'itérations au cours de la conception / vie du système / produit,
- nombres d'erreurs apparues après les phases de conception,
- nombre d'acteurs autonomes ou le nombre de demandes aux experts,
- etc.

Notre analyse sur les solutions à mettre en œuvre a exclu les systèmes experts auxquels on peut penser. Mais par contre, une attention toute particulière a été portée sur l'interaction avec l'utilisateur dans la boucle de conception du Système à Base de Connaissances (SBC).

a. Formalisation d'expertise multiple par approches heuristiques [Rab 03]

Ce travail a constitué une première confrontation à la formalisation d'expertise, et plus précisément d'expertises multiples, issues d'un même métier. Il a été réalisé sur l'outil Descriptor© (en collaboration avec la société Adexy qui le développe). Descriptor© est un environnement d'aide à la décision qui modélise la décision par arbres pondérés et, utilises deq méthodes heuristiques pour calculer les réponses proposées (DEA Rabeau). Le cadre d'application est l'assistance au diagnostique, pour les médecins généralistes, du risque suicidaire chez les patients, en cours de consultation.

➔ Objectif : Modélisation d'expertises multiples (multiplicité des sources ayant chacun un raisonnement propre) dans un outil d'aide au diagnostique. La contrainte principale est de délivrer une assistance au diagnostique en temps réel (temps de réponse très rapide) et dynamique (s'adaptant au contexte des réponses et des axes de questionnement du praticien) pour avoir un retour en cours de consultation. Le choix des approches heuristiques offre cette dynamique sans justification de proposition de solution optimale. L'utilisateur tient une place d'analyste pour interpréter et juger de la pertinence des résultats fournis.

➔ La mise en œuvre a éclairé :

- La nécessité de formaliser la décision (de manière graphique) pour que l'expert évalue si le modèle correspond à son mode de pensée exprimé : *intégration de l'expert dans la boucle de modélisation.* Les solutions choisies ont été :
  - les taxonomies et réseaux conceptuels,
  - les arbres de décision,
  - la pondération des noeuds de décisions.
- La dépendance des modèles par rapport au modélisateur ou aux objectifs associés au modèle. Il importe donc de :
  - définir clairement les objectifs (expert(s), modeleur),
  - d'itérer et d'aligner les experts ou expert-modeleur pour atteindre des convergences communes d'objectif.

➔ Conclusions issues de cette étude :

- Nécessité de cadrer la démarche de modélisation :
  - accord entre le modeleur et l'expert(s) sur les objectifs de chacun (peuvent être différents mais exprimés et compris par chacun) : notion de point de vue,
  - validation de modèles et construction interactive avec les experts. Il en va de même pour l'interface utilisateur,
  - structuration des éléments formalisés (concepts, règles, contraintes..) : nécessité de se tourner vers des approches issues de l'ingénierie des connaissances : ontologies, bases de connaissances,
  - spécification vers les développeurs : besoin de langages communs ou d'interprétation de l'expertise pour le développeur et vice versa.

Cette étude a circoncis la place d'interface que nous prenons dans les démarches que nous prônons. Pour asseoir cette position il va nous falloir améliorer nos compétences sur les méthodes de transformation et d'intégration des connaissances (thèse Ammar-Khodja) mais aussi sur la préparation et le suivi de projets d'intégration de connaissances (thèse Candlot). Ces deux travaux se positionnent, le premier sur la maîtrise d'oeuvre d'un projet de système à base de connaissances (BDC), alors que le second se situe plus au niveau de la maîtrise d'ouvrage et du pilotage général.

b. Manipulation des connaissances et spécification de KBS : Maîtrise d'œuvre

Ce travail fait l'objet de la thèse de Melle Ammar-Khodja[6] dans le cadre du projet Usiquick (projet décrit au chapitre 3.2.2.). La finalité de ce projet est de fournir un environnement

[6] Titre provisoire : Processus d'aide à la spécification et à la validation d'application d'ingénierie à base de connaissances métier

automatisant une partie de l'expertise Dassault Avion dans le cadre de la préparation de l'usinage de pièces aéronautiques complexes afin de passer de 2 semaines à 1 journée de préparation des usinages. Les données CAO seront enrichies d'une sémantique des processus de fabrication et seront manipulées de manières semi-automatiques. E traitement se base sur les règles métier formalisées et intégrées dans l'environnement de CFAO (développé par Dassault System). Notre action sur ce projet est de suivre, piloter et faciliter le développement du système à base de connaissance spécifié par l'expert pour l'utilisateur final (Dassault Avion).

➔ Objectif : focaliser et assister les phases de transformation des connaissances depuis le bréviaire des connaissances (formalisation en langage naturel des expertises à automatiser) jusqu'à la spécification pour le développeur de l'application (statique et dynamique en anticipant la vie et l'enrichissement de la base). L'expertise à intégrer est relative au métier du gammiste dans le cadre de la fabrication de pièces aéronautiques complexes, dans l'environnement CATIA.

➔ La mise en en œuvre a aidé à construire :

- Les différentes transformation de la connaissance, jusqu'à la structuration de la base de connaissance (cycle de vie de la connaissance), s'effectuent en parallèle des phases de spécification / développement du système à base de connaissances (cycle de développement en ingénierie système ou cycle de développement logiciel). Ceci a permis de :
  - proposer une structuration croisée de ces deux cycles de vie,
  - réduire le champ des concepts utilisables et nécessaires : l'environnement CAO, pour intégrer l'application finale, impose des contraintes à posteriori.
- La méthode MOKA[7] choisie relève d'approches dédiées à la modélisation et l'intégration des connaissances en conception [CAL 98] [@MOK]. Ainsi nous avons :
  - enrichi le modèle conceptuel de la méthode pour l'étendre au domaine de la production,
  - structuré (création de l'ontologie métier) et instancié la base de connaissances (BDC),
  - maintenu et complété la cohérence : dans l'expression initiale des experts ainsi que dans les différents enrichissements (raffinements) réalisés par les partenaires,
  - contrôlé la complétude des connaissances modélisées.
- A partir de la BDC, l'outil final a été spécifié (traduction pour l'expert informaticien) et son implémentation dans l'environnement CAO a été suivi par :
  - l'intégration des contraintes logicielles dans les phases de structuration des connaissances. *Reverse développement* en exprimant les contraintes de l'outil qui impactent les règles de modélisation des connaissances,
  - la mise en cohérence (et complétude) des connaissances (spécifications) implémentées (pilotage du développement),
  - l'itération et le re-bouclage à tous les niveaux des cycles croisés de développement.

[7] MOKA : Methodology & software tools Oriented to Knowledge based engineering Applications. Cette méthode sera détaillée dans la seconde partie concernant l'état de l'art sur les approches des sciences de l'ingénierie des connaissances.

- Utilisation dynamique de l'outil : connaissances et savoirs faire ne sont pas figés. En conséquence il faut :
    - envisager dès la construction la vie et l'évolution des connaissances à encapsuler (amélioration, enrichissement),
    - fournir la justification des solutions proposées, re-parcourant la démarche de réflexion,
    - développer des scénarii d'utilisations interactifs, efficaces au vu de la construction de l'ingénierie métier (gammes de fabrications).

➔ Les conclusions issues de ce travail sont :

- Nous avons proposé une approche conjointe base de connaissances / développement logiciel. On peut ainsi :
    - anticiper les problèmes liés au développement, essentiellement liés aux contraintes de l'outil CAO (non définies initialement),
    - piloter le processus de développement et d'enrichissement.
- Pour palier les difficultés de communication entre experts de domaines différents, il est nécessaire de :
    - formaliser le domaine : utilisation des démarches à base d'ontologies,
    - faire communiquer les experts entre eux, en minimisant la perte de sens dans la représentation des connaissances : efforts de contextualisation et de maîtrise du processus de déconstruction / appropriation / reconstruction des connaissances.
- Extension de la méthode MOKA aux domaines du manufacturier.

Ce projet de spécification puis développement d'un environnement d'ingénierie numérique à base de connaissances a été l'un des cas d'analyse qui a permis de proposer une démarche de préparation et de pilotage de tels projets. Ce travail fait l'objet de la thèse de M. Candlot[8] qui est présentés ci-après.

c. Pilotage : Préparation et suivi de système à base de connaissance : Maîtrise d'ouvrage [Can 06]

Ce travail fait la synthèse des outils et méthodes déployés dans le cadre de divers projets de développement d'environnements à base de connaissances. Ces cas analysés s'appliquent dans des domaines qui relèvent de l'industrie (le projet Usiquick en est un exemple) ou des services (cas déployés par l'équipe Sud Africaine avec qui nous collaborons dans une compagnie d'assurance). Cette approche se veut générique et analyse les écueil types et les solutions potentielles, tout en proposant une assistance leur évaluation, pour préparer et mettre en œuvre un projet de manière optimale.

➔ Objectif : proposer un outillage conceptuel, méthodologique et opérationnel dans le but d'assister à la préparation, au pilotage et à la capitalisation de projets de développement de systèmes à base de connaissances.

Dans ce cadre il importe donc de fournir :

- Des moyens d'analyses (des connaissances à intégrer et de la maturité des organisations à évoluer),

[8] Titre : Principes d'assistance à la maîtrise d'ouvrage pour la modélisation et l'intégration d'expertises

- Des démarches et méthodes au croisement de l'ingénierie métier, ingénierie des connaissances et de l'ingénierie logiciel, pour utiliser les méthodes les plus en adéquations avec les phases de modélisation/intégration,
- Une structure de capitalisation pour tirer profit des expériences passées et préparer le déploiement de projet de SBC.

Les organisations (équipes, services, entreprises, réseaux) doivent se poser ces questions pour fixer les cibles efficaces de projets de gestion de connaissances :

- Stratégique : où dois-je lancer une telle action ? Suis-je assez mature pour un tel projet ?
- Opérationnelle : quelles méthodes et outils utiliser ? Comment les utiliser efficacement ?
- Durable : comment suivre et intégrer les évolutions de manière viable ?

Ce travail vise à fournir des réponses pour cette analyse.

➔ La mise en œuvre a permis de :

- Clarifier les échanges en systématisant les phases de modélisation et d'intégration par l'utilisation de **trois couples d'analyse** : *syntaxe* et *sémantique* (clarification des concepts) - *infrastructure* et *architecture* (concepts, et leurs relations, qui définissent le métier) - *domaine* (métier) et *projet* (évolution du domaine),
- Mesurer le **niveau de maturité** et le potentiel d'évolution de l'organisation appliqué au *domaine* et traduit par le *projet*.
- Systématiser les **phases de modélisations puis d'intégration** qui permettent de faire progresser d'un niveau de maturité à l'autre.

Le Déploiement s'appui sur les traces de connaissances d'entreprise (documents, réseaux conceptuels) et les outils de gestions des connaissances (spec. de développement et outils de structuration de BDC). Il est alors possible de :

- Construire le projet de SBC tout en justifiant les étapes et solutions choisies au regard de l'efficacité et des problèmes à surmonter comme :
  - l'adhésion des différents niveaux d'utilisateurs ou d'experts,
  - l'illustrations des relations de dépendances ou d'impacts des solutions choisies ou des problèmes à surmonter,
  - la création de solution durable dès sa construction,
- Suivre et piloter le déploiement au regard du chemin de projet proposé.
- Capitaliser les points forts et faibles en utilisant un formalisme et une analyse systématique identique à celle de conception du projet.

➔ Conclusions issues de ce travail :

Il a été défini un outillage d'analyse, de préparation et de suivi de projet de développement de système à base de connaissances par :

- appropriation des outils et méthodes de l'ingénierie de la connaissance appliquées à notre analyse du point de vue de l'ingénieur en conception,
- proposition de grille préparatoire, de suivi et de capitalisation des projets du même type mais indépendamment du domaine (méthode MARISKA : Methodological Algorithm for Requirement to Indicators Supporting Knowledge Activities).

Enfin, il devient nécessaire de valoriser les actions de gestion des connaissances sur les aspects de capital humain, capital structurel et capital relationnel. Ces réflexions ouvriront un pont avec le deuxième axe qui traite de l'évaluation économique ou l'évaluation de la chaîne de valeur.

d. Cas d'analyse

Divers cas d'étude et de déploiement ont été abordés :

- **Développement d'un système d'information et d'une solution CFAO intégrée, basé sur les connaissances en fonderie (thèse Delplace) [Del 04]**
  Point critique : adaptation de l'environnement dans le processus naturel de travail et aux habitudes métier. Cela se traduit par une adoption de l'outil par les utilisateurs et non un rejet. Ce déploiement révolutionne la méthode de travail en passant pour la conception des outillages du tout papier au tout numérique.
- **Intégration des connaissances en prototypage rapide : analyse de l'impact écologique des différents procédés (DEA Le Picard) [Pic 04]**
  Point clé : analyse croisée des experts prototypage rapide, environnement et énergéticien sur le cycle complet de différents procédés de prototypage. Il en ressort des préconisations de choix de processus, d'orientation de pièces et de paramètres opératoires qui minimisent l'impact énergétique global de ces procédés. Ceci devient alors une aide au choix de solution technique intégrant la facture écologique du procédé utilisé.
- **Raffinement du concept Outil Séquence Entité dans Usiquick**
  Point clé : étape de raffinement de connaissances et intégration de ces évolutions dans le processus de structuration de la base de connaissances et de spécification de l'outil final. Ceci a permis de valider les scénarii de mise à jour et d'évolution de la base de connaissances.

En conclusion de cet axe, nous avons construit une approche complète pour développer un environnement d'ingénierie numérique qui intègre une (ou plusieurs) expertise métier. Notre approche permet d'une part de manipuler des traces de connaissances (partant de formes littérales) pour les formaliser, structurer avant de les intégrer dans la solution finale. Ce niveau d'opérationnalisation des connaissances s'est accompagné de différentes approches ou outils :

- de modélisation / structuration (arbres de décisions, ontologies, MOKA, …),
- de formalisation et de représentation (UML, fiches ICAREF, réseaux conceptuels, …),
- de suivi d'intégration et de développement (analyse de couverture de domaine, de complétude, de cohérence, …).

En complément, un niveau « projet » a été étudié et outillé pour offrir une grille de préparation et de pilotage de projets d'ingénierie à base de connaissances. Il est ainsi possible d'identifier les niveaux de maturité des organisations, d'échafauder une stratégie de progression en tenant compte des écueils, des méthodes et outils existants, ainsi que des variables sur lesquels les concepteurs de tels systèmes peuvent jouer pour mener à bien le projet. La méthode ainsi proposée (MARISKA : Methodological Algorithm for Requirement to Indicators Supporting Knowledge Activities) peut aussi servir d'environnement de capitalisation et d'analyse de projets passés pour construire un référentiel propre et devenir un outils spécifique de planification et de pilotage pour une équipe se spécialisant dans cette thématique.

Le constat de manque d'outils et de méthodes efficaces pour guider l'ingénieur de conception, concernant les aspects d'évaluation économique de ses choix ou alternatives de conceptions, donne un champ d'application à ce qui a été présenté précédemment. Ce problème va être l'objet de ce deuxième axe de recherche que je vais résumer ci après.

2. Evaluation économique en conception de produits et systèmes

Positionnement

L'ingénieur en conception se trouve démuni pour évaluer l'impact en terme de coûts ou de valeur des choix techniques qu'il prend. Notre objectif est donc de :

- Développer des outils qui intègrent l'évaluation économique au cours au plus tôt en conception, basées sur le développement conjoint du produit et de son processus pour :
  - mesurer l'impact des décisions techniques,
  - rendre le paramètre coût pilotant et non plus résultat de la décision ; la solution sera alors technico-économiquement maîtrisée.
- Faire évoluer l'évaluation économique vers une évaluation plus large qu'est la valeur du produit :
  - le lien produit / process implique d'évaluer la chaîne de valeur qui porte la concrétisation du produit,
  - la généralisation de l'approche rend la tâche de prime abord immense, nous nous concentrerons dans un premier temps sur un contexte plus facilement appréhendable centré sur l'activité de production.

Cette bascule du coût vers la valeur a progressé en même temps qu'augmentait notre maturité sur les problématiques d'évaluation économique. Sans anticiper sur les évolutions à venir de ce point, il ressort que les différents points de vue, les attentes différentes derrière la notion de coût ou la multiplicité des acteurs intervenant dans cette génération du coût nous font envisager de fournir un outillage pour que l'ingénieur ait un retour sur les indicateurs de valeurs liés au système qu'il conçoit.

a. Pilotage économique en fonderie (thèse Delplace)

La thèse de M Delplace [Del 04] se décompose en deux aspects. Le premier a été rapidement présenté au point précédent (développement d'environnement d'ingénierie numérique intégrant le métier du fondeur). Le second pan de cette étude offre un outil d'analyse des références (pièces fabriquées) au regard de leur contribution à la marge bénéficiaire de l'entreprise.

➔ Objectif : mesurer l'impact des prises de commandes (quantité et coût/prix) sur le compte de résultat de l'entreprise. Fournir un outil d'aide à la décision multi-niveaux, permettant une analyse orientée bénéfice/capacité pour les décisions de prise ou non d'un marché.
Cette structure automatique de calcul des coûts est connectée à la maquette numérique du produit et des outillages associés, ainsi qu'aux paramètres opératoires du processus de production.

➔ La mise en œuvre met en avant :

- Une approche d'évaluation à base d'activités qui structure l'application d'évaluation économique. Ce développement d'application a traduit :
  - les processus de l'entreprise,
  - les inducteurs de coûts et paramètres pilotant les coûts.
- Une interaction multi niveau :
  - opérationnel : le technicien devis connaît l'impact d'une prise de commande,
  - tactique : le responsable de production et l'équipe développement des pièces (technicien devis) assurent la compatibilité charges ressources et famille des pièces contributives,

    - stratégique : le PDG compare l'agrégation des informations sur la production à capacité définie et compare avec son point d'équilibre financier et ses objectifs de production et de croissance.
- Le pilotage du processus de production : les paramètres opératoires fixés dans le devis (conformément aux objectifs de coûts associés), pilotent la mise en production des pièces (cadences, outillages spéciaux, conceptions des moules,…)
- l'interopérabilité entre l'outil de devis et le déploiement de la maquette numérique sur tout le cycle du produit (industrialisation et production).

➔ Les conclusions, que l'on peu retirer de ce travail, sont les suivantes :
- Définition et structuration du système d'information pour supporter l'analyse coûts utilisant une méthode à base d'activités.
- Interaction naturelle dans le processus d'industrialisation avec les activités de costing (lien entre la CAO et les outils de devis et de bilan financier).
- Agrégation multi-niveaux du coût pour donner une visibilité :
    - sur un appel d'offre donné : lien direct entre le coût de production et le prix proposé au client (négoce en conscience),
    - sur une période donnée, un portefeuille client ou pour un client régulier : vue globale des bénéfices ou pertes,
    - sur le compte de résultat global de l'entreprise : positionnement par rapport aux objectifs de productions et de marge fixés ; adéquation entre la charge et les ressources disponibles.

Cependant, ce travail reste focalisé sur l'évaluation et la valorisation du coût de production, sans intégrer les phases de développement ni même offrir d'autre centre d'intérêt que le coût.

b. Intégration en micro électronique

Melle Mauchand s'attache depuis son DEA à mettre des expertises issues des sciences de gestions à disposition des ingénieurs [Mau 02]. Cette partie est réalisée dans le cadre d'une thèse CIFRE, en collaboration avec une société innovante de développement de logiciels spécifiques pour le costing / pricing de produits microélectroniques.

➔ Objectif : intégrer dans un même outil l'expérience de trois solutions précédemment développées pour la société ST Microélectronique. Chaque logiciel focalise sur un type de produits (de la puce à la carte, jusqu'au système électronique complet) associé à une approche d'évaluation particulière. Il faut donc, dans un premier temps, uniformiser les différentes méthodes pour fournir un environnement capable d'évaluer tout système microélectronique. En parallèle, cette solution doit pouvoir modéliser tout système de production et donc s'extraire du monde de la microélectronique vers le monde de la production au sens large.

➔ La mise en œuvre a contribué à proposer des méthodes de :
- Formalisation de savoirs d'experts encapsulés dans des logiciels : la démarche est identique à celle d'Ammar-Khodja, mais la masse documentaire est constitué du logiciel, de son fonctionnement et des lignes de code. Il faut alors re-exprimer les savoirs implémentés par une démarche de reverse développement et recréer, a posteriori, les règles, la structure et globalement la base de connaissances et d'entités manipulées (logiciels mal ou pas documentés, règles peu justifiées).

- Mise en commun : intégration et alignements de modèles.
- Mise en avant des manques pour un niveau de généricité souhaité.

➔ Les conclusions que nous avons tiré de ce travail inachevé (suite au dépôt de bilant de la société support à la thèse CIFRE) :

- Impératif de méta modèles communs : concepts, structures et définitions (déjà constaté en intégration de connaissances) :
  - permet d'assurer la complétude / cohérence adéquation : ontologie,
  - comparaison et sélection des règles, modes de calculs, inducteurs de coûts, etc.
- Démarche d'analyse ascendante pour assurer la cohérence du modèle commun avant de passer par un déploiement et une validation descendante :
  - nécessité de clarification et de justification des objets manipulés : justification proposées par Candlot.

Ce travail n'a pu se mener jusqu'au bout pour des raisons indépendantes au travail de thèse. Cependant, les travaux réalisés ont montré les limites de la notion de coût pour représenter un indicateur optimal pour l'ingénieur. En effet, les acteurs intervenant dans le cadre de la conception d'un produit sont multiples. Tous ont une vue particulière du produit. La notion de valeur bien que floue sur certains aspects, fédère les centres d'intérêts de chacun et est déjà largement abordée au travers de méthodes de conception basées sur l'analyse de la valeur. Pour atteindre une valeur cible, il importe d'assurer un processus qui lui même va générer de la valeur. Nous basculons donc sur une analyse et une modélisation des chaînes de valeurs plus que des coûts de conception / production

c. Simulation des chaînes de valeur d'entreprise

C'est sur la base de ce constat que se poursuit le travail de Melle Mauchand en collaboration avec A.Siadat (LGIPM - ENSAM Metz).

➔ Objectif : proposer une intégration dans les outils de conception de l'évaluation de la valeur d'un produit et donc de la chaîne de valeur qui le supporte. On souhaite avoir la possibilité de comparer des solutions techniques (du produit ou de son processus) au travers d'indicateurs coûts / valeurs / résultats techniques / ....
Nous restreignons cet objectif très ambitieux à la simulation de la chaîne de valeur de production dans un premier temps.

➔ La mise en œuvre permet de proposer :

- Un modèle de valeur intégrant coûts / délais / qualité / vues parties bénéficiaires en cohérence avec le modèle FBS PPRE proposé par Labrousse [Lab 04] :
  - un méta modèle de valeur est proposé,
  - seuls les indicateurs de valeur tangibles sont pris en compte,
  - le domaine est restreint à la conception du système de production.
- Un simulateur de chaîne de valeur pour comparer des scénarii de paramètres ou processus alternatifs, en couplant avec un outil de simulation (Arena©).
- Une application de la démarche d'analyse systémique proposée par Candlot pour définir le domaine et son projet d'évolution.

➔ Conclusions :
Ce travail est le début d'un processus de construction d'outillages permettant au plus tôt en conception de produits de cibler des objectifs de valeurs (client, fournisseur, entreprise…). A la fin du travail il sera possible de modéliser le processus de production, de définir ce qui est sous-tendu par la notion de valeur (pondération des facteurs influents) afin d'optimiser les paramètres de conceptions du processus.

L'ensemble de ces travaux est détaillé en seconde partie, l'objectif de ce résumé (un peu aride) est de faire ressortir :

- L'utilisation d'approches d'ingénierie de la connaissance adaptées au monde de l'ingénieur,
- L'effort de formalisation et de structuration des éléments manipulés, ainsi que de la définition de méthodes pour les manipuler (principalement à l'usage des développeurs informatiques qui restent déconnectés des domaines métier à intégrer),
- La nécessité de valoriser la valeur créée au cours de la transformation physique du produit, mais aussi au cours de la transformation et l'enrichissement des connaissances (individuelles et collectives).
- D'assurer une robustesse dans la mise en œuvre aussi qu'une durabilité des solutions proposées.
- L'articulation entre les différents travaux et le couplage entre les aspects de gestion des connaissances et leur application dans un cadre spécifique d'évaluation économique.

Prime d'Encadrement Doctoral et de Recherche

Je suis titulaire de la prime d'encadrement doctorale depuis septembre 2005.

Collaborations Internationales

1. 5ième PCRD Projet Européen EVEN[9] : European Virtual Engineering Network (2001 à 2003)

Le réseau thématique EVEN regroupe 13 partenaires européens [@EVEN1]. Il vise à créer un institut virtuel autour des thèmes de la conception et du développement de produits. La cible de ce réseau est d'informer les PMI-PME des possibilités, outils et méthodes liés à l'ingénierie virtuelle et de démystifier l'accessibilité de ces approches. Ce réseau vise à donner accès aux connaissances et aux instituts supports relatifs à l'utilisation d'outils et technique d'ingénierie virtuelle qui contribuent à l'amélioration de la compétitivité des entreprises.

Mon implication dans ce réseau a constitué à l'établissement d'éléments de diffusion de connaissances autour des thèmes de l'ingénierie virtuelle. Il a entre autre été créé :

- un glossaire décrivant les principaux thèmes de l'ingénierie virtuelle,
- une formalisation du cycle de développement de produits, des outils et méthodes qui peuvent supporter chacune des phases,
- la réalisation d'un questionnaire d'autoévaluation des PME-PMI pour effectuer un benchmarking de leurs compétences sur ces domaines,

[9] http://even.tchpc.tcd.ie

- des illustrations par l'exemple d'applications d'ingénierie virtuelle dans le cadre de la fonderie [D.2003.3].

L'essentiel des actions a eu pour objectif la diffusion auprès des PMI-PME par de la communication sur les méthodes, outils et cas d'étude, ainsi que par l'organisation de workshops de diffusion (*Ingénierie Virtuelle : Outils et méthodes* en Novembre 2002 et *Intégration numérique en développement de produits* en Octobre 2003 [@EVEN2]). Je me suis impliqué dans l'organisation du meeting de clôture du projet en décembre 2003 dont nous avons eu la responsabilité.

Les contacts et relations prises dans ce réseau nous ont permis de retrouver un certain nombre d'entre eux dans le réseau d'excellence VRL-KCiP (voir page 42).

2. Echange CNRS-NRF - Afrique du Sud[10]

Depuis 2003, l'équipe IVGI est financée par le CNRS pour renforcer une collaboration avec le Global Competitiveness Center de l'Université de Stellenbosch en Afrique du Sud avec le Professeur N. Du Preez. L'objet de cet échange est l'***Analyse de performance basée sur le management des connaissances***. Les échanges ont entre autre porté sur les approches de construction d'ontologies pour représenter les réseaux conceptuels, la méthodologie d'aide au projet innovant supporté par le roadmapping et la gestion documentaire, et sur les écarts de méthodes de travail liés aux différences culturelles. Ce financement de deux ans a été reconduit pour la période 2005-2006. Ces échanges ont permis :

- pour ma part d'effectuer deux séjours de 15 jours chacun en janvier 2004 et en février 2005, et d'envisager d'y retourner pour la prochaine période en 2007,
- de recevoir à l'IRCCyN par trois fois des chercheurs du GCC pendant deux semaines en juin 2004, juin 2005 et mai 2006,
- d'envoyer des élèves de troisième année de l'Ecole Centrale de Nantes en TFE en Afrique du Sud (7 depuis 2002 au rythme d'au moins 1 par an sur des périodes de 4 à 5 mois) :

  2002 : V. Polliot : Roadmapping and Asset Management / A. Candlot : Integrated Management and organisation of taxonomy
  2003 : M. Kraft : Eden for Six Sigma and PERA integration / M. Renou : Roadmapping and knowledge management
  2004 : C. Debully : EDEN Deployment and use, a knowledge management tool
  2005 : J.B. Théard : Ontology for change management
  2006 : A. Le Bihan : Roadmaps application comparison, Best practices analysis
  2007 : P. Rauffet : Document analysis and automatic concepts extraction

En terme de recherche, les échanges ont portés sur la gestion des connaissances pour faciliter l'innovation. Les thèmes de travail (non développés plus avant) ont été :

- la formalisation de la « Roadmapping Methodology » développée au GCC. En conséquence, nous avons participé à la spécification d'outils supportant l'approche de Roadmapping (EDEN et WebEDEN),
- l'utilisation de réseaux conceptuels pour naviguer dans des masses documentaires et faire apparaître les connexions non triviales. Ceci a servi à définir les fonctionnalités et modes d'utilisation des outils développés en complément d'EDEN (TBT - Organon) pour analyser le corpus de documents contenus dans les RoadMaps,

[10] Projet coopération CNRS NRF (Afrique du Sud), Ref CNRS-DRI : 15434 (période 2003-2004) et 18384 (période 2005-2006).

- les méthodes d'extraction de concepts des documents en comparant des solutions du marché (Copernic Summeriser ou le résumé de Word), des outils de structuration de connaissances par analyse manuelle (Pc-Pack supportant la démarche MOKA) ou des outils automatiques comme CAT (conceptual analysis tool) développé en complément de la plate-forme EDEN.

Ce partenariat s'est traduit par :

- un support financier entre le CNRS et le National Research Fundation pour soutenir nos échanges avec le GCC (depuis 2004, renouvelé en 2006),
- le déploiement pédagogique de la plateforme EDEN pour les élèves ingénieurs de l'Ecole Centrale de Nantes (depuis 2002, un élève, au moins, part chaque année en travail de fin d'étude ou Master au GCC),
- une collaboration au sein du réseau d'excellence VRL-KCiP pour organiser à Nantes une session de formation sur l'outil WebEDEN en novembre 2005, ainsi que des actions communes dans le cadre de workpackages relatifs aux outils de gestion des connaissances,
- la rédaction d'articles communs (CIRP annal en 2005 [A.2005.1], International Journal of Computer Applications in Technology - Issue on: "Knowledge-Driven Product Innovation and Enterprise Management" [A.200*.1], International Journal of innovation Management [A.200*.2], Int Journal on Decision Support Systems [A.2007.5], COMA'04 Conference [CAN 04]).

3. 6ième PCRD, Réseau d'Excellence INTEROP[11]

Je suis l'interlocuteur privilégié à l'IRCCyN pour le réseau d'excellence européen INTEROP, coordonné par le LAPS sous la direction de J.P. Bourrières [@Inter]. Ce réseau fédère environ 300 chercheurs dans 48 partenaires issus de 15 pays européens, autour de problématiques d'interopérabilité d'applications d'entreprise.

L'interopérabilité est définie dans INTEROP comme « *une capacité de partenaires potentiels à établir une coopération effective, flexible, adaptable et à moindre effort* ». L'interopérabilité entre entreprises s'obtient grâce à un partage de protocoles, de règles collectives et des moyens d'accès. Ces règles, protocoles et moyens d'accès s'appliquent sur plusieurs systèmes : système de pilotage, système d'information, système opérant et système physique. Ainsi, des partenaires qui souhaitent coopérer développeront un certain niveau d'intégration entre leurs systèmes par une exploitation pertinente de leurs mutuelles capacités d'interopérer. Il est à noter que le potentiel d'interopérabilité d'une organisation, futur partenaire de différents réseaux ou écosystèmes, est le résultat d'un travail d'adaptation de cette organisation qu'elle doit réaliser, car c'est un enjeu stratégique. Ce potentiel d'interopérabilité du collectif est corrélé aux potentiels d'interopérabilité (maturité) des différents individus.

Lorsqu'elle est mise à profit, l'interopérabilité doit faciliter l'exécution des processus de pilotage et des processus opérationnels à l'échelle d'un réseau de partenaires par :

- une gestion de la coordination : synchronisation des décisions et de leur déploiement dans un processus collaboratif,

[11] Interoperability Research for Networked Enterprises Applications and Software, contrat n°IST-508 011. Ce NoE a commencé en Novembre 2003 pour 36 mois.

- une gestion du partage de moyens : applications informatiques (entre entités du réseau en ouvrant de manière contrôlée les accès à des ressources logicielles distantes) ou ressources humaines et physiques (écosystèmes collaboratifs),
- une gestion des communications.

Afin d'adresser ces problèmes, trois axes de compétences ont été identifiés. Ils portent sur la modélisation d'entreprise, les architectures et plates-formes informatiques et enfin les ontologies. Dans ce réseau, nous avons ciblé notre participation sur des actions jointes de recherche et une action d'intégration présentées ci-après.

a. La modélisation d'entreprise et de produits : JRA WP5 devenu TG1 et DEM

Le work-package 5 regroupe le Common Enterprise Modelling Framework (CEMEF). Dans ce groupe, nous avons fait la promotion des résultats du travail de M. Labrousse sur l'approche FBS-PPRE [Lab 04a] pour intégrer certains aspects dans UEML2 [G.2005.2]. D'autre part, nous nous intéressons entre autre aux aspects de management de modèles. Nous avons participé à la rédaction du délivrable 5.2 intitulé *Description of objectives, requirements and scenarios for synchronisation of different distributed enterprise models including benefits and gaps* dans le cadre du WP5. J'ai été en charge de la réfaction de la partie III, intitulé *CEMEF Framework : Synchronisation and Management of Distributed Enterprise Models Framework* [G.2005.1]. Cette approche est une alternative à l'utilisation d'UEML comme langage commun de modélisation, et vise en plus à définir les exigences, phases et outils de synchronisation de modèles existants. Ce travail a donné lieu à une communication en revue [A.2005.2].

Ce work-package s'est restructuré après 18 mois en deux task-groups dans lesquels nous collaborons : *Domain Enterprise Modelling* (DEM) et *Synchronisation of Different Distributed Enterprise Models* (TG1 : SDDEM). Nous sommes co-responsables du TG1. La maîtrise de la maturité sur les cycles de vie de modèles, de synchronisation, et les méthodes de management de modèles distribués permettent de faire apparaître les manques des solutions existantes ainsi que de proposer une démarche d'analyse de problème industriel et d'orienter vers les outils et méthodes les plus adéquats. Dans ce cadre, j'ai effectué une semaine de mobilité à l'Université de Bari pour travailler sur les aspects de management de modèles de qualité. Un second délivrable a été élaboré [G.2005.3]. Les résultats de ces deux délivrables ont donné lieu à deux tutoriaux au cours des pré-conférences IESA'06 et IESA'07[12].

Dans ce travail, nous postulons que les modélisations d'entreprise (ou d'objets d'entreprise) sont des vues de représentations des connaissances de l'entreprise. L'existence de modèles multiples, aux objectifs et langages différents nous font chercher les méthodes et outils qui permettent de supporter cette multiplicité de modèles, et d'envisager le pilotage et la maîtrise dans le but d'intégration ou d'uniformisation (au travers de synchronisation).

b. Les ontologies : JRA WP8 devenu DO

Les ontologies sont une solution envisagée pour résoudre les problèmes d'interopérabilité. Ceci passe par la définition des concepts structurants communs aux différentes applications ainsi que

[12] Frank Walter Jaekel, Nicolas Perry, Cristina Campos, TG1 tutorial IESA'06: "Use of Enterprise Models to Master Collaboration Challenges - Introduction & Motivation", France, March 2006
Frank Walter Jaekel, Nicolas Perry, Cristina Campos, TG1 tutorial IESA'07: "Modelling Regarding Interoperability for Enterprise Networks", Portugal, March 2007

l'identification, dans chaque solution logicielle, des objets et des règles qui leur sont appliqués. Ainsi nous avons participé à la rédaction d'état de l'art sur les ontologies, leurs constructions, leurs domaines d'utilisation ainsi que les technologies qui les supportent [G.2005.4]. Ceci constitue le cœur des activités menées dans le work package : *Ontology-based integration of Enterprise Modelling and Architecture & Platforms*. Ce thème est piloté par le Laboratory for Enterprise Knowledge and Systems (LEKS, IASI – CNR, Rome) et a donné lieu à la participation aux conférences Caise'04 [F.2004.1]et Caise'05 [F.2006.1].

Après 18 mois, ce work-package s'est restructuré en task-group et nous participons au thème *Ontologie Building* sous la responsabilité de P. Johannesson de KTH University.

Nos échanges et collaborations nous ont aidés à appréhender les méthodes et outils de constructions d'ontologies complétés par des utilisations ou des spécifications propres à certains domaines particuliers.

c. Actions d'intégration : WP3 support à la mobilité des membres du réseau

Je suis acteur et membre du bureau de validation des demandes de mobilité au sein du réseau. Après une première étape de mise au point des règles et processus liés à la mobilité, d'identification des thèmes et partenaires prêts à partir ou recevoir, nous avons mis en place un système de validation distribuée, suite à chaque demande de mobilité. Tout le suivi administratif est assuré par Y. Ducq au LAPS, mais je participe au groupe restreint d'évaluation des propositions et demande de mobilités.

d. Du Réseau d'Excellence au Laboratoire Virtuel

Ce réseau d'excellence a pour vocation de faire émerger une structure viable, de laboratoire virtuel (Interop V-Lab). Cette structure est composée de 10 pôles nationaux dont un chinois. J'ai activement participé au montage de la structure Interop Pôle Grand Sud Ouest regroupant des acteurs du réseau Interop (LAPS, ECN, ECL, Univ Nantes) mais aussi des universitaires du grand Sud Ouest (ESTIA, Mines d'Albi, ENI Tarbes, ENSGI, CNAM PdL) ainsi que des industriels (Sylob, EBM Web Sourcing, ADELIOR GFI). U niveau National ce réseau a été lancé officiellement le 1 décembre 2006.

A l'heure actuelle, il est l'incubateur de trois projets (ANR et pôles de compétitivité) dans lesquels je participe. Une partie du projet EPICE (exploitation, pour l'interopérabilité des connaissances d'entreprises piloté par H.Pingaud) pour l'appel à projet RNTL de l'ANR a été entre autre construit sur les échanges que nous avons eu, avec le LINA et la société SYLOB, concernant l'utilisation des ontologies comme outil de configuration semi-automatique d'ERP. Ce projet est très rapidement présenté dans le paragraphe collaboration nationales.

4. 6ième PCRD, Réseau d'Excellence VRL-KCiP[13]

Le réseau VRL-KCiP regroupe vingt-quatre équipes de quinze pays européens dont l'objectif est de créer une structure de recherche délocalisée à un niveau européen (Laboratoire Virtuel) autour de la production. Les principales thématiques de recherche sont d'une part le développement de nouveaux outils ou plate-forme pour la conception collaborative, d'autre part la modélisation de produits et de processus, et enfin les approches de gestion de connaissance pour intégrer ces

[13] Virtual Laboratory in Knowledge Community in Production, contrat FP6-507487-2, commencé en Juin 2004 pour 48 mois.

savoir produit / processus dans les plates-formes collaboratives. Le partage de stratégies, de compétences et de ressources, d'outils et de plate-forme ainsi que de partenariats industriels vise à optimiser les actions et la qualité des recherches en Europe autour du thème de la production.

Faute de temps et de disponibilité, mon implication dans ce réseau est moindre que pour INTEROP. Je vais cependant présenter les actions dans lesquelles j'ai participé :

a. Actions d'intégration : promotion de la mobilité

Le démarrage décalé de six mois de VRL par rapport à INTEROP m'a permis de partager mon expérience sur les procédures et incitations à la mobilité, ainsi que de proposer des règles et des bonnes pratiques en cours d'application. Cette contribution a participé à la tâche 12 intitulée *Encouragement of mobility* et à l'élaboration du délivrable D13 qui propose de fixer un cadre et des incitations à la mobilité.

b. Actions de recherche : gestion de la connaissance

De plus, je participe à l'action de recherche liée à la gestion des connaissances (JRA WP3 : Knowledge Management).

Une première phase de ce travail consiste à collecter et à analyser les informations sur les domaines de compétences des partenaires (liée en ce qui nous concerne au prototypage rapide : T102). Il importe plus globalement de définir les cycles de vie des connaissances ainsi traitées et les méthodes et outils pour les gérer (objet du délivrable 39 : *Models and methods for knowledge life-cycle*).

Il s'en suit la construction d'une cartographie des concepts proposés par les partenaires pour le domaine étudié (construction de conceptual-map : T103). Cette cartographie sera confrontée et enrichie avec les autres cartographies de concepts issues d'autres domaines d'expertise. Il importe alors de gérer l'intégration en accord avec les préconisations proposées dans le délivrable précédent.

Afin de supporter l'analyse des connaissances fournies par les partenaires, une confrontation des outils de capitalisation de connaissances a été menée sur la base d'analyses de corpus de documents (T104). Sur la base d'une analyse restreinte de documents issus de l'Université de Twente, de l'INPG, l'université de Stellenbosch et de l'ECN, trois outils ont été comparés (TBT/Organon, Copernic Summeriser et PC Pack). L'échange en Afrique du Sud en février 2006 a été le cadre de cette expérimentation confrontant trois expertises sur trois outils différents.

Enfin, je participe aussi à la phase de spécification du système de gestion des connaissances qui permettra aux partenaires d'accéder aux éléments formalisés et partagés (T105). Cette étape de spécification fait ressortir les exigences en infrastructures (concepts présents dans le système), en architecture (liens et relations entre ces concepts) et en fonctionnalités utilisateurs requises (processus d'utilisation et cas d'applications).

Toute cette partie interagit fortement avec les thèses que je co-encadre, et qui sont liées aux problématiques de formalisation de la connaissance et de spécification du déploiement de système à base de connaissances.

Collaborations Nationales

Réseau AIP-PRIMECA

Depuis mon arrivée à l'Ecole Centrale de Nantes, je participe au réseau AIP-PRIMECA Pays de la Loire. J'ai géré l'installation, la configuration et l'entretien d'une plate-forme de Génie Industriel, regroupant dans un même environnement des outils de modélisation (d'entreprise ou de système d'informations), d'aide à la décision, d'ingénierie des données techniques ou documentaires et d'IPAO. Cette base s'est complétée par des outils de CAO, CAO Robotique, ainsi que les logiciels supports au prototypage rapide qui sont moins en phase avec les objectifs premiers de cette plate-forme.

De plus, j'ai participé comme membre de l'équipe organisatrice à l'organisation de l'Université d'Automne 2003 sur les thèmes *Produit, Procédé, Matériaux (PPM) et Management du Cycle de Vie d'un Produit (PLM)* réparti sur l'Ecole Centrale de Nantes, l'IUT de Nantes et l'ENSAM d'Angers, pour laquelle nous avons invité P. Mévellec afin de présenter son positionnement par rapport à la maîtrise des coûts en ingénierie[14]. J'ai d'autre part participé à l'organisation de la *Journée Usine Numérique*[15] (en collaboration avec Dassault Système) suivie de la *Journée pédagogique PLM*[16] les 15 et 16 juin 2005.

D'autre part, je contribue aux conférences AIP-PRIMECA au travers des publications à IDMME [D.2004.2] [D.2002.2] [C.2005.2], la Plagne [E.2005.2] ainsi qu'au cours de journées thématiques [F.2006.1].

GDR MACS - GT IS3C

Depuis 2003, je participe aux activités du GT IS3C (Ingénierie des Systèmes de Conception et Conduite du Cycle de vie produit) du GDR MACS (Modélisation, Analyse et Conduite de Système), piloté par L. Roucoules et M. Lombard. Dans ce groupe, mon implication principale se situe sur le thème *valeur, indicateurs, évaluation et décision*, piloté par B. Yannou. Cette collaboration s'est entre autre illustrée par la participation à la rédaction d'un ouvrage de synthèse : Ingénierie de la conception et cycle de vie des produits paru en 2006 [C.2007.1]. De plus, les collaborations avec M. Bigand et J.P. Bourey au sein du GT mais aussi du NoE INTEROP ont conduit à la rédaction d'un article commun sur les problématiques d'intégration de modèles pour INCOM'06 qui a reçu le prix du meilleur papier pour le track « Integrated Design of Product And Manufacturing Process » [D.2006.1]. En complément du groupe de travail IS3C, je participe régulièrement au groupe C2EI (Connaissances et de Compétences dans les Entreprises Industrielles).

Au niveau du GDR MACS, j'ai participé à l'organisation des journées du Pôle STP à Nantes le 25/26 mars 2004[17].

En collaboration avec de nombreux partenaires du groupe IS3C, je collabore au groupe de réflexion financé par le GDR concernant le projet ISI : Interopérabilité de Systèmes Intégrés (application à la plate-forme PICS-PPO et au PLM Advitium pour la gestion de l'information

[14] http://aip1.iut-nantes.univ-nantes.fr/QuickPlace/ua2003/Main.nsf/

[15] http://www.ec-nantes.fr/1117440726645/0/fiche_document/

[16] https://www.ec-nantes.fr/servlet/com.univ.utils.LectureFichierJoint?CODE=1117439966843&LANGUE=0

[17] http://www.irccyn.ec-nantes.fr/gdrmacs/

dans les projets de conception produit-process). Ce théme répond aux exigences de *Gestion de l'information dans les projets de conception produit-process*, tout en associant des problématiques liées à l'*Interopérabilité de plate-forme logicielle comme support de l'ingénierie collaborative*.

C'est dans la droite ligne de ce thème que j'ai contribué à la rédaction du projet PICS-PPO (Plate-forme d'Intégration logicielle pour la gestion des Connaissances et la Simulation du comportement Produit-Processus-Organisation en Ingénierie) qui a été déposé dans le cadre de l'appel RNTL de l'ANR. Ce projet est la continuité du RNTL IPOP (terminé en 2005).

Porté par la société LASCOM (éditeur de solution PLM), le groupe projet est composé de

- partenaires industriels éditeurs de logiciels : LASCOM, TDC (Transfert De Connaissances : éditeur de solution logicielles de formation), DeltaCAD (éditeur de solution de simulations en ingénierie mécanique) et EBMWebSourcing (développeur de plate-forme open source orientées services),
- de partenaires industriels utilisateurs finaux : EADS France et Innovation Works (EADS) et la Plate-forme d'Ingénierie Collaborative de Cités-en-Champagne (PI3C) supportés par le CETIM,
- de partenaires académiques : UTT - LASMIS, UB1 (LAPS/GRAI - ICO et LIPSI-ESTIA, LMP) , NUMCOP2 - CRAN, INPG - G-SCOP, ECN - IVGI, UL2 - LIESP, LGIPM – ENSAM.

Ce projet vise à proposer une plate-forme d'intégration logicielle indispensable aujourd'hui à l'Ingénierie Simultanée, la Conception Intégrée - Collaborative ou l'Ingénierie Virtuelle. Cette plate-forme cherche à fédérer la communauté académique et industrielle autour des problèmes de gestion, de visualisation et de simulation des données d'ingénierie tout au long du cycle de vie du produit. Les données, informations et connaissances d'ingénierie doivent être aujourd'hui relatives à l'organisation de l'entreprise (O), au processus de conception (P) et au produit (P) (ou service) faisant l'objet du résultat de la conception.

L'objectif du projet est donc de fournir une plate-forme logicielle comme moyen d'intégration (i.e. interopérabilité) des solutions logicielles GDT et XAO actuellement existantes sur le marché ou en cours de développement. Cette plate-forme doit donc s'appuyer sur :

1. Un noyau d'information PPO suffisamment ouvert permettant le partage et l'interopérabilité des solutions logicielles. Des interfaces de programmation (API) permettant de créer et de modifier le noyau PPO par l'intermédiaire de la connexion, de manière générique, des applications GDT et XAO. Ce noyau et ces interfaces seront totalement fournis en open source.

2. Un ensemble de modules communs et de modules métier fournissant des fonctions attendues dans le processus d'ingénierie (évaluation des données PPO, gestion des connaissances, cohérence des modèles…) et attestant de la faisabilité de la plate-forme d'intégration. Ces modules pourront être livrés en open source, et donc disponibles sur le site de PICS-PPO, ou bien en solutions propriétaires afin d'envisager l'ensemble des configurations de solutions. Dans ce cas le site PICS-PPO fournira un espace de démonstrations pour montrer la faisabilité logicielle de la solution.

Dans ce projet, ma participation vise à étendre l'application des démarches et outils développés dans le cadre d'USIQUICK (méthode de formalisation/structuration/intégration des connaissances), pour les intégrer à la plate-forme d'ingénierie collaborative de PICS-PPO.

Laboratoire de Génie Industriel

L'équipe IVGI collabore avec le laboratoire Centrale Génie Industriel. Elle a effectivement commencé en 2005 par le co-encadrement du travail de Master Recherche Génie Industriel de L. Billon. A ce titre S. Ammar-Khodja et moi avons encadré la partie bibliographique intitulée *Définition d'un processus d'incrémentation et de mise à jour des bases de connaissances métiers pour l'aéronautique*, en collaboration avec A. Dudezert.

INTEROP Pôle Grand Sud Ouest – membre du VLab Interop

Comme je l'ai déjà mentionné, je suis acteur dans le cadre de la construction du Pôle Grand Sud Ouest (P-GSO) du V-Lab INTEROP. A ce titre je siège au conseil scientifique du Pôle et A.Bernard est membre du CA.

Ce réseau de partenaire a déjà donné lieu au dépôt d'un projet pour l'appel RNTL de l'ANR en Mars 2007. Ce projet, intitulé EPICE (Exploitation, Pour l'Interopérabilité, des Connaissances d'Entreprises) s'adresse aux problématiques d'auto-configuration (ou plus précisément d'assistance à la configuration) d'ERP en utilisant, via les ontologies, l'expertise d'intégration et de développement de solutions inter-opérantes avec des systèmes déjà existants (expertise de la société SYLOB, éditeur d'ERP et partenaire de ce projet).

Ce projet EPICE vise à apporter une contribution au développement de l'interopérabilité de systèmes industriels. Il vise des réseaux d'entreprises de production industrielle (en ciblant particulièrement les petites et moyennes entreprises) qui souhaitent s'intégrer à diverses formes de réseaux économiques industriels (écosystèmes), tout en utilisant des solutions technologiques raisonnables.

Ainsi le projet EPICE est construit sur deux piliers principaux, correspondant à deux problématiques qui nous semblent être très corrélées et systématiquement présentes dans une approche complète du sujet :

1. Niveau système : nous étudierons l'aptitude d'un partenaire donné à interopérer avec les écosystèmes de son environnement. Nous proposerons un cadre et des métriques pour l'interopérabilité d'entreprise. Nous développerons une agilité de l'entreprise à partir d'une configuration flexible des services de son système d'information.

2. Niveau système de systèmes : il faut concevoir, établir et gérer la collaboration entre les partenaires. Par collaboration, nous entendons une forme particulière de coopération : les partenaires ont défini explicitement les processus qu'ils mettent en oeuvre au niveau du collectif. Ces processus peuvent avoir un caractère répétitif, mettent à contribution les systèmes d'information des partenaires et permettent de remplir des objectifs communs lorsqu'ils sont exécutés. Nous étudierons les moyens d'étendre le système d'information à l'échelle du réseau, partant d'une connaissance des aptitudes des partenaires et en réutilisant les services qu'ils mettent à disposition.

Le projet EPICE étudie ainsi les problèmes de coopération entre entreprises dans leur intégralité en tenant compte des rapports de force entre les deux niveaux : celui du partenaire et celui du

réseau. Notre participation relève des aspect d'extraction et formalisation des connaissances, par les approches de construction d'ontologies, ainsi que des spécifications des fonctionnalités attendues dans la plate-forme d'ingénierie qui sera proposée.

Ce projet, porté par l'Ecole des Mines d'Albi, regroupe /

- des industriels développeurs d'ERP (SYLOB), des fournisseurs de plate-formes à base d'architectures open sources orientées services (EBMWebSourcing) et des développeurs d'interfaces et d'environnements de travail (OBEO),
- des partenaires académiques issus d'INTEROP : LAPS/GRAI, U.Nantes / LINA et ECN / IVGI,
- des partenaires membres du P-GSO : CNAM Pays de la Loire, Centre de Génie Industriel de l'Ecole des Mines d'Albi-Carmaux, laboratoire Génie Industriel et Informatique de l'Ecole des Mines de St Etienne.

Ce projet a d'ors et déjà été labellisé par le pôle de Compétitivité EMC2 des Pays de la Loire.

D'autres projets sont en cours de rédaction, tout particulièrement un projet concernant l'amélioration de l'interopérabilité des chaînes logistiques de sous-traitants de rang1 (ICL : Interopérabilité pour la Chaîne Logistique). Ce dernier devrait trouver deux terrains d'implémentation que sont d'une part les sous traitants en construction aéronautique (avec un cible de labellisation par le Pôle de Compétitivité Aerospace Valley), d'autre part la construction mécanique au sens large (ciblant la labellisation du Pôle de Compétitivité Ensemble Mécanique et Composites Complexes, axe Processus et Systèmes Complexes). Nous sommes déjà en phase de rencontre et présentation avec des sous traitants de la construction navale et de l'aéronautique (comme la société SEGULA) pour avancer sur ce projet. Les résultats relatifs au projet EPICE, concernant une plate-forme d'ingénierie de l'interopérabilité, seront utilisés pour se confronter à un autre domaine d'activité, ainsi que pour utiliser les concepts et solutions développés dans le cadre du P-GSO.

Illustré par les deux projets déposés pour l'appel RNTL de l'ANR, les problématiques d'interopérabilité touchent de plein fouet des communautés de recherches qui appuient leur ingénierie ou les objets de leurs études, sur des systèmes complexes, représentés ou supportés par des systèmes d'information qu'il faut rendre de plus en plus « *intelligent* » pour faciliter les mutuels échanges, intégrations ou transformations. C'est avec une sensibilité liée à la conception et fabrication mécanique, associée à une expérience d'intégration des connaissances en ingénierie numérique, que j'adresse ces problématiques.

Collaborations Industrielle

➢ Projet USIQUICK – Dassault Avion et Dassault Systèmes

Ma participation à ce projet c'est concrétisée par les encadrements et échanges avec A. Candlot (ingénieur d'étude et doctorant) et S. Ammar-Khodja (doctorante), ainsi qu'avec des doctorants d'autres partenaires.

Ce projet, labellisé RNTL, est relatif à la définition des gammes de fabrication pour l'usinage de pièces complexes de structures aéronautique. La finalité est l'intégration, dans un environnement CAO, d'une expertise de préparateur de gammes d'usinage, qui permettrait de réduire d'un

facteur dix les temps de compréhension et de préparation d'une pièce pour les gammistes. L'enjeu des partenaires est de démontrer la faisabilité des solutions proposées, levant les verrous scientifiques et technologiques (caractère pré-compétitif du projet). La Figure 2 illustre le rôle des différents partenaires qui sont :

- **Dassault Aviation** : Maître d'ouvrage, coordination, propriétaire du concept, spécifications générales, test du logiciel et utilisateur final.
- **Dassault Systèmes** : Maître d'œuvre, responsable du développement, de la méthodologie, de la documentation, de la commercialisation et de la maintenance de l'application finale.
- **CRAN** : Gestion de la transition entre un modèle de CAO et un modèle FAO, enrichissement de la sémantique.
- **3S (G-SCOP)** : Gestion des difficultés d'usinage, mise en place des posages et constitution de la gamme détaillée.
- **LURPA** : Gestion de l'automatisation finale et de la simulation des trajectoires.
- **LGIPM** : Gestion particulière des usinages axiaux.
- **IRCCyN** : Gestion de la cohérence des connaissances.
- **CETIM** : Expertise dans le domaine du fraisage, test du produit final et promotion au sein du réseau de PME.

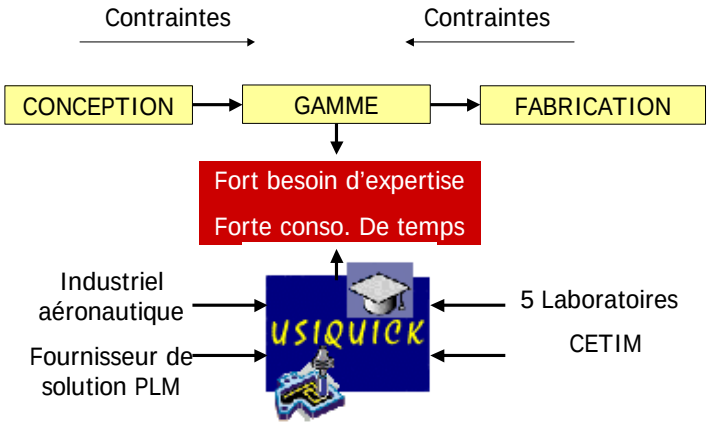


Figure 2 : Illustration de la structure du Projet USIQUICK

➢ Pôle de compétitivité EMC218

Dans le cadre du Pôle de Compétitivité EMC2, nous profitons des relations déjà tissées avec certains membres fondateurs (Aker Yards - Chantier de l'Atlantique, DCN et Airbus) dans le cadre de projet ou de stages d'étudiants ingénieurs, pour proposer des actions communes. Nous nous inscrivons dans le cadre de l'axe Processus et systèmes complexes : ingénierie concourante, réalité virtuelle, simulations ... de ce pôle.

Nos centres d'intérêts relèvent globalement de l'amélioration de la performance industrielle et de l'impact de l'organisation d'une entreprise sur sa performance. Nous cherchons ainsi à proposer de mettre en place des indicateurs d'analyse et des critères d'évolution pour évaluer la performance d'une entreprise, en fonction de son organisation.

[18] http://www.pole-emc2.fr/index.html

Par exemple, il s'agira de pouvoir considérer plusieurs solutions alternatives caractéristiques de structures types et de proposer des solutions de structuration permettant de maximiser la performance, pour un objectif opérationnel donné. Sur ce sujet, Acker Yards (ex Chantier de l'Atlantique) devrait suivre les travaux et peut-être soumettre des données expérimentales en conception navale, ou la DCN concernant la conception et l'assemblage de propulseur pour sous-marin. De plus, nous avons déjà réalisé un MASTER avec Airbus - EADS concernant l'évaluation de la performance en ingénierie (X. Otano, Master confidentiel : *Industrial Performances in Engineering*, juin 2005), sujet que nous souhaitons faire continuer en thèse CIFRE en cours de montage.

➢ Transfert vers des sociétés de développement logiciels

Que ce soit au niveau régional (société Virage Consulting et MNM-Consulting[19]) ou international (société Indutech[20] en Afrique du Sud) je participe à des actions de transfert, réflexion et spécification d'outils supportant les démarches d'intégration des connaissances et de maîtrise de la performance industrielle.

Nous avons initié un Master avec MNM sur les indicateurs de pilotage de multi projets (C. Bebully, *Modélisation générique et application d'un gestionnaire des droits (utilisateurs et groupes) pour les applications professionnelles (B2B) distribuées en full web*, Septembre 2005). Ceci c'est suivi par l'initiation d'une thèse CIFRE sur la mesure et les indicateurs de performance dans les chaînes de valeur qui a débuté en Novembre 2005 et qui s'appuiera sur l'approche FBS-PPRE proposée par Labrousse [Lab 04] pour définir une méthode globale d'évaluation de performance multi-projet et les éléments de mesure correspondant.

En ce qui concerne la société Indutech, elle développe l'outil qui supporte l'approche de Roadmapping sur laquelle nous avons travaillé en collaboration avec le GCC. Mon rôle, en collaboration avec A. Candlot et nos collègues sud Africain a été d'envisager les nouvelles fonctionnalités pour faciliter et l'utilisation et la navigation dans l'environnement proposé, pour aider la recherche et la restitution des traces de connaissances introduites dans la base documentaire. Comme je l'ai déjà mentionné, nous envoyons régulièrement depuis 2002 des étudiants en travail de fin d'étude sur ces sujets.

Relecture d'articles, de partie d'ouvrage, keynote-paper et tutoriaux

2007 - re-lecture : Int. Journal of Computer Integrated Manufacturing, Issue on "Integrated Design of Product and Manufacturing Process"
- INTEROP TG1 tutorial : IESA'07 Conf.
- Key note : Int. Conf. on Changeable, Agile, Reconfigurable and Virtual Production 2007

2006 - re-lecture : INCOM'06, CIRP Design Seminar 06 Conf.
- INTEROP TG1 tutorial : IESA'06 Conf.

2005 - re-lecture : 12th CIRP Life Cycle Engineering Conf., CAISE'05 Conf., IMACS'05 Conf., Ouvrage du GT IS3C du GDR MACS.
- Key note paper : International CAPE conf.

2004 - re-lecture : CAISE'04 Conf.

2003 - re-lecture : EVEN Int. Conf.

[19] http://www.virage-consulting.com/ - http://www.mnm-consulting.com/

[20] http://www.indutech.co.za/

Bilan Quantitatif depuis 1997

Publications et Encadrements

Publications

A. revues internationales avec comité de lecture	16 (+3 en révision)
B. revue nationale avec comité de lecture	1
C. livres et ouvrages de synthèse	7 (+2 en révision)
D. conférences internationales avec comité de lecture et actes	31
E. conférences nationales avec comité de lecture et actes	3
F. colloques sans acte ou avec actes à diffusion restreinte	4
G. publications diverses et délivrables de projets	4

Co-Encadrements de thèse

J.C. Delplace, « *L'ingénierie numérique pour l'amélioration des processus décisionnels et opérationnels en fonderie*» (soutenu en Octobre 2004 - maintenant : responsable projet Ingénierie Virtuelle au CETIM), [A.2007.8] [A.2003.2] [C.2004.1] [D.2005.4] [D.2005.6] [D.2004.1] [D.2003.1] [D.2003.2] [D.2003.3] [D.2003.4] [D.2002.1] [D.2002.2]	50% A. Bernard bourse CIFRE De 2000 à 2004
A. Candlot, *« Principes d'assistance à la maîtrise d'ouvrage pour la modélisation et l'intégration d'expertise »* (soutenu en Septembre 2006 - maintenant Ingénieur Conseil en SI et capacité organisationnelle), [A.200*.2] [A.2007.4][A.200*.2][A.2007.7] [A.2006.3] [A.2005.1] [C.2007.1] [D.2005.2] [D.2005.3] [D.2005.6] [E.2005.1] [E.2005.2] [F.2005.1]	50% A. Bernard De 2004 à 2006
S. Ammar-Khodja, « *Processus d'aide à la spécification et à la validation d'application d'ingénierie à base de connaissances métier* », (soutenu le 3 juillet 2007) [A.2007.2] [A.2007.5] [A.2007.7] [A.2006.3] [C.2007.1] [D.2007.4] [D.2007.5] [D.2005.2] [E.2005.1] [F.2004.1]	50% A. Bernard De 2004 à 2007
M. Mauchand « *Intégration de la dimension économique pour l'analyse de performance en industrialisation »* (soutenance prévue en Septembre 2007), [A.2007.3] [A.2006.4] [A.2003.3] [B.2003.1] [C.2006.2] [C.2005.2] [D.2007.6] [D.2007.7][D.2006.1] [D.2006.2] [D.2006.3] [D.2005.5] [D.2004.2]	30% A. Bernard 40% A. Siadat (LGIPM) 30% De 2004 à 2007
J. LeDuigou « *Système générique support à la maîtrise des processus d'entreprise étendue : Exploitation de connaissances statiques et dynamiques pour l'aide à la décision en ingénierie Numérique* » Thèse CIFRE avec le CETIM débutée en Novembre 2006	50% A. Bernard 50% De 2007 à ...

Encadrements de Masters-DEA

M. Mauchand, « *Conception à coût objectif, modèle générique d'entreprise de fonderie sable – acier ; limite de modélisation* », (2003, a continué en thèse dans notre équipe)	100%
S. Rabeau, « *Utilisation d'un outil d'aide à la décision pour la prédiction du risque suicidaire par les médecins généralistes* », (2003, a continué en thèse avec l'équipe MCM de l'IRCCyN)	100%
D. LePicart, « *Impact environnemental en Prototypage Rapide* », (2004, actuellement PRAG), [A.2006.2] [D.2005.1]	50% P. Mognol (MO2P)
C. Hongyang, « *Les Approches de Costing au long du Cycle de Vie Produit* », (2005)	100%
L. Billon, « *Définition d'un processus d'incrémentation et de mise à jour des bases de connaissances métiers pour l'aéronautique* », en collaboration avec le GCC - Stellenbosch University (2006)	50% 50% C. Shuttel (GCC)
P. Rauffet, « *Extraction semi- automatique de concept à partir d'analyse* », en collaboration avec le GCC – Stellenbosch University (2007, en thèse CIFRE avec MNM et notre équipe)	50% 50% C. Shuttel (GCC)
A. Radouane, « *Amélioration de la performance de l'atelier de protection panneau de fuselage composite* », Airbus Saint Nazaire (2007)	100%

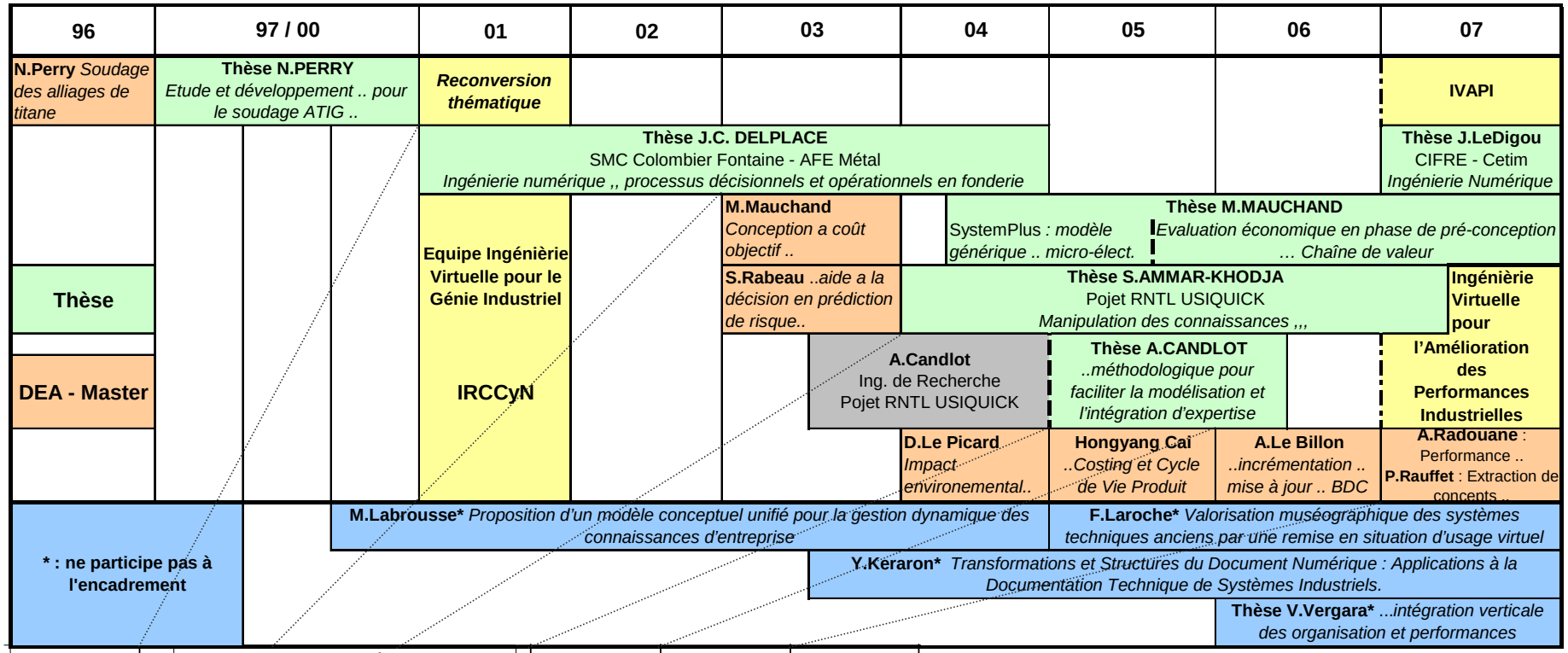


Figure 3 : Synthèse des recherches menées et encadrées depuis 1996

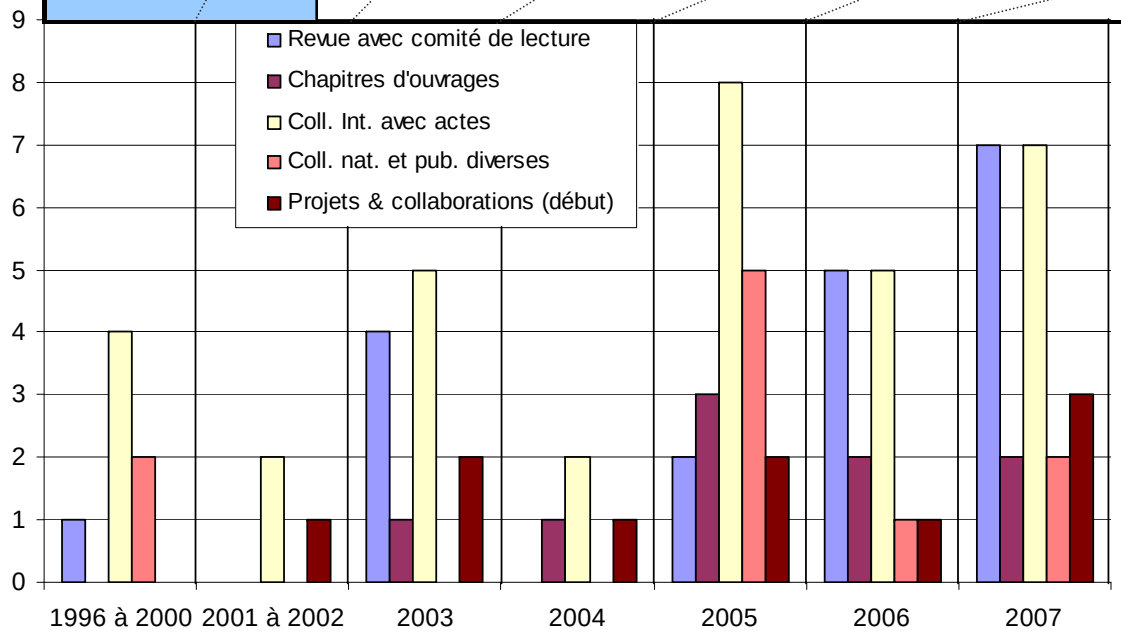


Tableau 1 : Histogramme des publications personnelles depuis 1996

Références de publications personnelles

A. REVUES INTERNATIONALES AVEC COMITE DE LECTURE

[A.200*.1] **Perry N**., W. Uys (2007), Knowledge Integration based on Roadmapping and Conceptual Framework Approached to ease Innovation Management, International Journal of Knowledge management, Special Issue on "Interface between Strategic Management and Knowledge Management", Inderscience Publisher, ISSN 1743-8268, (en revision).
[A.200*.2] **Perry N**., A. Candlot (2007), How to reach sustainable knowledge networks: case study analysis, International Journal of Computer Applications in Technology, Issue on: "Knowledge-Driven Product Innovation and Enterprise Management", Inderscience Publisher, ISSN 0952-8091, (en revision).
[A.200*.3] **Perry N**., Du Preez N., A. Candlot, A. Bernard, W. Uys, L. Louw, C. Schutte1 (2007), A Roadmapping and Conceptual Framework Based Approach For Efficient Knowledge and Innovation Management, International Journal of Innovation Management, (en revision).
[A.2007.1] Mauchand M., Siadat A., **N. Perry**, A. Bernard (2007), Proposal for Tool-based Method of product Cost Estimation during Conceptual Design, Journal of Engineering Design, special issue on Cost Engineering, Editor R. Roy, Taylor & Francis edition, ISSN 0954-4828.
[A.2007.2] Bernard A., Laroche F., Ammar-Khodja S., **Perry N**. (2007), Impact of new 3D numerical devices and environments on redesign and valorisation of mechanical systems, CIRP Annals – Manufacturing Technology, Edition Colibri Publishers, ISBN 3-905 277-43-3, Vol. 56/1 STC Design (Dn3), p.143-148.
[A.2007.3] Bigand M., J.P. Bourey, **N. Perry**, M. Mauchand (2007), Case Studies in Model Integration, International Journal of Computer Integrated Manufacturing, issue on "Integrated Design of Product and Manufacturing Process", Taylor & Francis Publisher, ISSN: 0951-192X., Vol. 20.
[A.2007.4] **Perry N.**, Candlot A. (2007), Emergence of Symbiotic & Collaborative Knowledge Networks: how to reach the future work Standards? Int. Journal on Decision Support Systems, Elsiever, ISSN: 0167-9236, Vol. 43/4, pp41-51.
[A.2007.5] **Perry N**., Ammar-Khodja S., Bernard A. (2007), Processing Knowledge to Support Knowledge Based Engineering Systems Specification, Concurrent Engineering Research and Application, issue on Collaborative Product Development, Sage Publication, ISSN: 1063-293X.
[A.2007.6] **Perry N**., W. Uys (2007), Innovation Management based on Knowledge Representation and Integration, Int. Journal on Decision Support Systems, Elsiever, ISSN: 0167-9236, Vol. 43/4.
[A.2007.7] Bernard A., Ammar-Khodja S., Candlot A. and **Perry N.** (2007), Knowledge Engineering Systems for Digital Enterprise Performance Improvement, CIRP Digital Enterprise Technology, International Journal of Computer Integrated Manufacturing, ISSN: 0951-192X, vol 20/3.
[A.2007.8] **Perry N.**, Bernard A., Delplace J.-C. (2007), Concurrent Cost Engineering for decisional and operational process enhancement in a foundry, International Journal of Production Economics, Issue on Concurrent Cost Engineering, Edited by R. Roy, Elsiever, ISSN 0925-5273, Vol 109, n°1-2, pp2-11.
[A.2006.1] Mévellec P., **N. Perry** (2006), Whole Life Cycle Cost: a new approach, International Journal of Product Lifecycle Management, Vol. 1, n°4, 2006, ISSN 1743-5110.
[A.2006.2] Mognol P., D. LePicart, **N. Perry** (2006), Rapid Prototyping: energy and environment in the spotlight, Rapid Prototyping Journal, Vol. 12, issue: 1, ISSN 1355-2546, pp. 26-34.
[A.2006.3] Candlot A., **N. Perry**, A. Bernard, S. Ammar-Khodja (2006), Deployment of an Innovative Resource Choice Method for Process Planning, CIRP Journal of Manufacturing Systems, Vol.35, n°5, ISSN 0176 – 3377.
[A.2006.4] Mauchand M., **N. Perry**, A. Bernard (2006), Specification management for the cost constraint optimisation in micro-electronic design, International Journal of Manufacturing Technology and

Management, Edited by R.Roy, Inderscience Publisher, ISSN (Online): 1741-5195 - ISSN (Print): 1368-2148.
[A.2005.1] Du Preez N., **Perry N**., Candlot, A., Bernard A., Uys W., and Louw L. (2005), Customised high-value document generation, CIRP Annals, Vol. 54/1/2005, Edition Colibri Publishers, ISBN 3-905 277-43-3, pp.123-126.
[A.2005.2] Jaekel F.W., **Perry N**., Campos C., Mertins K. and Chalmeta R. (2005), Interoperability Supported by Enterprise Modelling, Lecture Notes in Computer Science, Title: On the Move to Meaningful Internet Systems 2005, Editors: Robert Meersman, Zahir Tari, Pilar Herrero, Springer-Verlag, ISBN 3-540-29739-1, Vol 3762, p.552-562
[A.2003.1] Bernard A., **N. Perry** (2003), Fundamental concepts of product / technology / process informational integration for process modeling and process planning, Int. Journal of Computer Integrated Manufacturing, Vol. 16, N°7-8, p.557-565, ISSN 0951-192X.
[A.2003.2] Bernard A., J.C. Delplace, **N. Perry**, S. Gabriel (2003), Integration of CAD rapid Manufacturing for sand casting optimisation, Rapid Prototyping Journal, Vol 9, n°5, pp.327-333, ISSN 1355-2546.
[A.2003.3] **Perry N**., M. Mauchand et A. Bernard (2003), Cost models for sand casting : the limits of a generic approach, International Journal of CAD-CAM and Computer Graphics, Vol.18, n°3, pp.351-366. ISBN :0298-0924.
[A.2000.1] **Perry N**., S. Marya, E. Soutif (2000), Enhanced Weld Penetrations in Titanium during GTA and Laser Welding through Flux Applications, "Titanium'99: Science and Technology", CRISM publishing, ISBN 5-900791-09-2, Vol. III, p 1746-1753. IIW IX 2040-02 Copenhage discussion

B. REVUE NATIONALE AVEC COMITE DE LECTURE

[B.2003.1] **Perry N**., M. Mauchand, A. Bernard (2003), Modèles de coûts en fonderie sable : les limites d'une approche générique, Revue Internationale de CFAO et d'informatique graphique Vol 18 - n°3, pp.351-366, ISBN 0298-0924

C. LIVRES ET OUVRAGES DE SYNTHESE

[C.2007.1] **Perry N**., A. Candlot (2007) Knowledge networks, methods and tools analysis for information validity: case study feed back, VRL-KCIP KM Book, Editor S. Tiechkievitch & A. Bernard, Springer edition, (en revision)
[C.2007.2] Candlot A., **N. Perry**, A. Bernard (2007) Methods to capitalise and reuse K in process planning (Usiquick), Editor S. Tiechkievitch & A. Bernard, Springer edition, (en revision)
[C.2006.1] **Perry N**., S. Ammar-Khodja, A. Candlot, A. Bernard (2006), Approche méthodologique pour la maîtrise du cycle de vie des connaissances – Application aux outils de KBE, Chp. 18 de Ingénierie de la conception et cycle de vie des produits, Hermès Science Publication, ISBN 2-7462-1214-5.
[C.2006.2] **Perry N**., M. Mauchand, A. Bernard (2006), Integration of Cost Models in Design and Manufacturing, "Advances in Design", Springer Series in Advanced Manufacturing, El Maraghy H.A. & El Maraghy W.H. (Eds.) ISBN 1-84628-004-4, p.315-325.
[C.2005.1] Bernard A., M. Labrousse and **N. Perry** (2005), LC universal model for the enterprise information system structure, «Innovation in Life Cycle Engineering and Sustainable Development», Springer, edited by D. Brissaud, S. Tichkiewitch and P. Zwolinski, pp.429-448, ISBN 1-4020-4604-1.
[C.2005.2] **Perry N**., M. Mauchand, A. Bernard (2005), Costs Models In Design And Manufacturing Of Sand Casting Products, IDMME'2004 book: Advances in Integrated Design and Manufacturing in Mechanical Engineering, edited by Alan Bramley, Daniel Brissaud, Daniel Coutellier and Chris McMahon, and published by Kluwer Academic Press.
[C.2005.3] Labrousse M., **N. Perry**, A. Bernard (2005), Modèle FBS-PPR : des objets d'entreprise à la gestion dynamique des connaissances industrielles, Chp. 6 in Gestion Dynamique des Connaissances Industrielles, Ed. by B. Eynard, M. Lombard, N. Matta, J. Renaud, Hermès Ed., ISBN 2-7462-0952-7.

[C.2004.1] Bernard A., **N. Perry**, J.C. Delplace, S. Gabriel (2004), Quotation for the value added assessment during product development and production processes, Methods and Tools for Co-Operative and Integrated Design, Springer, editor: S. Tichkiewitch, D. Brissaud, ISBN 1402018894, pp.35-43.
[C.2003.1] **Perry N**., A. Bernard (2003), Cost objective PLM and CE, Concurrent Engineering 2003: the Vision for the Future Generation in Research and Applications, ISBN 90 5809 623 8, p.817-822. Title Volume 1 - Enhanced interoperable systems, J. Cha et al. (eds) © 2003 Swets & Zeitlinger, Lisse.

D. CONFERENCES INTERNATIONALES AVEC COMITE DE LECTURE ET ACTES

[D.2007.1] Bernard A., **Perry N**., Candlot A., Ammar-Khodja S. (2007), Knowledge-based Approach for Changeability Management, invited Keynote Paper, Int. Conf. on Changeable, Agile, Reconfigurable and Virtual Production (CARV 2007), Toronto, Canada, July 2007.
[D.2007.2] **Perry N**., Bernard A. (2007), Rapid product development methodology and technologies for performance improvement in foundry industry, COMA'07, Proc. Of the International Conference on Competitive Manufacturing, Stellenbosh, South Africa, February 2007, pp.171-180.
[D.2007.3] Campos C., **Perry N**., Anaya V., Jaekel F.W. (2007) Interoperability Supported by Enterprise Modelling. A Study into Current Practices in Enterprises, Interoperability for Enterprise Software and Applications I-ESA'07, Portugal, March 2007.
[D.2007.4] Ammar-Khodja S., **Perry N**., A. Bernard (2007) Software Engineering and Knowledge Engineering: form competition to cooperation, Cirp Design Seminar, Berlin, March 2007.
[D.2007.5] Ammar-Khodja S., **N. Perry**, A. Bernard (2007), Knowledge Management oriented integration traceability: Experience feedback from a manufacturing system development, CIRP International Manufacturing Systems Seminar, Liverpool, May 2007.
[D.2007.6] Mauchand M., Siadat A., **Perry N**., Bernard A. (2007), Manufacturing system performance analysis based on value chain modelling and simulation, CIRP International Manufacturing Systems Seminar, Liverpool, May 2007.
[D.2007.7] Mauchand M., Bernard A., Siadat A., **Perry N**. (2007), Enterprise processes performance analysis – An approach based on value chain modeling and simulation, International Conference on Changeable, Agile, Reconfigurable and Virtual Production (CARV 2007), Toronto, July 2007.
[D.2006.1] Bigand M., J.P. Bourey, **N. Perry**, M. Mauchand (2006), Case Studies in Model Integration, Proceedings volume from the 12th IFAC International Symposium Information Control Problems In Manufacturing 2006, Edited by A. Dolgui, G. Morel, C. Pereira, Elsevier Ltd, St Etienne, p.691-697, ISBN: 978-0-08-044654-7, Vol.1, p.691-696, **prix du meilleur papier** : track Integrated Design of Product and Manufacturing Process.
[D.2006.2] Mauchand M., A. Siadat, J.Y. Dantan, **N. Perry** (2006), A Proposal For Decision-Making System Aiming To Support Cost Estimation During The Preliminary Design, Proceeding of IDMME'06, Grenoble.
[D.2006.3] Mauchand M., A. Siadat, A. Bernard, **N. Perry** (2006), Proposal for Tool-based Method of product Cost Estimation during Conceptual Design, Cirp Design Seminar, Alberta, Canada.
[D.2006.4] Bernard A., Ammar-Khodja S., Candlot A. and **Perry N.** (2006), Knowledge Engineering Systems for Digital Enterprise Performance Improvement, CIRP Digital Enterprise Technology, Springer Proceedings Book, Portugal, September 2006.
[D.2006.5] Ammar-Khodja S., **Perry N**., Bernard A. (2006) Knowledge Capitalization process to Support KBE systems development, Proceedings of Virtual Concept 2006: Product Life cycle and Engineering Design Management, Mexico, November 2006, ref 92.
[D.2005.1] Mognol P., **N. Perry**, D. LePicart (2005), Environment Aspect Rapid Prototyping : Process Energy Consumption, 12th CIRP LCE Seminar proceedings, Grenoble.
[D.2005.2] Candlot A., **N. Perry**, A. Bernard, S. Ammar-Khodja (2005), Deployment of an Innovative Resource Choice Method for Process Planning, CIRP ISMS 2005, Florianópolis, Brazil
[D.2005.3] Candlot A., **N. Perry**, A. Bernard (2005), Method to Capitalise and Reuse Knowledge in Process Planning, IMACS'2005, Paris.

[D.2005.4] Bernard A., **N. Perry**, J.-C. Delplace (2005), Concurrent Cost Engineering for decisional and operational process enhancement, Concurrent Engineering, Dallas, USA.
[D.2005.5] Mauchand M., **N. Perry**, A. Bernard, (2005), Specification management for the cost constraint optimisation in micro-electronic design, 3rd International Conference on Manufacturing Research ICMR, Cranfield University, UK.
[D.2005.6] Bernard A., **N. Perry**, J.-C. Delplace, A. Candlot (2005), invited keynote, Computer-Aided-Production engineering for decisional and operational process enhancement in foundry, Int. CAPE conference, Melbourne, Australia,
[D.2005.7] Bernard A., M. Labrousse and **N. Perry**, (2005), LC universal model for the enterprise information system structure, 12th CIRP LCE Seminar proceedings, Grenoble.
[D.2005.8] Jaekel F.W., **N. Perry**, C. Campos, K. Mertins and R. Chalmeta (2005), Interoperability Supported by Enterprise Modelling; On the Move to Meaning-full Internet Systems 2005: OTM Workshops, Agia Napa, Cyprus, October 31 - November 4. Proceedings Editors: Robert Meersman, Zahir Tari, Pilar Herrero ISBN: 3-540-29739-1 p. 552.
[D.2004.1] **Perry N**., A. Bernard, J-C. Delplace, S. Gabriel (2004), Cost Management in Sand Casting Foundry through a PLM CAD Integration, COMA'04, International Conference on Competitive Manufacturing, Stellenbosh, South Africa, p.163-168, ISBN 0-7972-1018-0.
[D.2004.2] **Perry N**., M. Mauchand, A. Bernard (2004), Costs Models In Design And Manufacturing Of Sand Casting Products, Proceedings of IDMME'2004 conference, Bath (UK), ISBN 1-85790-1290.
[D.2003.1] Bernard A., **N. Perry**, J.-C. Delplace, S. Gabriel (2003), Quotation for the value added assessment during product development and production processes, Proc. of 2003 CIRP Design Seminar, Grenoble.
[D.2003.2] Bernard A., **N. Perry**, J.-C. Delplace, S. Gabriel (2003), Activity-Based Decision and Control at an Enterprise Level, 4th International Conference on Industrial Automation, Montréal, ISBN: 2-9802946-3-2.
[D.2003.3] **Perry N**., A. Bernard, J.C. Delplace, S. Gabriel (2003), Digital mock-up: base of steel casting process improvement, International Even Conference: Virtual Engineering Applications for Design and Product Development, Dublin, ISBN – 0 947974 15 6.
[D.2003.4] Bernard A., **N. Perry**, J-C. Delplace, S. Gabriel (2003), Costs as Strategic-Tactic-Operational Criteria for Enterprise Processes Definition and Control, 5th International Industrial Engineering Conference, Laval, Quebec.
[D.2003.5] Rückert G., **N. Perry**, S. Marya (2003), Investigations on arc welding of titanium and its alloys, 10th World Conference on Titanium, Vol.2, pp721-727, Hamburg, GERMANY, Ed. G. Lütjering, J. Albrecht, ISBN 3-527-30306-5.
[D.2002.1] Bernard A., J.C. Delplace, S. Gabriel, **N. Perry** (2002), CAD and Rapid Manufacturing techniques for design optimisation in sand casting foundry, Proc. of 2002, CIRP Design Seminar, 16-18 May 2002, Honk Kong.
[D.2002.2] Bernard A., **N. Perry**, J.C. Delplace, S. Gabriel (2002), Optimization of complete design process for sand casting foundry, Proceedings of IDMME'2002 conference, Clermont-Ferrand, France.
[D.1999.1] **Perry N**., S. Marya, E. Soutif (1999), Enhanced Weld Penetrations in Titanium during GTA and Laser Welding through Flux Applications, Proc. of 9-th World Conference on Titanium, Central Research Institute of Structural Materials "Prometey", St. Petersburg, pp.1746-1753, ISBN 5-900791-09-2, Vol.3.
[D.1999.2] **Perry N**., S. Marya, E. Soutif (1999), New Perspectives of Flux assisted GTA Welding in Titanium Structures, Reactive Metals in Corrosive Applications Conference Proceedings, Jack Tosdale Editor, Wah Chang, p.55-62.
[D.1998.1] Cretteur L., **N. Perry**, S.K. Marya (1998), Development of actives flux for superior GTA and Laser Welds, MATEHN'98, Romanian 2nd International Conference On Materials And Manufacturing Technologies, CLUJ-NOPOCA, p.927-933, vol.2 ISBN 973-98701-2-0.

[D.1998.2] **Perry N**., S. Marya, E. Soutif (1998), Study and Development of Flux Enhanced GTA Penetrations in a Commercial Grade Titanium, ASM 98, "Trends in Welding Research", Proceedings of the 5th Int. Conf., Pine Mountain, p.520-525, ISBN 0-87470-627-X

E. CONFERENCES NATIONALES AVEC COMITE DE LECTURE ET ACTES

[E.2005.1] Candlot A., S. Ammar-Khodja, M. Mauchand, **N. Perry** (2005), Réflexion sur une approche systématique pour créer des structures de consolidation de l'information, 9ème Colloque National AIP PRIMECA, La Plagne.
[E.2005.2] Bernard A., A. Candlot, **N. Perry** (2005), Intégration Outil-Séquence-Entité pour l'aide à la génération des processus d'usinage, CFM'05, Troyes.
[E.1999.1] **Perry N**., S. Marya, E. Soutif (1999), Soudage ATIG, évolution des réalisations mécano soudées de fortes épaisseurs, 14eme congrès de Français de Mécanique, Association Française de Mécanique, Association Universitaire de Mécanique, Toulouse, ISBN 2-84088-040-7.

F. COLLOQUES SANS ACTE OU AVEC ACTES A DIFFUSION RESTREINTE

[F.2006.1] Baron P., J. Geffriaud, J-Y Hascoet, O. Legoff, **N. Perry**, H. Thomas, S. Tichadou (2006), Mise en œuvre de la chaîne numérique en Conception-Fabrication-Mesure à l'Ecole Centrale de Nantes, Journée Thématique AIP : La chaîne numérique en CFAO, UTC, Compiègne.
[F.2005.1] **Perry N**., A. Bernard, A. Candlot, S. Ammar-Khodja (2005), High-value document generation: an ontology based methodology proposal, 17th Conference on Advanced Information Systems Engineering, -CAiSE'05 - Enterprise Models and Ontology for Interoperability, June 2005, Porto, Portugal.
[F.2004.1] **Perry N**., A. Bernard, A. Candlot, S. Ammar-Khodja, Y. Keraron, M. Shahrokhi, M. Pouliquen, M. Mauchand (2004), Virtual Engineering Team for the Industrial Engineering, 16th International Conference on Advanced Information Systems Engineering, CAISE'04 - Enterprise Models and Ontology for Interoperability, Riga, Latvia, pp.359-362.
[F.1998.1] **Perry N**., S. Marya (1998), Evolution du Soudage Multipasses des Aciers Inoxydables, Procédé A-TIG, Compte rendu des 9e Journées d'Etude sur la Technologie des Appareils à Pression, Association Française des Ingénieurs en Appareils à Pression, Paris, ISBN 2-525-88461-7.

G. PUBLICATIONS DIVERSES ET DELIVRABLES DE PROJETS

[G.2005.1] Jaekel Frank-Walter, **Nicolas Perry**, Cristina Campos, Michele Dassisti (2005), INTEROP Delivrable D5.2 : Description of objectives, requirements and scenarios for synchronisation of different distributed enterprise models including benefits and gaps.
[G.2005.2] Berio G., A. Opdahl, V. Anaya, Michele Dassisti & DEM members (2005), INTEROP Deliverable DEM 1: UEML2.1, Task Group Domain Enterprise Modelling.
[G.2005.3] Campos C., A. Candlot, M. Dassisti, F.W. Jaekel, **N. Perry**, J. Ziemann (2005), TG1 InterOp Delivrable : Report on Generic Approaches and SDDEM Life Cycle Model / TG Synchronisation of models for interoperability.
[G.2005.4] Missikoff M., F. D'Antonio, M. Lenzerini, M. Jeusfeld, P. Johannesson & WP8 members (2005), Interop Delivrable 8.2 : Enterprise Modelling and Ontologies for Interoperability.

H. PROTECTION INDUSTRIELLE

[H.1997.1] Marya S.K., **N. Perry** (1997), Dépôt d'une enveloppe SOLEAU à l'INPI le 20 Novembre 1997. Numéro d'enregistrement : 78328. Titre de l'invention « Formulations de flux pour soudage ATIG du Titane et d'Aciers Inoxydables»

THESE DE DOCTORAT

[Per 00] : **Etude et développement de flux solides pour le soudage ATIG appliqué aux alliages de titane et aux aciers inoxydables**

Thèse de Doctorat, Discipline : Sciences de l'Ingénieur, Spécialité : Génie Mécanique, Ecole Centrale de Nantes et de l'Université de Nantes, N° ED. 82-452.
Date : Juin 2000 Mention : Très Honorable avec Félicitation

Présenté devant le jury suivant :

D. Le HOUEDEC	Professeur, Ecole Centrale de Nantes	Président
F. MONTHEILLET	Directeur de recherche CNRS St Etienne	Rapporteur
H.P. LIEURADE	Directeur Dpt. Matériaux, CETIM - Senlis	Rapporteur
F. PIERRON	Professeur, ENSAM Châlons en Champagne	Examinateur
M. FRANCOIS	Maître de conférences, LAMM St Nazaire	Examinateur
E. SOUTIF	Directeur Technique B.S.L.i, Soissons	Invité
C. DUBOIS	Dr. Resp. Service Brasure Castolin Eutectic, Lausanne	Invité
S.K.MARYA	Professeur, Ecole Centrale de Nantes	Directeur de Thèse

Résumé :
Le procédé de soudage TIG met en jeu un arc électrique entre une électrode réfractaire de tungstène et les pièces à souder. L'électrode et la zone fondue sont protégées contre la pollution ambiante par une atmosphère neutre d'argon. C'est ainsi un procédé de prédilection dans des secteurs aussi variés que le nucléaire, l'aéronautique, les industries chimiques ou agro-alimentaires.

Nonobstant ces qualités, ce procédé souffre d'un lourd handicap : sa faible productivité, particulièrement dans le cas des pièces de forte épaisseur. En effet, au-delà de 3mm, il est nécessaire d'usiner les bords à souder et de faire des passes multiples avec du métal d'apport. L'accroissement du nombre de passes multiplie les risques de défauts, augmente les déformations et accroît la zone thermiquement affectée.

Il paraît alors intéressant de disposer d'un procédé simple permettant de s'affranchir des faibles pénétrations inhérentes aux soudures TIG.

Il nous a semblé opportun de développer une technique permettant d'étendre les domaines d'utilisation du soudage TIG de 3 à 7mm d'épaisseur soudable maximale sans préparation. Cette technique appelée ATIG consiste à déposer, du côté endroit du joint à souder, un flux activant qui va, au passage de l'arc électrique, modifier les courants de convection dans le bain de fusion et l'équilibre électrochimique du plasma.

Ce document traite du développement de ces produits, ainsi que de la mise en évidence des mécanismes d'activation opérant au cours du soudage.

Ce travail, mené en collaboration avec la société B.S.L. industries, a conduit à la formulation de deux compositions (appliquées respectivement aux aciers inoxydables et aux alliages de titane) en phase de commercialisation par la société CASTOLIN S.A., ainsi qu'à la réalisation industrielle d'une colonne pour traitement d'acide nitrique avec plus de 2800 soudures ATIG orbitales.

Mots clés

Soudage TIG-ATIG, Flux d'activation, Constriction d'arc, Tensions surfaciques, Courants de Marangoni, Aciers inoxydables, Alliages de titane.

Résumé

- Agrégé de Génie Mécanique : ENS Cachan 1996,
- Thèse de Doctorat au Laboratoire de Mécanique et Matériaux, Ecole Centrale de Nantes : Juin 2000,
- Maître de conférences, Ecole Centrale de Nantes : responsable d'option pédagogique IRCCyN : responsable Eq. Ingénierie Virtuelle pour le Génie Industriel
- P.E.D.R. : depuis Septembre 2005,
- 16 publications en revues internationales avec comité de lecture
- 7 participations à des ouvrages de synthèse
- 30 articles à des conférences internationales
- 2 Réseaux d'Excellence (FP6), devenu Virtual Laboratory (Interop VLAB)
- 1 Réseau thématique européen (FP5)
- 1 collaboration avec le GCC (Afrique du Sud) soutenue par le CNRS depuis 2003
- 5 thèses co-encadrées (10/2004 – 09/2006, 07/2007, 09/2007, **/2009)
- 7 Master ou DEA encadrés

Deuxième Partie

Synthèse des Axes de Recherche

Perspectives

Sommaire des activités de Recherche

1. INTRODUCTION 64
2. RECONVERSION THEMATIQUE 70
2.1 RESUME DU TRAVAIL DE THESE 70
2.2 MISE EN PERSPECTIVE DU TRAVAIL DE THESE 75
3. RECHERCHE A L'IRCCYN 77
3.1. CONTEXTE DE RECHERCHE 77
3.1.1. INTRODUCTION 77
3.1.2. POSITIONNEMENT ET CONTEXTE DE RECHERCHE 79
3.1.2.1. Contexte initial : Modèle conceptuel commun FBS-PPRE 81
3.1.2.2. Le projet USIQUISK 84
3.2 INTEGRATION DES CONNAISSANCES 86
3.2.1. POSITIONNEMENT BIBLIOGRAPHIQUE 86
3.2.1.1. La gestion des connaissances 86
3.2.1.2. L'ingénierie à base de connaissances 89
3.2.1.3. Les approches de Gestion de connaissances 91
3.2.1.4. Conclusion sur notre utilisation pour l'intégration des connaissances 110
3.3.2. APPORTS RELATIFS A L'INTEGRATION DES CONNAISSANCES 111
3.3.2.1. Résumé des apports en Industrialisation des Connaissances 111
3.3.2.2. Modélisation de la connaissance pour l'aide à la décision par méthodes heuristiques 116
3.3.2.3. Intégration de connaissances : Processus d'aide à la spécification et à la validation d'application KBE 119
3.3.2.4. Pilotage : aide à la maîtrise d'ouvrage de projet à base de connaissances 129
3.3.2.5. Cas d'applications d'intégration des connaissances 141
3.3.2.6. Conclusions sur les apports relatifs à l'ingénierie de la connaissance 151
3.4 EVALUATION DES COUTS EN INGENIERIE 156
3.4.1. POSITIONNEMENT BIBLIOGRAPHIQUE 157
3.4.1.1. Peu d'outils d'évaluation économique pour l'ingénieur 158
3.4.1.2. Les approches de maîtrise des coûts 162
3.4.1.3. Analyse des équipes et laboratoires contribuant à ce thème 167
3.4.1.4. Conclusion 170
3.4.2. APPORTS RELATIFS A L'EVALUATION ECONOMIQUE EN CONCEPTION 171
3.4.2.1. Résumé des apports d'intégration du facteur économique en ingénierie 171
3.4.2.2. Processus pilotée par le devis en fonderie 175
3.4.2.3. Modèles génériques de coûts en fonderie 181
3.4.2.4. Costing et Pricing en Micro-electronique 184
3.4.2.5. De l'évaluation des coûts à l'évaluation de la valeur 187
3.4.2.6. Conclusions sur les apports relatifs à l'évaluation économique 189
3.5. CONCLUSIONS DES ACTIVITES DE RECHERCHE 191
4. PERSPECTIVES 193
4.1. INDUSTRIALISATION DE CONNAISSANCES 195
4.2. EVALUATION ECONOMIQUE EN INGENIERIE, VERS LE PILOTAGE DE LA PERFORMANCE INDUSTRIELLE 198
RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES 203

TROISIEME PARTIE.....219

SOMMAIRE DES TIRÉS À PART 221

L'objectif de cette partie est de synthétiser mes activités de recherche initiées dans un domaine métier qu'est le soudage (DEA et thèse) et, poursuivies dans des domaines transverses au croisement de la productique, du génie mécanique et du génie industriel.

Mes activités de chercheur comme Maître de conférences se sont déroulées au sein de l'équipe projet Ingénierie Virtuelle pour le Génie Industriel de l'IRCCyN. A sa création en 2002, le thème général est *l'amélioration de la performance industrielle sur la base du développement ou de l'utilisation efficace d'outils d'ingénierie virtuelle*. Cette proposition n'est réalisable que par le biais de l'intégration de connaissances expertes. Il a été ainsi défini par trois orientations principales et complémentaires que sont le management des connaissances, la prise en compte des aspects économiques et celle des aspects sociotechniques. Dans ce cadre, j'ai principalement participé aux deux premiers, à savoir :

- la capture et l'extraction de connaissances expertes en vue de leur intégration dans un système à base de connaissances,
- les modèles de coûts et indicateurs économiques pour la maîtrise et le pilotage économique en ingénierie de produits ou de systèmes industriels.

Postulat :

Bien que certains aspects des activités de recherche menées soient fortement en interconnexion avec les domaines de l'informatique, je me revendique des sciences de la production et de l'industrialisation de produits. Loin de dénigrer les sciences de l'informatique et leurs applications, pour mon point de vue de génie mécanicien, elles sont avant tout des ressources pour mener à bien la conception et l'industrialisation optimale d'un produit ou d'un système.

En effet, la conception n'a de sens que si elle conduit à la réalisation et à l'industrialisation d'un produit en adéquation avec le marché et les attentes des clients. Il importe alors d'aider à accélérer cette démarche en facilitant l'accès aux différentes connaissances nécessaires à sa réalisation. Ceci n'implique pas pour autant que toute conception mérite d'être menée à son terme. Bien au contraire, il faut faciliter le travail des experts pour simplifier les prises de décisions devenues de plus en plus complexes afin de valider la pertinence des choix et maîtriser les prises de risques.

Ceci implique de pouvoir capturer et formaliser l'expertise pour, d'une part analyser et optimiser sa mise en œuvre, d'autre part la partager et l'enrichir avec d'autres acteurs. Je travaille en ce sens pour proposer des réflexions sur l'art de modéliser et d'intégrer ces connaissances en vued'optimiser l'industrialisation des produits ou systèmes.

1. Introduction

Le tout récent rapport *L'économie de l'Immatériel - La croissance de demain* [Lev 06] demandé par le ministre de l'économie et des finances et délivré en décembre 2006, la valeur (ou valorisation) des aspects immatériels prend une dimension stratégique pour les entreprises. Comme le soulignent les auteurs, la principaux richesses et facteurs de croissance reposent sur les hommes, leurs savoirs, compétences et connaissances, ainsi que leur aptitude à les conjuguer pour être en perpétuelle amélioration et innovation : *« Il est une richesse inépuisable, source de croissance et de prospérité : le talent et l'ardeur des femmes et des hommes* ». Lévy définit les contours de cette économie de l'immatériel comme une « *économie qui n'a pas de fondement physique, mais qui place la capacité intellectuelle, la connaissance, l'imagination, l'innovation et la recherche au coeur de la création de valeur ».* Autrement dit, dans le cadre d'économie ou de valeur de l'immatériel, les idées et connaissances sont capitales.

Les conclusions de ce rapport reconnaissent *l'intensité des transformations induites par la révolution informationnelle* et il reconnaît que dans la société qui en résulte, *la capitalisation d'actifs immatériels coexiste avec une culture de la gratuité productrice de biens communs* (comme les logiciels libres, ou les créations partagées). La notion de réseaux d'experts *d'écosystème de l'immatériel* (centre d'intérêts commun) alimente les nouvelles opportunités de travail collaboratif dans des structures trans-organisationnelles en perpétuelles reconfigurations.

Il importe donc ne pas noyer ces experts par la masse d'information ou de liens potentiels, mais plutôt de filtrer et d'activer les éléments pertinents par rapport à leur besoins. Ceci fait l'objet de l'axe intégration des connaissances que je vais développer plus loin.

Nos propositions pour améliorer les performances industrielles se font par le biais de la maîtrise des connaissances et de son intégration dans un environnement à base de connaissances, donc de l'aide au pilotage agile de ce type de projet. L'objectif est de favoriser et faciliter le partage d'expertises nécessaires à la réalisation de projets et de produits de plus en plus complexes.

Il importe, pour ce faire, de faciliter l'accès aux connaissances des différents acteurs des projets indépendamment de leur structure (équipe projet, équipe collaborative ou réseau thématique d'experts). Or les flux, créés par les évolutions des nouvelles technologies de l'information et de la communication, brouillent la pertinence et l'efficacité des informations reçues suite aux requêtes d'utilisateurs. Il faut alors naviguer et trier, dans une masse de plus en plus importante (en quantité et en variété) d'informations (transcriptions et traces des connaissances), pour ressortir ce qui est valide par rapport à son propre besoin.

D'autre part, il ressort que la gestion des connaissances prend un rôle prépondérant dans un monde industriel devenu fortement cognitif ces dernières décennies (voir Figure 4).
Il faut donc modifier tant les méthodes et outils de travail que les structures et organisations qui les supportent [Gar 99]. La validité de l'information, sa valeur et sa performance sont donc à repenser tout au long du cycle de vie des produits et donc du cycle des connaissances [Ple 05]. Un des enjeux est, entre autre, de pouvoir représenter les connaissances partagées par un groupe de collaborateurs, les rendre accessibles et automatiser une partie de ces connaissances pour accélérer les cycles de conception de systèmes tout en maîtrisant les risques liés aux prises de décisions.

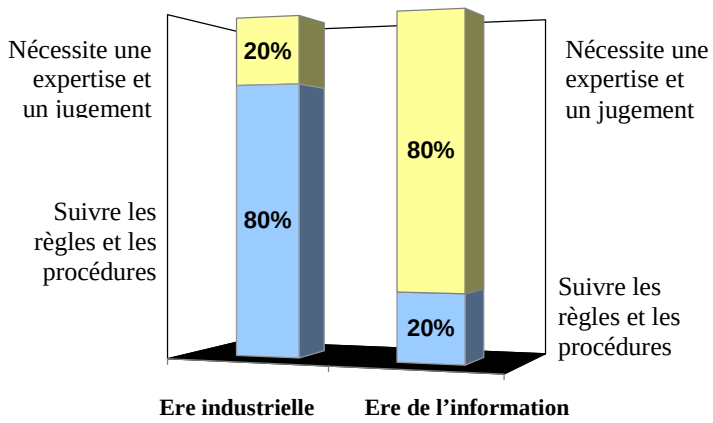


Figure 4: Passage de l'ère industrielle à l'ère de l'information [Gra 00]

Ainsi, je place l'ingénierie de la connaissance comme une ressource à l'interface entre :

- Des experts métier riches de connaissances, savoirs et savoir-faire formalisés ou non, souvent peu accessibles et donc non partagés,
- Des utilisateurs (experts ou non) avides de compléments d'informations et de connaissances pertinentes dans leurs domaines propres et connexes, pour les aider à prendre des décisions pertinentes,
- Des développeurs de solutions capables de recueillir ces représentations de connaissances et de les manipuler (actuellement seul des applications logicielles intégrant de l'intelligence artificielle répondent à ces exigences de manipulation automatique).

Ainsi l'ingénierie des connaissances vise à favoriser la production de représentations qui améliorent la synergie entre la maîtrise des connaissances et l'application de l'expertise au travers d'un pilotage et d'une rationalisation d'éléments de modélisation pour augmenter la connexion avec la réalité (traduit par les interactions entre les connaissances et les savoirs).

Ces informations, dans un contexte pertinent pour un utilisateur (système d'interprétation), augmentent son expertise pour permettre de nouvelles mises en application (augmentation du pragmatisme) ou une meilleure compréhension (augmentation de la sémantique) comme nous le proposons (voir Figure 5 tiré de l'analyse épistémologique de la connaissance de Candlot). Nous envisageons l'expertise comme un regroupement des concepts de connaissance, de savoir et de sens. Ceci tranche avec les propositions précédentes de Gardoni [Gar 99] ou Labrousse [Lab 04a-b] qui ne se placent que sur une progression : donnée - information - connaissance - compétence. De plus, nous essayons d'articuler le concept de valeur dans cet ensemble et, d'envisager les possibles parallèles avec les notions de coût et de prix.

Le management des connaissances est un aspect incontournable si l'on se réfère au besoin de comprendre pour modéliser dans l'objectif d'évaluer pour piloter. La gestion des connaissances, ou plus largement l'ingénierie des connaissances, propose des modèles, des méthodes et des outils qui doivent être :

- génériques pour s'appliquer indépendamment des domaines d'expertises et des objectifs de formalisation/modélisation souhaités,
- pragmatiques et opérationnels pour fournir des solutions utilisables dans le temps à des niveaux propres au domaine d'application et au projet de déploiement.

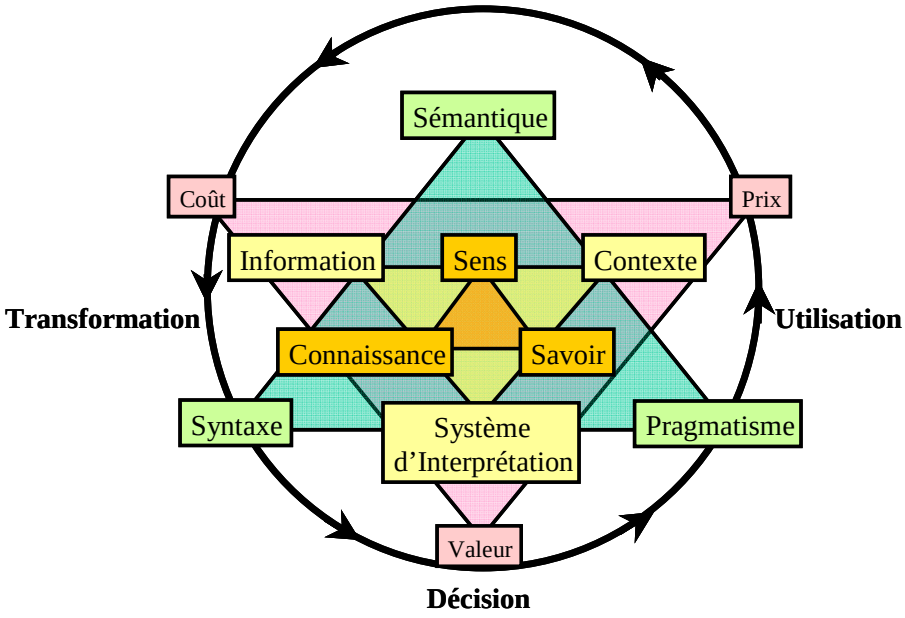


Figure 5 : Vue d'ensemble de la génération de valeur à travers l'activation d'expertise [Can 06]

Ceci fait l'objet de la première revendication de ce document avec en particulier la mise en œuvre et l'enrichissement de la méthode MOKA[21] pour aboutir à la spécification d'une application métier basée sur des règles d'experts : intégrer l'expertise de gammistes concernant la préparation d'usinage de pièces aéronautiques complexes dans une application CFAO (Projet USIQUISK [@USI]). Cette spécification s'est faite en deux étapes : une première phase de formalisation et structuration de la base de connaissances (MOKA informel comme présenté sur la Figure 6), suivi d'une seconde phase de spécification de l'application (MOKA formel).

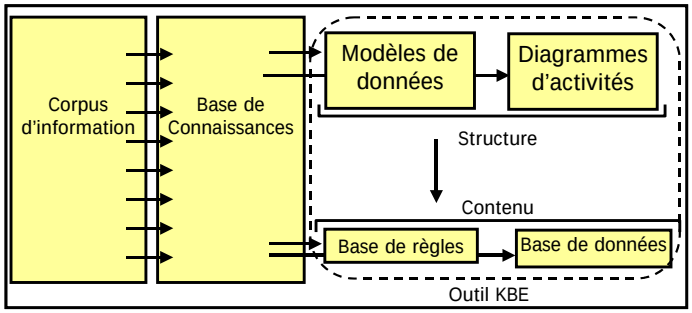


Figure 6 : Structuration des connaissances : phase informelle de MOKA [C.2006.1]

Cette revendication va au-delà de cette première étape puisqu'elle propose une démarche d'accompagnement de l'intégration par le développeur (en contextualisant son travail et en fournissant des étapes de validation / justification des éléments développés) et devrait proposer

[21] MOKA (Methodology & software tools Oriented to Knowledge based engineering Applications) est le fruit d'un projet de recherche européen dont l'objectif est le développement d'un cadre pour modéliser et représenter des connaissances de conception et d'ingénierie [AMM 04] [CAL 98] [@MOK]. Cette méthode distingue le modèle formel du modèle informel. MOKA donne ainsi l'occasion de référencer des éléments de savoir et de les positionner dans une construction assurant la cohérence épistémologique. Nous détaillerons plus avant cette méthode dans la partie approche orientée connaissances des méthodes spécifiques de gestion des connaissances du chapitre 3.2.3.2

un guide d'utilisation et de bonnes pratiques pour la vie de l'application (entre autre la maintenance et l'enrichissement de la base de connaissances).

Ce projet a contribué à l'élaboration d'une réflexion globale sur le pilotage de projet à base de connaissances qui complète cette revendication. Cette partie présente une approche systématique d'identification de principes d'assistance à la maîtrise d'ouvrage pour la consolidation et l'intégration d'expertise. Cette méthodologie s'appuie sur :

- une évaluation de la maturité de gestion d'entreprise (**4 niveaux de maturité**),
- des supports au déploiement de projets (**4 piliers**) : les corpus documentaires, les réseaux de concepts, les spécifications d'évolution et les outils de gestion,
- une représentation et une analyse guidée (**3 couples de concepts**) : syntaxe / sémantique, infrastructure / architecture et domaine / projet.

La méthode s'appuie sur ces éléments pour proposer **8 phases** systématiques de modélisation du projet (son infrastructure et son architecture) et du suivi de son intégration et de son développement (cf. Figure 7).

Cette démarche aboutit à fournir un algorithme méthodologique qui aide à analyser ce type de projets et propose une série d'outillage en méthodes, outils et concepts pour mener de manière optimale un projet d'intégration d'expertise métier dans un environnement virtuel.

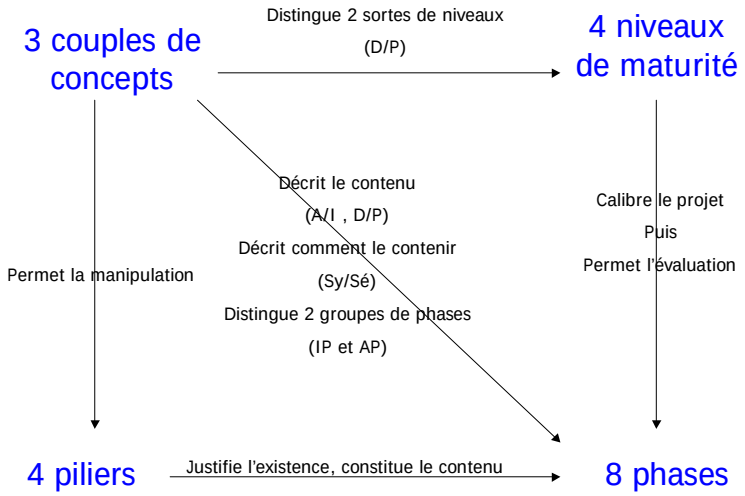


Figure 7 : Vue d'ensemble des interactions entre les éléments structurants [Can 06]

Ces deux précédents thèmes constituent le cœur des travaux de thèse réalisés par S. Ammar-Khodja et A. Candlot, et dont j'assure le co-encadrement. De plus, sans l'expliciter fortement, ces travaux introduisent la notion de valeur associée à cette richesse non marchande qu'est la connaissance[22]. Cette Knowledge Chain, comme la définie Holsapple [Hol 01, 04], est une notion très similaire aux approches de chaîne de valeur produit (value chain). Ces réflexions enrichissent la deuxième partie de revendications qui se centrent sur l'évaluation technico-économique en ingénierie.

[22] La connaissance peut être partagée voir cédée, sans que son possesseur initiale n'en perde le contenu ni l'usufruit. Cette notion de valeur non marchande tranche avec les approches de valeurs ou de coûts liées aux produits dont l'échange (commercial ou non) en dépossède l'un des acteurs.

Si l'on reviens sur les conclusions du rapport sur *l'économie de l'immatériel*, les auteurs restent attachés à la notion de valeur comme essentiellement issue de performances économiques (ce qui est l'objectif des mesures proposées dans ce rapport) sans franchir le pas de la valorisation des nouveaux réseaux ou des démarches de partages des connaissances, qui sont les potentiels d'innovation et de progrès. Or la notion de valeur est perçue avec des points de vues différents tout au long du cycle, par des acteurs qui interviennent dans la matérialisation et la consommation des produits ou services. Mais que l'on traite de l'évaluation économique ou de celle de la valeur, ces aspects restent souvent difficilement mesurable rapidement et efficacement pour l'ingénieur dans son processus de décision. Il importe donc de faire le lien avec le monde la gestion et le monde de l'ingénieur. Le produit ou le système doit associer juste performance, juste coût, juste qualité, et tous les acteurs doivent y retrouver les attentes liées aux valeurs qui sont les leurs.

La prise en compte des aspects économiques s'avère être, au travers du triptyque coût / risque / valeur, un des éléments d'évaluation de performance les plus critiques dans les structures d'entreprises actuelles [Elh 05]. Or, et nous reviendrons sur ce point plus loin, l'équilibre des systèmes économiques a basculé d'un environnement industriel fortement productif vers un monde fortement cognitif. En conséquence, les parts fixes et variables ont vu leur importance radicalement inversées. Ainsi, les anciennes approches de comptabilité analytique (sections homogènes) s'avèrent peu adaptées pour assurer un suivi de gestion efficace sur le cycle complet de vie des produits.

Dès les années 60, Perrin avait soulevé ce problème et commencé à remettre en cause la méthode des sections homogènes [Per 63]. Les méthodes à base d'activités et d'inducteurs de coûts (méthodes ABC[23] ou UVA[24]) ont été conçues pour répondre à ce problème [Bes 00]. Les années 90 ont donc contribué à l'analyse des systèmes d'évaluation économiques et aux propositions de méthodes et de leur déploiement en adéquation avec les évolutions du monde industriel. Ces approches à base d'acticités semblent offrir des possibilités de valorisation au plus près des réelles activités de l'entreprise [Mev 98] [Por 96] [Nor 93].

Au cours de la dernière décennie, l'ABC a fait l'objet de la majorité des recherches en comptabilité de gestion. Ces travaux permettent d'identifier les phases du processus de mise en œuvre d'une méthode d'évaluation des coûts [Gos 03a]. Cependant, plus de dix années après, ces approches innovantes peinent à percer massivement, alors que toutes les entreprises sont dotées de systèmes de gestion de coûts. L'appropriation de ces approches dépend tout autant de la taille et de la complexité des processus de production, mais aussi de la culture, de la stratégie ou de la structure des organisations [Gos 03b] [Inn 00] [Mev 03].

Or, comme nous venons de le voir, si les systèmes de gestions tardent à s'adapter aux évolutions du monde industriel, ils ont peu prévu de ressources disponibles pour les ingénieurs dans leur volonté de maîtrise des coûts qu'ils soient en phase de conception ou en production de produits.

Ce thème de recherche vise à combler le manque d'outillages d'évaluation économique pour l'ingénieur, domaine souvent réservé à une expertise de gestion d'entreprise coincée dans des structures d'exigences légales de bilan comptable et donc peu restituables pour l'ingénieur. Les ingénieurs sont dépourvus de méthodes et d'outils d'évaluations économiques pour maîtriser l'impact des choix qu'ils doivent prendre. Ces méthodes évoluent durant le cycle de vie du

[23] Activity Based Costing
[24] Unité de Valeur Ajoutée

produit et doivent permettre de mettre la fonction coût au même niveau que les fonctions techniques et non plus comme une conséquence de celles-ci.

Il importe donc de faire une étude approfondie des méthodes connues et pratiquées dans les entreprises, puis d'élaborer des méthodes d'analyse des inducteurs de coûts, des facteurs de valeurs et de risques. Les résultats de ces analyses sont des modèles et stratégies d'évaluation des coûts, en vue de leur utilisation à des fins prédictives sur des chaînes de valeurs d'entreprise.

Cette partie recouvre la volonté d'intégrer des connaissances d'experts de gestion pour des besoins d'utilisateurs en ingénierie avec de possibles enrichissements d'outils métiers actuellement quasi dépourvus de sémantiques coûts, la CAO par exemple. La notion de valeur prendra ici un rôle tout particulier, s'appuyant sur des éléments palpables de l'évolution du produit, ou les traductions de processus d'entreprise au travers de ses chaînes de valeurs [Por 98] [Ram 99] [Nor 03] [Kap 02] Kap 04].

Je m'efforcerai de montrer que ces thèmes ont trouvé des interactions dans les différents réseaux (européens ou nationaux) et dans les collaborations que nous avons eues.

Mais pour commencer, je vais revenir sur mon travail de thèse pour montrer, d'une part ma position ou mes accroches expertes et mon affinité pour les aspects d'arts et manufactures, d'autre part pour mettre en perspective mes aptitudes de recherche et de développement appliquées aux exigences industrielles et à la nécessité d'approfondir les connaissances et la compréhension d'un domaine.

2. Reconversion thématique

Ma première expérience de chercheur a commencé au laboratoire de Mécanique et Matériaux de l'Ecole Centrale de Nantes[25] en 1996 sur un sujet de recherche et développement de procédé de soudage (ATIG) appliqué aux aciers inoxydables et aux alliages de titane.

Cette expérience m'a tout de suite confronté aux problématiques et exigences industrielles. En effet, le DEA et la thèse se sont déroulés en collaboration opérationnelle avec les sociétés BSL Industries et Castolin Eutectique S.A. Ceci a permis de me confronter directement à des problématiques :

- de développement et transfert à l'équipe de Recherche et Développement des deux sociétés,
- de validation des résultats à l'échelle sur des systèmes industriels,
- d'harmonisation des objectifs de recherche scientifique et de compréhension, formalisation et modélisation de phénomènes, contradictoires avec des exigences industrielles de résultats rapides, appliqués et suffisants.

Ce travail a été soutenu en Juin 2000, délivrant le diplôme de *Thèse de Doctorat de l'Ecole Centrale et de l'Université de Nantes*, dans la discipline *Sciences de l'Ingénieur*, spécialité *Génie Mécanique*.

Titre :	Etude et développement de flux solides pour le soudage ATIG appliqué aux alliages de titane et aux aciers inoxydables	
Mention :	Très Honorable avec Félicitation	
Lieu :	Laboratoire de Mécanique et Matériaux, Ecole Centrale de Nantes	
Dir. de Thèse :	S.K.MARYA	
Président :	D. Le HOUEDEC	Professeur, Ecole Centrale de Nantes
Rapporteurs :	F. MONTHEILLET	Directeur de recherche CNRS, St Etienne
	H.P. LIEURADE	Directeur Dpt. Matériaux, CETIM - Senlis
Examinateurs :	F. PIERRON	Professeur, ENSAM Châlons en Champagne
	M. FRANCOIS	Maître de conférences, LAMM St NAZAIRE
Invités :	E. SOUTIF	Directeur Technique B.S.L.i, Soissons
	C. DUBOIS	Dir. Service Brasure CASTOLIN EUTECTIC, Lausanne

2.1 Résumé du travail de thèse

Le soudage TIG réalise des assemblages de qualité avec un arc électrique, généré entre une électrode réfractaire de tungstène et une pièce à souder, dans une veine de gaz inerte. Ceci en fait un procédé de prédilection pour les industries chimiques et pétrochimiques, aéronautiques,

[25] Depuis, ce laboratoire a évolué avec d'autres et est devenu l'Institut de Recherche en Génie Civil et Mécanique : http://www.ec-nantes.fr/88434859/0/fiche_LGEM__pagelibre/

agroalimentaires ou nucléaires. Mais cette excellence se fait au détriment de cordons soudés pénétrants.

Ceci conduit à une limite opératoire en une seule passe de 2,5 à 3mm d'épaisseur à assembler. Au-delà de ces valeurs, il est nécessaire d'usiner les bords à souder, puis d'effectuer des passes multiples avec métal d'apport pour réaliser l'assemblage souhaité. La productivité, la déformation des assemblages, la pollution de bain et donc les caractéristiques mécano-chimiques sont réduites. L'enjeu du travail de thèse est de s'affranchir de cette limite tout en conservant l'excellence et la qualité associée au procédé TIG.

Les origines de ces limites sont de deux ordres :

- d'une part, l'absence de transfert de métal conduit à un arc diffus dont l'énergie spécifique est faible, le rendement d'arc est donc médiocre (≈60%) [Key 93] [Men 98] [Cho 91] [GTA 91] [Tsa 83],
- d'autre part, le métal fondu a naturellement tendance à être mouillant, c'est-à-dire à générer des courants de convection thermo capillaires, internes au volume fondu, orientés du centre vers les bords du bain [Bur 86] [Mil 84] [Mar 96] [Hei 85].

Il apparaît alors évident que pour améliorer ce procédé, il faudra intervenir à la fois sur les densités d'énergie (conception de torche, affûtage et nature d'électrodes, mélanges gazeux…) [Deb 96] [Lee 96] [Mil 90] [Saf 94], mais aussi sur les courants internes au bain de fusion (micro chimie de bain de fusion) [Ela 90] [Ero 79]. En effet, la présence d'éléments dans les métaux, sous forme de traces, peut fortement affecter les profils des zones fondues. La mise en évidence de ces éléments, appelés tensioactifs, permet de connaître les nuances de matériaux qui présenteront ou non de fortes pénétrations de bain. Ces composés, comme le soufre ou le sélénium, ont des taux qui, malheureusement pour les procédés de soudage, ont fortement diminué durant les 20 dernières années, les aciéristes raffinant de plus en plus leurs productions. Les matériaux sont donc de plus en plus exempts d'éléments tensioactifs, or, en parallèle, les exigences industrielles en durée de vie et en conditions d'utilisation des appareils conduisent à augmenter les épaisseurs moyennes des ensembles à fabriquer.

Dans ces conditions, nous avons alors cherché à développer un procédé, qui, sur la base du matériel de soudage TIG, permet de s'affranchir des 3mm de pénétration actuellement critiques (cf. Figure 8). Pour ce faire, nous avons étudié une technique de soudage appelée ATIG (TIG actif), technique qui émerge en construction mécano soudée de produits chaudronnés depuis le milieu des années 90. Cette solution utilise un dépôt alcalin de flux actif qui joue un double rôle au passage de l'arc :

- il modifie le comportement et l'équilibre électrochimique de la zone ionisée, conduisant à une constriction de l'arc électrique, réduisant ainsi la tache anodique ; les densités de courant et d'énergie sont donc augmentées au sein de la source thermique,
- il inverse les courants de convection thermo-capillaires au sein du bain métallique, initiant alors des courants centrifuges qui sont favorables au transfert des calories dans la pièce ainsi qu'à la formation de profils de bains pénétrants plutôt que mouillants.

Il en résulte une forte modification de l'arc et de la morphologie des cordons soudés, doublant la gamme des épaisseurs soudables d'une seule passe (voir Figure 9, Figure 10 et Figure 11).

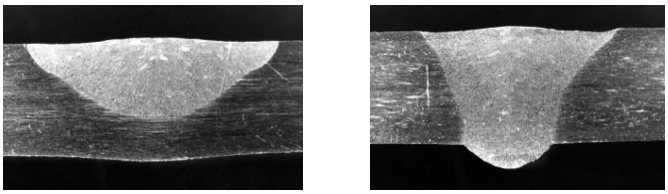


Figure 8 : Cordon TIG et ATIG d'acier inoxydable 304 d'épaisseur 5mm sous les mêmes paramètres opératoires Intensité et Tension d'arc ainsi que vitesse de déplacement

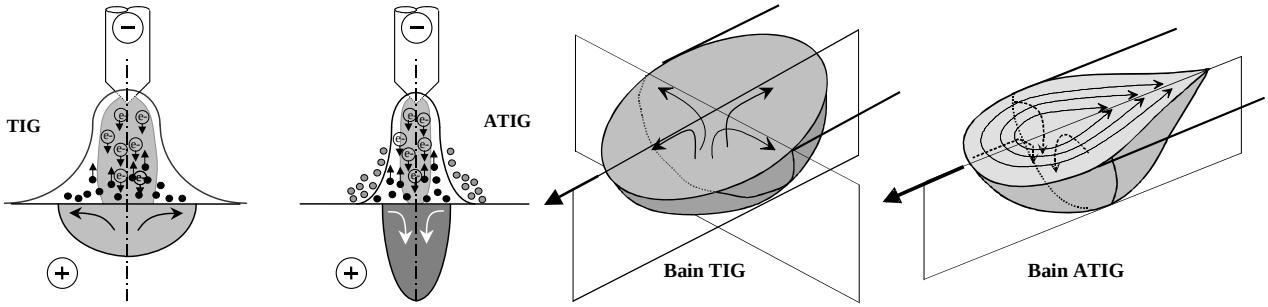


Figure 9: Schéma des modifications d'arc TIG et ATIG et courants de convection dans les bains TIG et ATIG

Au cours de notre travail, nous avons étudié les effets de flux utilisés sur les comportements de bain métallique et d'arc électrique. Nous avons notamment mis en évidence l'importance des phénomènes de tension de surface et les courants de convection (courants de Marangoni) et leurs effets sur la morphologie fondue du bain. Cette analyse des différents mécanismes activant la soudabilité a permis d'élaborer un modèle global d'activation des flux en soudage ATIG qui a été enrichi et complété par deux autres travaux de thèses sur le même thème.

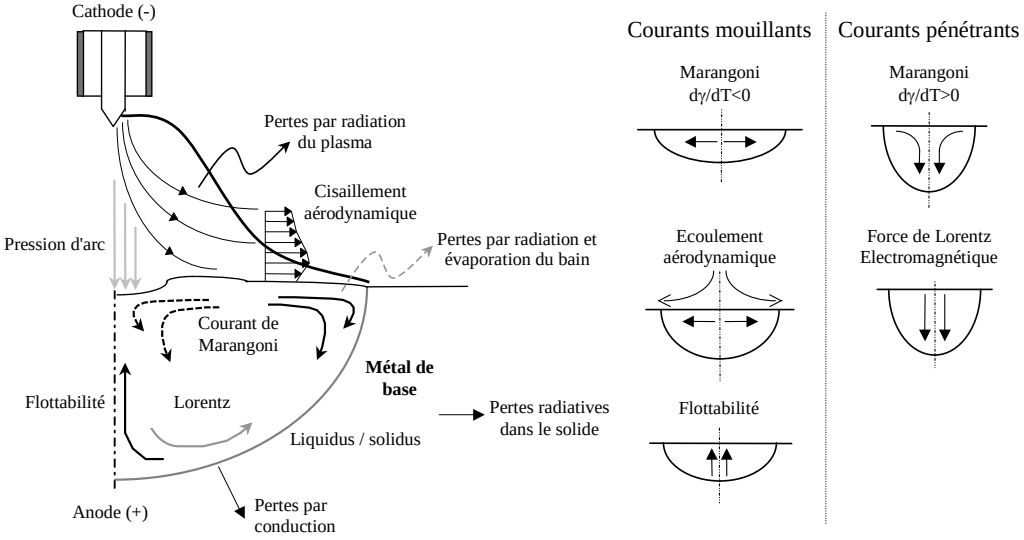


Figure 10: Les différents courants du bain de fusion

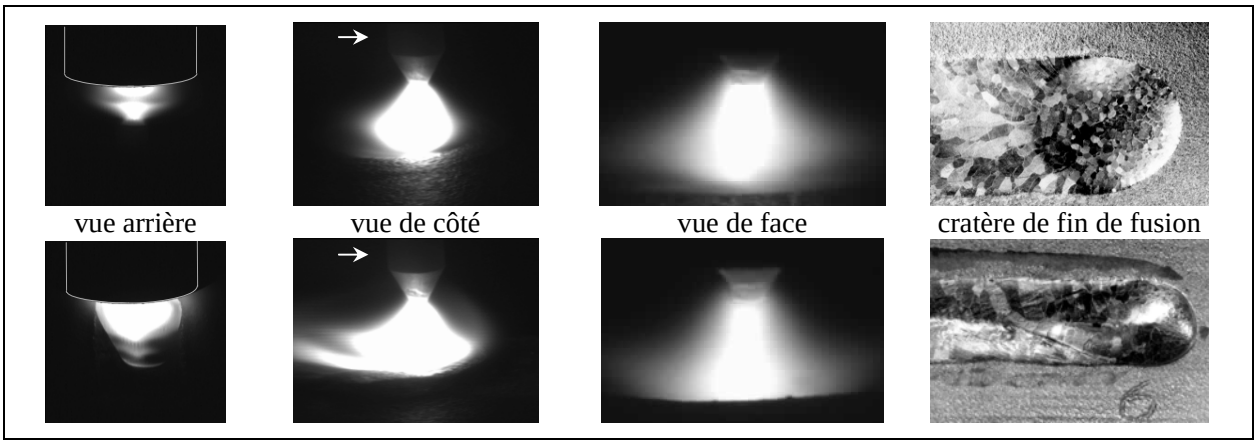


Figure 11 : Morphologie comparative d'arc et de cratère de fin de fusion en soudage TIG (en haut) et ATIG (en bas)

Nous avons de plus mis au point des compositions qui sont optimales au sens des exigences des soudeurs experts de chez B.S.L Industrie tout en formalisant la démarche de recherche et obtention de compositions optimales au sens des utilisateurs experts soudeurs (dans le but de futurs développements pour d'autres nuances de matériaux). Il est alors possible de réaliser des soudures ATIG d'aciers inoxydables et d'alliages de titane en soudage automatique ou manuel jusqu'à des épaisseurs de 7mm. Ces soudures ont été caractérisées mécaniquement pour s'assurer qu'elles sont conformes aux normes en vigueur pour la fabrication d'appareils à pression. Ces formulations nous ont permis de proposer une démarche générale de sélection et de recherche applicables pour le développement de cette technique sur d'autres nuances de matériaux.

Nous avons enfin balayé la gamme des possibilités offertes par le soudage ATIG. Différentes maquettes et prototypes d'assemblages en fortes épaisseurs ont été produits en conditions industrielles, réalisés en 1 ou 2 passes ATIG contre 3 à 6 passes TIG. Nous avons alors dressé une rapide comparaison technico-économique comparative entre les procédés TIG - ATIG et plasma. Il ressort que les coûts de fabrication ATIG sont globalement deux fois moindres qu'en TIG pour des temps de fabrication réduits de moitié. La solution ATIG possède alors tous les atouts pour s'imposer comme un procédé fortement concurrentiel du soudage TIG multi-passes, mais aussi, du soudage plasma pour les épaisseurs supérieures à 3mm.

Cette étude a été menée en partenariat avec la société B.S.L. Industries (Soissons, FR.) pour la partie développement et la société Castolin Eutectic (Lausanne, CH.) pour la partie industrialisation et commercialisation des compositions développées. Cette approche utilise les mêmes équipements qu'en soudage TIG, auxquels on ajoute un produit d'activation déposé préalablement sur l'endroit des pièces à souder. Là où le soudage TIG est limité à 3mm de pénétration, le soudage ATIG permet de réaliser, dans les mêmes conditions, une soudure de pénétration allant jusqu'à 7mm d'épaisseur.

Ces développements ont donné lieu à un accord commercial triparti entre l'Ecole Centrale de Nantes, la société B.S.L. industries et la société Castolin Eutectic. Les produits sont en commercialisés sous les noms de flux Activatec 500 (pour les aciers au carbone et inoxydables) et Activatec 860 (pour les alliages de titane). L'utilisation et la validation industrielles de ces produits ont été effectuées par la société B.S.L. Industries pour la fabrication d'échangeurs de chaleur pour une colonne de réacteur chimique sur des assemblages tube-tube par procédé orbital.

Les gains en temps de fabrication se chiffrent à plus de 1000 heures de soudage, pour un gain économique estimé à plus de 42 000€.

Nous ne sommes pas sortis du domaine de compétence du soudage puisque l'ensemble des composants utilisés pour définir nos formulations finales est déjà employé par d'autres procédés comme le soudage à l'électrode enrobée, le soudage sous flux solide ou le soudage avec fil fourré.

Ce travail a donc visé à :

- développer un procédé de soudage A-TIG (évolution du soudage TIG) et qualifier/caractériser les paramètres opératoires industriels, pour s'affranchir des limites de pénétration à 3mm sur les aciers inoxydables et les alliages de titane,
- étudier l'impact procédé - matériaux du soudage ATIG sur les assemblages réalisés tant au niveau métallurgique que mécanique,
- identifier, valider, évaluer les interactions actives du procédé au niveau de l'arc électrique (du procédé TIG), du métal en fusion (des pièces à souder) et des produits alcalins.

Ce travail a associé :

- des approches expérimentales (points de fusion, lignes de fusions, soudure, essais mécaniques, radiographies…)
- des modélisations et identifications de phénomènes physico-chimiques et métallurgiques (approches d'étude et d'analyse par plans d'expériences, utilisation de Laser, analyse / reconnaissance et traitement d'image, spectroscopie de plasma d'arc, mesure de courant et intensité d'arc, MEB …),
- des validations et quantifications des hypothèses de modélisation des phénomènes,
- une démarche de formalisation de la méthode de développement de produit pour du soudage A-TIG.

A l'issue de cette étude :

- les principes d'interaction ont été compris, mis en évidence et évalués,
- les développements de compositions optimales ont été définis et livrés à Castolin Eutectique pour industrialisation et commercialisation,
- la validation d'utilisation industrielle du procédé et des caractéristiques de joints soudés attendues a été réalisée sur des échangeurs réalisés par B.S.L. Industrie, en soudage manuel et en automatique jusqu'à des épaisseurs de 7mm sur aciers inoxydables,
- la démarche de développement de nouveaux flux activant a été formalisée et continuée pour d'autres nuances.

Ce travail a été suivi par deux autres thèses qui ont continué et conclu ce thème de recherche au laboratoire GeM de l'école Centrale de Nantes (S. Sire soutenu en 2003 et G. Rücker en 2005). Ceci a permis d'affiner et de compléter les propositions théoriques de mode d'action, les analyses métallurgiques et mécaniques des assemblages réalisés, tout en développant pour d'autres nuances de matériaux à assembler.

Ce travail à donner été valorisé par une publication en revue [A.2000.1], cinq dans des conférences internationales [D.2003.5] [D.1998.1] et nationales autres publications [E.1999.1] [F.1998.1] [H.1997.1].

2.2 Mise en perspective du travail de thèse

Ce travail dans les domaines liés à l'impact procédé / matériaux m'a placé en position d'interlocuteur entre :

- des experts soudeurs cherchant à allier productivité, efficacité et juste qualité, la société B.S.L. Industrie et son équipe de recherche et développement,
- des experts en développement et industrialisation de consommables de soudage, la société Castolin Eutectique S.A. et son centre de recherche et industrialisation brasure, soudage et projection thermique,
- des experts métallurgistes au sein du laboratoire de recherche.

Il est donc apparu important de :

- définir, aligner puis synchroniser les objectifs de chacun. Il a entre autre fallu trouver des compromis entre une solution rapidement opérationnelle, une solution qui sort de l'artisanal et du génie de laboratoire et une volonté de compréhension poussée des phénomènes et interactions,
- s'accorder sur la traduction fonctionnelle des sensations des utilisateurs. Comment mesurer opérationnellement que « l'arc est doux », « le bain mouille bien », « le dépôt est suffisant » …,
- de partager entre tous les acteurs un même niveau minimal de compréhension et de connaissances sur les phénomènes mis en jeu pour, par exemple, percevoir l'impact d'une formulation ou de conditions opératoires sur la stabilité du bain et ses conséquences sur les structures cristallines du cordon au détriment de l'efficacité de pénétration ...

Ce travail peut se décomposer en une approche classique de :

- constatations et mesures expérimentales : énergies mises en jeu, géométries de cordons soudés et de bain de fusion, découplage des phénomènes d'arc et de microchimie de bain, mesures relatives des forces thermo/hydro/mécaniques dans le bain,
- formulation d'hypothèses et de modèles de comportement : actions de courants issus des gradients de tension de surface (modèle thermo-capillaire de Marangoni dans le bain en compétition avec le cisaillement aérodynamique), actions de striction d'arc le long de la colonne ionisée, modèle de pénétration de flux thermiques,
- industrialisation
  - du produit : optimisation des activateurs en fonction des familles de matériaux à souder, formalisation de la démarche de recherche de cette formulation, industrialisation du produit commercial …,
  - du procédé : transfert de technologie, réalisation de prototypes testés, recherche des gammes de paramètres opératoires, de validation manuelle et automatique du procédé de soudage, de la réalisation d'un ensemble complet avec cette technologie.

Ceci pourrait se ramener, en anticipant sur la structuration proposée par Candlot, et développé au chapitre 3.3.5. page 129, en deux phases :

- **Modélisation** : formalisation du problème de développement en cohérence avec les objectifs de chacun. Cette phase se découpe en plusieurs étapes. La première consiste en l'identification des connaissances et des savoirs nécessaires à la compréhension du problème, suivi du raffinement, de la formalisation et la modélisation des connaissances pour résoudre le problème.

- **Intégration** : seconde phase composée d'une étape de transmission de savoirs à l'équipe de développement de produits pour le soudage, une étape de transmission de savoir-faire à l'équipe de recherche et développement de l'entreprise utilisatrice et une étape de transmission d'expertises aux doctorants dans la même thématique.

Je n'irai pas plus loin sur la description de mes travaux de thèse, mais je retiendrai qu'il est impératif de maîtriser un métier technique (ou un domaine technologique des métiers de l'ingénieur) avant de prétendre à un poste ou une fonction de responsabilité. Ce métier sert de socle de réflexion ou de base pour construire les expériences à venir soit en s'appuyant sur son propre métier, soit en s'y référant par analogie avec des nouveaux problèmes rencontrés. Ce savoir, loin d'enfermer dans un cadre limité sert de rampe (ou tremplin) aux évolutions qui s'offrent dans le cadre du métier de l'ingénieur ou du chercheur. De plus, je pense qu'il est rafraîchissant (intellectuellement parlant) de revenir régulièrement à des applications et des problèmes qui confrontent aux techniques pour rappeler le sens du réel et du concret.

3. Recherche à l'IRCCyN

3.1. Contexte de recherche

3.1.1. Introduction

L'essence de la recherche appliquée comme nous la pratiquons en science pour l'ingénieur est d'approfondir un domaine spécifique pour répondre à un problème généralement issu d'un contexte industriel.

La démarche scientifique classique d'observation, d'identification, de modélisation en vue de prévisions et/ou prises de décisions peut être analysée au travers du filtre d'une approche de gestion des connaissances (modélisation et enrichissement). Sans réduire un travail de recherche ou de développement à un simple déroulement de recettes, ce qui minimiserait la part d'intuitions, d'innovations et de créations dans un tel processus, il apparaît qu'une méthodologie systématique pourrait guider le pilote (de projet) ou l'ingénieur à affronter sa problématique et à mener sa résolution.

Les contributions de recherche présentées dans ce mémoire visent à assurer la **gestion de la connaissance** et le **pilotage de son industrialisation**. L'industrialisation est vue au sens des transformations pour l'intégration et l'utilisation partiellement automatique et optimisée en interaction avec un utilisateur final. Cette industrialisation, par le biais d'un environnement spécifique facilitant l'accès et le partage de ces connaissances, vise à **améliorer la performance industrielle** et à **valoriser ce capital immatériel**.

Ceci va se faire au travers de deux aspects qui représentent la majeure partie de mes revendications :

1. La **manipulation de la connaissance :** comment en tirer parti au mieux, la structurer et l'intégrer dans un environnement propice à son utilisation efficace, la partager pour créer de la valeur et de l'innovation ? (interaction avec le domaine)
2. Le **suivi de l'intégration de la connaissance :** comment piloter le déploiement en accord avec les besoins spécifiés et les domaines à intégrer ? (interaction avec le projet)

D'autre part, les méthodes et outils dédiés aux ingénieurs pour le pilotage économique sur le cycle de vie produit sont très complexes à mettre en oeuvre ou peu performantes. Ce sujet fait l'objet de la seconde partie de mes revendications, cette contribution visera à approfondir :

3. L'**évaluation économique en ingénierie** : comment aider l'ingénieur à décider objectivement avec des indications économiques fiables tout au long du cycle de vie ?

Cette dernière partie traduit une volonté d'intégration de connaissances expertes (non maîtrisées par l'ingénieur, non complètement fiables et formalisées du côté du monde de la gestion) dans un cadre métier de conception et production de produits ou de systèmes.

Nous détaillerons plus loin une proposition pour outiller et systématiser une démarche aidant à affronter des projets à base -d'intégration et de partage- de connaissances, que ce soit au travers d'applications métiers dédiées, de mise en place de plates-formes collaboratives ou de réflexions plus globales sur les structures qui supportent ces projets.

La première étape réside en la capacité à manipuler les connaissances pour la capitaliser et la diffuser, ainsi que pour l'automatiser partiellement[26]. Nous allons alors présenter une démarche qui mène de l'information à la connaissance, aux bases de connaissances puis aux outils à base de connaissances. Extractions, formalisations, structurations, validations de cohérence permettent la spécification des applications métier qui supportent les exigences de partage et d'accès aux connaissances (thèse de Melle Samar Ammar-Khodja).

Une fois accessible par des utilisateurs dans des domaines d'expertises connexes ou complémentaires (connaissance diffusée donc partagée), les processus mutuels d'enrichissement et de fertilisation croisée permettent d'augmenter ce capital intellectuel. Il importe d'optimiser la gestion de ce capital.

C'est l'objet de la seconde étape qui vise à systématiser une approche de management de projet à base de connaissances pour optimiser un déploiement d'efforts et d'actions, indépendamment du domaine d'application. L'analyse des outils et méthodes qui permettent de manipuler les objets de connaissances, d'évaluer la maturité organisationnelle dans ce contexte, de faire évoluer les éléments supports de l'expertise, permettent de proposer une progression en deux phases et huit étapes pour mener à bien le suivi de ces projets (thèse d'Alexandre Candlot).

Si ce dernier point vise à optimiser le capital intellectuel des entreprises, il n'en demeure pas moins que la valeur associée aux connaissances reste un concept difficilement mesurable et donc valorisable. Avant d'être en mesure de la définir clairement et de la mesurer, nous allons regarder, de manière plus pragmatique, la valeur au travers de l'analyse du coût ou du prix (primordiaux pour évaluer la rentabilité des produits ou des systèmes). Ainsi, la dernière partie présentera les travaux relatifs à la recherche d'outillage économique pour l'ingénieur dans le but d'évaluer et de piloter en phase de conception ou de production de biens ou de services (thèses de Jean-Charles Delplace et de Melle Magali Mauchand).

En conséquence de quoi, je propose de découper les apports que je revendique en deux grands thèmes :

- Intégration des connaissances,
- Evaluation économique.

Je laisserai une place conséquente au positionnement bibliographique qui réfère à des communautés scientifiques (ingénierie de la connaissance et sciences de gestion) desquelles j'utilise les approches ou les outils, pour les appliquer aux problématiques d'ingénieurs de conception ou production. A l'issu de quoi j'essaierai de faire ressortir les principaux apports de chaque contribution avant de les détailler partiellement.

Mais avant toute chose il est nécessaire de décrire le contexte de ces travaux au sein de l'équipe projet Ingénierie Virtuelle pour le Génie Industrielle de l'IRCCyN. Rappelons pour commencer que cette équipe projet a été crée en 2002, portée par A. Bernard et moi même.

[26] Les connaissances entièrement automatisables relèvent de la science fiction avec des robots plus intelligents que leurs concepteurs, je laisse ces perspectives aux écrivains d'anticipation.

3.1.2. Positionnement et Contexte de recherche

Le contexte industriel a évolué d'une époque d'industrialisation de masse (révolue) vers un marché de la personnalisation des produits (customisation) [Sch 04] [Van 07]. Cette ère post-industrielle s'ouvre vers un monde tourné vers les services où les connaissances sont un capital qu'il va falloir cerner et valoriser [Mer 07]. Lévy appuie cette idée : *L'ère post-industrielle est là … la croissance dépend moins des usines que de l'imagination* [Lev 06].

Ce contexte s'accélère tant sur le nombre d'exigences souhaitées par le client que sur l'augmentation du besoin de réactivité nécessaire pour répondre à la demande toujours changeante. Le client est au centre du processus, pour maintenir un niveau de compétitivité suffisant, il faut répondre et même anticiper ses attentes. Or chaque client veut être reconnu comme unique, ce qui se traduit par une spécification personnalisée et une déclinaison exponentielle des produits dans les phases les plus finales de leur fabrication [Mid 93]. Pour surmonter la complexité croissante des produits, associés à une gestion de plus en plus compliquée de leurs variétés, un décloisonnement entre les domaines d'activités est nécessairement couplé à une approche globale du cycle de vie afin de répondre :

- à un besoin de réactivité au marché,
- à des temps de cycle de vie de plus en plus courts,
- à des études et des mises en production plus complexes,
- à des tailles de lots plus réduites,
- à des changements de répartition des coûts vers une hausse de la part variable,
- aux enjeux du développement durable, à travers une meilleure prise en compte des coûts réels.

Le constat est que les flux physiques et informationnels vont en s'intensifiant. Il faut donc s'adapter à l'environnement en pleine évolution et imaginer des solutions méthodologiques, organisationnelles et technologiques pour affronter ces changements. La gestion des connaissances vise à aider à la navigation dans toute cette nébuleuse complexe de concepts, d'experts, d'informations, etc… Amidon insiste sur l'impériosité de la mise en place de telles démarches dans l'entreprise au risque de périr noyé par l'absence de capacités à affronter cette révolution de l'information [Ami 98].

Pour présenter nos apports sur l'intégration des connaissances, je commencerai par une rapide présentation de l'approche FBS-PPRE proposée par Labrousse qui a été la première proposition sur le thème de la formalisation et la structuration des connaissances au sein de l'équipe IVGI [Lab 04a]. Au travers de ce travail, un systématisme de représentation, d'analyse ou de méthode de travail a été initié. Nombre de ces outils sont issus des domaines des sciences de l'informatique et des systèmes d'information. Cette approche est centrée autour des échanges d'informations d'entreprise.

Comme je vais le décrire plus tard, les propositions relatives aux projets d'intégration des connaissances vont bien au delà de la structuration du système d'information, sur les aspects de formalisation et de développement d'environnements dédiés dont l'objectif est de faciliter le partage et les échanges. L'analyse de la conduite de tels projets a fait l'objet de deux thèses qui se placent à deux niveaux :

- Ammar-Khodja va affiner la démarche d'intégration des connaissances en enrichissant la méthode MOKA. Dans ce travail nous nous intéresserons aux états de la connaissance (ou de

ses traces) qui vont du magma d'expertises livrées en langage naturel non structuré jusqu'à la spécification de l'environnement à base de connaissances, son suivi de déploiement et pour finir par les modes d'utilisation et d'usage de cet environnement. C'est **la maîtrise d'œuvre d'un projet d'intégration des connaissances** qui est le centre de ces propositions**.**

- Candlot quant à lui va proposer un ensemble d'outillage pour aider la préparation d'un tel projet et identifier, pour les anticiper, les problèmes qui seront rencontrés. Cette clairvoyance sur les écueils potentiels permet d'optimiser son déroulement, de suivre et de piloter le projet au travers d'indicateurs dédiés à l'intégration des connaissances. C'est **l'assistance à la maîtrise d'ouvrage de projets à base de connaissances** qui guide alors la proposition.

J'évoquerai de plus des travaux relatifs aux approches de représentations d'expertises par méthodes heuristiques (DEA Rabeau) qui furent la première approche du problème d'automatisation partielle d'une expertise métier. Enfin, j'illustrerai des cas d'applications d'intégration ou de raffinement de la connaissance en milieu industrielle (thèse Delplace, DEA Le Picard et raffinement de connaissances avec le concept OSE dans le projet USIQUISK).

Les **objectifs associés** à cette partie d'intégration des connaissances sont de rendre possible ou d'optimiser :

- L'apport d'une **information pertinente** à l'utilisateur en quête d'expertise sur un problème donné :
  - Par analyse des requêtes pour donner un contexte à la réponse proposée et une justification du raisonnement,
  - Par tri et filtre du flux d'informations, identification et suivi des éléments pertinents,
- La **capitalisation** des connaissances et expertises en les **restituant sans perte** pour :
  - Favoriser l'identification et la formalisation de ses connaissances et expertises (réduire les pertes liées à la dématérialisation et à la transcription),
  - Favoriser la diffusion, l'accès facilité et l'appropriation par l'utilisateur de ses informations pour une recombinaison avec ses références propres (limiter les pertes par re-contextualisation des informations),
- **L'émergence de réseaux de collaborations** pour favoriser la fertilisation croisée des savoirs et l'innovation :
  - Par partage des centres d'intérêts, des savoirs et augmenter le niveau de maturité sur les pratiques,
  - Par une mise à disposition aisée d'accès à ses réseaux symbiotiques, que ce soit au niveau technologique ou organisationnel,
- La **valorisation** de ce **capital** intellectuel, non pas avec une logique de placement et immobilisation des valeurs dans des coffres-forts (capitalisation figée), mais avec une ouverture et une diffusion maximale pour le faire fructifier (capitalisation distribuée).

3.1.2.1. Contexte initial : Modèle conceptuel commun FBS-PPRE

Pour commencer, je rappelle qu'au lancement de l'équipe projet IVGI, M. Labrousse était en thèse CIFRE avec la société Voxan[27] [Lab 04a]. Constatant que les services d'ingénierie fondent la majeur partie de leurs activités sur de la re-conception, tracer et préparer (ou automatiser) les échanges entre services permettrait de gagner en productivité et en fiabilité sur ces phases du cycle de vie produit. Il importe alors de comprendre les échanges d'informations dans l'entreprise pour structurer le système d'information en conséquence.

Par delà l'analyse du cas d'étude Voxan, cette approche permet de faire l'état des objets d'entreprise (informations ou traces de connaissances) échangés dans l'entreprise et de les typer. Ce travail a servi de fondement en termes d'analyse et de formalisation des objets d'entreprise échangés entre les services.

Bien que n'ayant pas partagé d'encadrement officiel sur ce travail, les réflexions et échanges réalisés sur ce thème ont permis d'aboutir à une compréhension et une vision commune au sein de l'équipe :

- définition de référentiel conceptuel commun dans l'objectif de partager une approche générique et argumenter autour d'une conceptualisation,
- compréhension des enjeux des liens entre les systèmes d'information d'entreprise et sa performance industrielle.

Pour résumer rapidement ce travail, il a été proposé un modèle de structuration du système d'information d'entreprise : le modèle FBS-PPRE (Fonction, Comportement, Structure - Processus, Produit, Ressource, Effet externe). L'apport scientifique principal réside en l'unification conceptuelle permettant d'accroître l'homogénéité des objets représentés ainsi que la complétude de la modélisation. Cette approche a donné lieu à de nombreuses publications [Ber 02b] [Lab 04a-b, 03a-b-c, 02] et trois auxquels j'ai contribué : [C.2005.1] [C.2005.3] [D.2005.7].

a. Modélisation unifiée

Le modèle FBS-PPRE (Function / Behavior / Structure - Process / Product / Resource / External Effect) consiste au déploiement du modèle FBS suivant trois vues : la vue processus, la vue produit et la vue ressource.

Dans la modélisation FBS-PPRE, le produit est défini comme le résultat, l'objet d'un processus. Les ressources (matérielles, logicielles, énergétiques ou humaines) sont des moyens qui participent au processus mais qui, contrairement au produit, n'en sont pas la finalité. Les processus (de conception, de fabrication, de contrôle, etc.) sont une organisation temporelle, spatiale et hiérarchique d'activités qui font appel à des ressources (ou moyens) et qui conduisent à des produits (ou sorties).

L'élément *objet d'entreprise* est proposé pour englober les notions de processus, de produit et de ressource. Il défini une entité constitutive de l'entreprise et/ou manipulée par elle et qui joue un rôle dans son fonctionnement. Cet élément générique est destiné à permettre une gestion plus homogène et donc plus efficiente des notions de processus, de produit et de ressource.

Il est à noter que e nombreux objets d'entreprise peuvent être tour à tour processus, produit ou ressource (une machine outil ou un fichier CAO par exemple). On ne peut donc pas dire d'un

[27] Voxan est une entreprise française de conception / fabrication de motos qui a déposé le bilan alors que M. Labrousse était en thèse CIFRE avec eux.

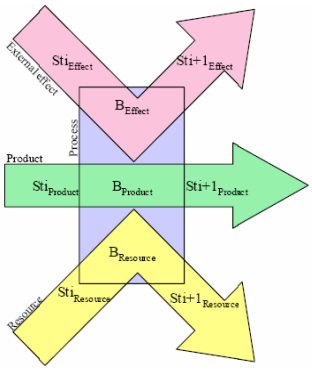
objet d'entreprise qu'il est, mais plutôt qu'il joue un rôle circonstanciel de processus, de produit ou de ressource.

b. Dynamique et comportement dans le modèle

Si les notions de fonction et de structure ne posent pas de problème majeur - elles sont des parties constitutives de l'objet, il n'en va pas de même pour le comportement qui est contextuel et ne peut pas être défini indépendamment d'un processus (celui-ci permet en particulier de délimiter le domaine d'application d'un comportement).

Le comportement n'est pas intrinsèque à l'objet, il résulte d'une interaction entre celui-ci et son environnement via des stimuli. En fait, il ne faudrait donc pas parler du comportement, mais des comportements de l'objet. Les processus apportent en effet l'aspect temporel (donc la dynamique) et l'aspect contextuel aux comportements des objets.

La gestion de la notion de comportement est une originalité et un apport du modèle FBS-PPR. Pour la rendre plus explicite, une représentation graphique est proposée en Figure 12.



Légende : B : Comportement – ST : Etat

Figure 12 : Gestion de la notion de comportement dans le modèle FBS-PPR [C.2005.3]

L'élément processus joue un rôle prépondérant dans le modèle FBS-PPR :

- il permet d'une part de relier l'ensemble des éléments intervenant au cours d'une activité donnée et donc de définir une partie du contexte,
- il permet d'autre part de gérer l'évolution des éléments produits et ressources au travers de leurs changements d'états.

c. Représentation UML simplifiée du modèle

Bien que pouvant jouer des rôles différents (processus, produit, ressource ou effet externe), les objets d'entreprise sont modélisés suivant le même méta modèle formalisé en UML centré autour de la classe objet. Je ne présenterai ni ne détaillerai la structure du diagramme ou de ses objets qui sont très largement expliqués dans [C.2005.1], pas plus que je ne rentrerai pas dans les exemples d'instanciations [C.2005.3] ou sur l'illustration du démonstrateur développé sur la base de cette structuration [Lab 04a].

d. Apports de FBS-PPRE

Je vais plutôt profiter de cette rapide présentation pour tirer les bénéfices et apports de cette approche. Les principales leçons tirées de ce travail sont les deux suivantes :

- La nécessité d'avoir **un même formalisme** (**ou brique conceptuelle**) pour permettre une **description des différents objets manipulés** par l'entreprise **dans une modélisation unifiée**,

- La mise en évidence de la **distinction entre les notions de nature** (matérielle, temporelle, logicielle, organisationnelle ou énergétique) **et de rôle**. Quatre rôles différents sont distingués : les rôles de produit (objet issu du processus), de ressource (moyen mis en œuvre dans un processus), de processus (organisation temporelle, spatiale et hiérarchique d'activités) et d'effet externe (venant contraindre le déroulement d'un processus).

L'originalité - en rupture avec les approches de la littérature - consiste alors à considérer ces rôles comme circonstanciels, un même objet pouvant jouer successivement différents rôles au cours de son cycle de vie. A l'opposé, la nature d'un objet est supposée invariable. Par ailleurs, une gestion des comportements est proposée. Un comportement d'objet est toujours associé à un élément processus qui permet d'en définir le contexte. Il devient alors aisé de gérer l'évolution de l'objet et de ses représentations, à savoir leur dynamique transformationnelle. De ce fait, le modèle FBS-PPRE tend à garantir une gestion pérenne des objets d'entreprise.

De ce fait, cette approche propose d'assurer une meilleure homogénéité et complétude du modèle, une gestion du trio produit / processus / ressource via la notion d'objet d'entreprise et de rôle et une gestion de la notion de comportement (que l'on retrouvera dans la méthode MOKA).

e. Conclusion

Ces apports et cette analyse ont notamment pu être valorisés dans le réseau d'excellence INTEROP (réseau dont j'ai présenté les objectifs dans la partie 1, Chapitre Activités de Recherche - Collaborations Internationales). L'objectif de ce réseau est de faciliter l'interopérabilité d'applications d'entreprise en s'appuyant sur les domaines de compétences de la modélisation d'entreprise, la construction et manipulation d'ontologies et la recherche sur les architectures et plates-formes capables de supporter cette interopérabilité (Figure 13). Dans le work package 5 (Common Enterprise Modelling Framework) et le task groupe DEM (Domain Enterprise Modelling), le travail de M. Labrousse a contribué tout particulièrement dans le cadre du développement et la normalisation UEML2.0, évolution d'UEML (Unified Enterprise Modelling Language) [@UEML]. A ce titre nous avons participé à la spécification de certains objets de ce modèle conceptuel, en ajoutant particulièrement des aspects de prise en compte du produit [G.2005.2].

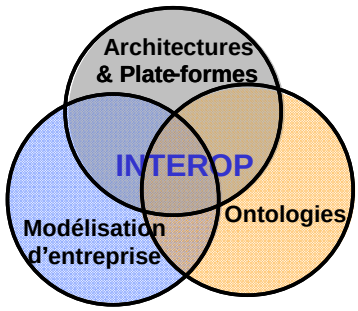


Figure 13 : Domaines de compétences du Réseau d'Excellence INTROP [@Inter]

Le travail de Labrousse dans l'équipe a posé une première pierre conceptuelle d'analyse et de formalisation des objets d'entreprise. Dans la lignée de Gardoni, Labrousse présuppose que les informations contenues et échangées dans ces objets d'entreprise constituent les traces de connaissances dans une représentation.

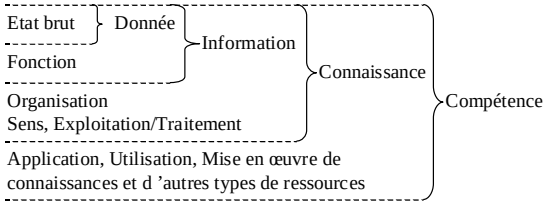


Figure 14 : De la donnée à la connaissance - Lien entre connaissance et compétence [Gar 99]

Ce positionnement montrera ses limites pour intégrer les notions d'expertise et de savoir. D'autre part, cette proposition n'éclaire pas opérationnellement un ingénieur confronté à un projet de type intégration de connaissances dans un environnement partiellement automatisé. Les travaux d'Ammar-Khodja et Candlot essayent d'œuvrer en ce sens.

3.1.2.2. Le projet USIQUISK

Ce projet ayant fait l'objet d'une part importante des deux apports suivants, je fais un rapide rappel de son contexte, qui complète la présentation faite en Partie 1 (chapitre Activités de recherche, sous partie Collaboration Nationales).

USIQUISK est un projet RNTL qui vise à fournir un environnement intégrant les connaissances des experts de générations de gammes de pièces aéronautiques. Intégré dans l'outil CAO CATIA, il doit accélérer cette phase de préparation en proposant quasi automatiquement des solutions de posage, de séquences d'usinage associées à des outils et des conditions de coupe en fonction des entités géométriques issues de la CAO.

Je propose de résumer la structuration du projet USIQUISK par les trois ponts suivants qui sont en parti résumés dans la Figure 15 page suivante :

- **Une liste de spécification** d'experts utilisateurs au travers d'un classeur de spécifications fourni par Dassault Avion,
- **Un processus de raisonnement** en trois phases répartis sur 3 niveaux d'intégration : ***Transformateur*** (de la définition géométrique CAO à la définition géométrique FAO), ***Préparation*** (génération assistée des gammes de fabrication) et ***Usinage automatique*** (optimisation des choix d'usinage) répartis entre ***Théorie***, ***Maquette*** et ***Outil CAO***
- **Un corpus documentaire** disparate et varié (différents états de l'art sur la gamme ou des opérations d'usinage spécifiques, l'aide en ligne de CATIA,…)

Je rappel la liste des partenaires et de leurs responsabilités :

- **Dassault Avion** : spécifie l'application finale et fournie l'expertise du gammiste,
- **Dassault Systèmes** : gère le développement de l'application finale,
- **CRAN** : assure la transition entre le modèle CAO et le modèle FAO,
- **3S (G-SCOP)** : gère les difficultés d'usinage, des posages à la gamme détaillée,
- **LURPA** : assure la gestion des trajectoires,
- **LGIPM** : assure la gestion des usinages axiaux,
- **IRCCyN** : gère les connaissances et de la cohérence des activités de différents partenaires du projet,
- **CETIM** : assure une ouverture vers d'autres domaines que l'aéronautique.

Le rôle de la gestion des connaissances dans ce projet a pour objectifs :

- d'identifier les liens entre les différents éléments / modèles,

- d'assurer la cohérence entre ces liens et justifier le développement par rapport aux spécifications,
- d'enrichir ces liens et objets et de mesurer l'impact de ces évolutions,
- de proposer une approche générique pour offrir un transfert à d'autres expertises,
- de suivre et faire évoluer le savoir contenu dans l'application finale,
- de statuer sur le rôle du préparateur dans les processus de raisonnement et d'identifier le type de connaissances à fournir au préparateur (comment ? quand ? dans quel but ?) pour rendre optimal l'interaction expert / connaissances automatisées.

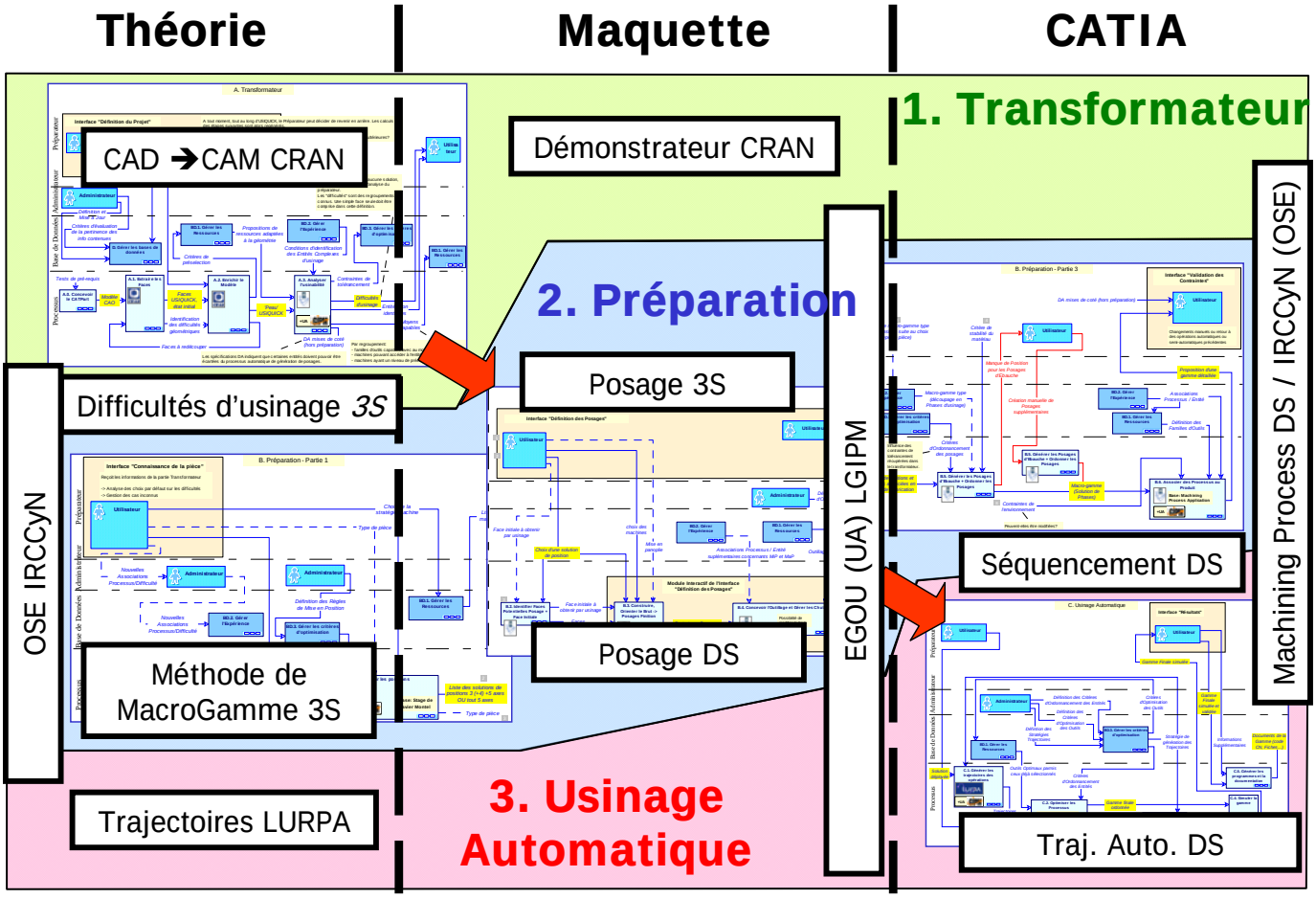


Figure 15 : Synthèse du processus USIQUISK en 3 phases et répartition des tâches par niveau d'intégration et par acteurs

C'est dans ce contexte d'application que les deux prochaines propositions s'inscrivent, sachant qu'elles ont largement inspiré et testé leurs raisonnements et analyses sur d'autres types de projets (industriels ou de service) ou d'autres cadres (les réseaux d'excellence).

3.2 INTEGRATION DES CONNAISSANCES

3.2.1. POSITIONNEMENT BIBLIOGRAPHIQUE

3.2.1.1. La gestion des connaissances

Le maintien de la performance industrielle passe par l'optimisation du capital intellectuel de l'entreprise et la capacité d'innovation et d'adaptation dans un environnement mondial de plus en plus concurrentiel. La connaissance est considérée de nos jours comme une ressource stratégique, un facteur de stabilité et apporte un avantage concurrentiel décisif [Ndl 01][Jae 04][Hol 04]. Les ingénieurs doivent encore plus qu'avant, conjuguer satisfaction des clients, productivité et compétitivité, mais aussi faire face à une augmentation importante du volume d'informations disponibles et accessibles (conséquence des évolutions des technologies de l'information et de la communication [@KM]).

La globalisation des échanges et des marchés, les nouvelles méthodes de collaborations et de conception simultanée du produit et de son processus, impliquent les mêmes conséquences pour l'ingénieur [Zac 99] [Ple 05] [Rui 05] :

- la quantité d'informations est croissante pour une expertise donnée,
- les temps de recherche, de consolidation et de compréhension des informations augmentent au détriment des temps de prise de décision,
- les informations sont pluridisciplinaires, délocalisées et difficilement contrôlables, leur validité et leur valeur peuvent rester floues pour l'utilisateur.

La conséquence directe est une explosion du nombre d'outils de gestion des informations avec parfois des objectifs d'utilisation ou de développement peu clairs pour l'utilisateur. Il est difficile de s'y retrouver et d'en tirer le meilleur profit.

Ces informations, dans un contexte d'interprétation donné, ont un sens pour l'utilisateur et sont donc vues comme des connaissances (ou au moins leurs inscriptions ou traces) [Bac 04]. Bachimont aborde l'ingénierie des connaissances à travers deux types d'inscription essentielles : les ontologies et les documents.

- Les ontologies sont des représentations formelles de concepts permettant de constituer un consensus partagé entre les humains, d'opérationnaliser ces concepts dans la machine, et de permettre à ces dernières d'être interopérables. L'essentiel est de se référer à un usage faisant autorité.
- Les documents sont des traces d'expression permettant d'échanger des contenus et de les fixer dans la permanence d'un support. Rendre numériques ces documents permet de les traiter automatiquement et de les parcourir systématiquement. Ces possibilités doivent être mises au service de la structuration de cette mémoire documentaire en facilitant l'émergence de documents faisant autorité et produisant des variations qui permettent d'aborder les autres documents. L'enjeu est de permettre le parcours documentaire de ces contenus.

Ainsi, Bachimont nous éclaire sur les rôles et les relations entre les inscriptions, l'ingénierie des connaissances, les solutions numériques et la complexité d'appréhension du tout :
« *L'ingénierie des connaissances étudie les procédés techniques de manipulation des inscriptions en vue de leur interopérabilité. L'enjeu est de surmonter la désorientation conceptuelle inhérente aux inscriptions qui, dans leur multiplicité et profusion, annulent la présomption de signification. L'ingénierie des connaissances doit alors mettre en œuvre les différentes médiations culturelles, sédimentées dans l'histoire et la tradition de la pensée, permettant de construire des représentations donnant prise à l'interprétation. Les médiations philologiques, herméneutiques et rhétoriques correspondent aux stratégies par lesquelles la présomption d'un sens connu et partagé permet d'amorcer un parcours interprétatif nouveau : la présomption du même permet l'émergence de la différence. Une telle caractérisation de l'ingénierie des connaissances permet de mettre en lumière un autre abord des outils numériques que ce que nous rencontrons habituellement. La mobilisation commune du numérique consiste `a construire un réseau exhaustif et complet de traces : on sait tout ce qui a été dit et fait sur un sujet donné, ou dans le cadre d'une activité donnée. Le numérique est exploité pour sa capacité `a constituer une mémoire exacte et `a la parcourir systématiquement. Cependant, ces deux possibilités ne conduisent qu'à engendrer une masse de plus en plus inexploitable.* » [Bac 04].

Connaissance, base de connaissance :

Pour définir les connaissances, j'adhère à la proposition de B. Bachimont qui est bien conscient de ne disposer que d'informations (voire de données codées en 0 et 1) pour retranscrire ou tracer des connaissances (au sens manipulable par l'homme), mais qu'il, par abus de langage, appel connaissances. Ainsi donc, distinguant bien les différents niveaux qui mènent de la donnée à la connaissance, et nous verrons plus loin même jusqu'à l'expertise, j'utilise le terme connaissance pour identifier les éléments en interaction avec les systèmes d'interprétations intelligents (humains) alors que les traces ou transcriptions n'en sont que les ombres numériques automatisables dans les ordinateurs, mais exempts de toute intelligence propre.

Dans le même esprit, j'appellerai base de connaissance toute structuration (des différentes traces ou inscriptions) qui aide à naviguer dans ce magma de connaissances disparates et éparses. Cette base pouvant être simplement la structure nue ou la version instanciée par les différentes inscriptions.

Ces connaissances s'enrichissent dans une interaction permanente avec l'environnement à tous les niveaux de l'organisation. La gestion des connaissances devient, pour l'entreprise, un levier d'aide à l'innovation tant sur les produits, les procédés, les services, que sur l'organisation [Non 00] [Mil 02] [Sen 04]. Pour Bakema, la gestion des connaissances permet d'augmenter la valeur ajoutée des processus de conception, de production, tout en améliorant les processus de fonctionnement et d'innovation, avec un objectif ultime qui serait de rendre l'entreprise intrinsèquement apprenante [Bak 99].

En ce sens, les projets et pratiques de Knowledge Management traduisent la stratégie adoptée par les organisations, qu'il importe de déployer de façon optimale. Cependant, mettre en place de telles démarches (de gestion des connaissances globales) dans une entreprise pèse lourdement en temps et en investissements [Crin 99] [Bar 01 - 03].

Amidon résume la relation entre gestion des connaissances et transformation de l'entreprise par les principaux points suivants [Ami 02] :

- *La connaissance a un rôle important à jouer dans les entreprises (…) il faut la préserver et l'utiliser au mieux ou périr.*
- *La connaissance est une valeur immatérielle et doit pouvoir être quantifié, il faut la considérer comme une richesse*. Les carences du système financier actuel considèrent les employés uniquement comme une source de dépenses et non comme des puits de richesse. Les valeurs doivent être donc redéfinies, pour prendre en compte aussi ce capital indispensable à la bonne marche de l'entreprise.
- *Il faut créer une recherche collaborative qui prépare des bases solides pour le futur (…) prenant en compte notamment le développement ultra rapide du secteur des services par rapport à celui de l'industrie*. Il faut sortir de la logique de développement d'efforts de recherche et développement individuels (de type précompétitif) alors qu'un niveau de recherche collective est essentiel pour pérenniser les entreprises.
- *Les structures managériales sont nécessaires, mais elles ne doivent pas empêcher ou limiter le processus de gestion des connaissances.* Leur rôle est de fournir un cadre d'exploitation des facteurs importants pour l'entreprise et d'indiquer les relations entre ces éléments. Le processus doit être dynamique afin de découvrir des nouvelles opportunités de business venant de nouveaux marchés et de besoins pas toujours clairement exprimés.
- Le corollaire du point précédant est que *les initiatives individuelles doivent être prises en compte et favorisées hiérarchiquement* car les nouveaux réseaux de collaborations sont trans-organisationnels. La remontée du terrain est indispensable. Par exemple, les personnes qui sont en contact direct avec les clients n'ont souvent pas de position hiérarchique alors qu'ils doivent faciliter les remontées des problèmes rencontrés.
- *Tous les acteurs (professions) sont concernés. Les produits, systèmes et organisations sont complexes, il faut prendre en compte tous les composants.*
- *La culture d'entreprise modèle les formes de gestion de connaissances mises en place, mais il est maintenant inimaginable de calquer les fonctions du processus de gestion des connaissances sur les fonctions traditionnelles de l'entreprise.*
- *L'entreprise étendue ou entreprise collaborative doit être comprise et exploitée*. Fournisseurs, partenaires, clients et parfois concurrents doivent être intégrés comme source de connaissances. Ces infrastructures sont une combinaison de systèmes construits pour le profit et d'une continuelle évolution. C'est cette combinaison qui est importante. A tout moment il faut savoir de quoi l'ensemble est constitué et quelle est l'interconnexion entre les composants.
- *Les technologies, bien qu'étroitement liées au fonctionnement de l'entreprise basée sur la connaissance, ne jouent qu'un rôle minime de composant d'un ensemble.* On ne peut pas tout baser seulement sur les technologies. D'autre part, le retour sur investissement n'est pas toujours proportionnel à l'investissement dans une technologie. Celles-ci ne fournissent pas de solutions toutes prêtes, les itérations sont longues et coûteuses.
- Enfin, *la connaissance doit être gérée et rien ne doit être laissé au hasard. Cependant, toute action, même imparfaite, apporte un bénéfice certain et difficilement mesurable*. Comme dans un kaléidoscope, si on le bouge peu, l'image change peu, mais si l'organisation est plus modifiée, l'image peut changer radicalement.

Je retire de cette analyse que les évolutions de réseaux d'experts, le besoin d'impacter tous les acteurs de la nébuleuse d'entreprise, la prise de conscience de la valeur de chacun placent la gestion des connaissances dans une position angulaire face à la survie des entreprises.

Le management des connaissances joue donc un rôle incontournable dans la démarche de modélisation pour évaluer, évaluation pour piloter et enfin pilotage pour assurer un niveau de performance industrielle visé.

Dans ce cadre, je définis ma contribution par les points suivants :

Objectifs : Aide à la prise de décision et à l'évaluation de la décision sur la performance.

Moyen : Intégration des connaissances et des expertises métier dans des environnements d'ingénierie d'aide à la prise de décision.

Rôle : Faciliter la démarche de construction de ces environnements en comprenant les exigences, les modes de travail, les spécificités et les attentes de chacun des acteurs.

Ces environnements d'ingénierie à base de connaissances (KBE : Knowledge Based Engineering) sont supportés par des systèmes à base de connaissances (KBS : Knowledge Based System). Ils aident à affronter l'évolution du monde de l'ingénieur qui a basculé dans un nouveau paradigme : monde cognitif et de l'information, alors que le précédent était un monde du produit et de la production.

3.2.1.2. L'ingénierie à base de connaissances

L'ingénierie de la connaissance peut être définie comme un point de convergence de flux pluridisciplinaires : *« Conception, étude globale d'un projet industriel sous tous ses aspects (techniques, économiques, financiers, sociaux), coordonnant les études particulières des spécialistes »* [@GDT].

De nouvelles tâches viennent compliquer le processus de travail de l'ingénieur. Dans ce flot de données, dans ces réseaux de collaborateurs et d'experts, il faut identifier, filtrer, évaluer les informations pertinentes pour en tirer le meilleur profit. L'organisation et la gestion de ces flux donnent lieu à une ingénierie des connaissances que Du Plessis décrit comme « *une activité de structuration des flux d'information »* [Ple 05].

Les systèmes à base de connaissances visent alors à consolider ses flux en simplifiant les tâches routinières de gestion pour rendre tout le temps et l'effort cognitif aux prises de décision. Cependant, l'équilibre entre efficacité sur un domaine spécifique et agilité vis-à-vis de l'évolution des pratiques rend leur construction délicate. La valeur des informations ainsi échangées résulte dans leur aptitude à être pertinentes, activées et délivrées presque automatiquement pour générer les compléments de connaissances requises par l'utilisateur.

Pour spécifier puis développer un tel système, l'ingénieur de la connaissance se trouve à l'interface de [Mat 99] [Die 00] :

- **L'entreprise** : il est nécessaire de capitaliser les savoirs et de les pérenniser, tout en optimisant leur utilisation pour en tirer le meilleur profit. La valeur génère la valeur, ceci s'applique aussi à la valeur immatérielle du savoir.

  - L'ingénieur de la connaissance a pour objectif de déployer une démarche de capitalisation des connaissances au niveau de l'entreprise, en respectant son contexte, sa maturité et en adaptant les solutions technologiques pour le domaine.

- **L'utilisateur** : il exprime son besoin de navigation dans la masse d'informations et de concepts, qui se traduit par des requêtes contextualisées et un accès rapide aux informations souhaitées.
  - L'ingénieur de la connaissance, structure les bases de connaissances en fonction de leur future utilisation, de plus, il spécifie les fonctionnalités attendues.

- **L'expert** : il cherche à formaliser et diffuser ses connaissances ainsi qu'à les enrichir ultérieurement.
  - L'ingénieur de la connaissance propose une démarche structurante, des méthodes et des outils qui facilitent la formalisation, structuration et capitalisation des connaissances en accord avec l'expert et l'utilisateur. Il lui incombe d'instancier le premier état de la base de connaissance pour valider la complétude et la cohérence. Enfin il faut anticiper les enrichissements à venir tout au long du cycle de vie des connaissances.

- **L'informaticien** : il développe l'outil ou l'environnement qui intégrera l'ensemble des technologies ainsi que la base de connaissances.
  - L'ingénieur de la connaissance structure et spécifie, pour l'informaticien les fonctionnalités mais aussi les interfaces homme machines et les scénarii d'utilisation interactive pour tirer un bénéfice maximum du déploiement d'un tel environnement.

L'ingénierie à base de connaissances est un support à l'utilisation efficiente de toute la valeur immatérielle de l'entreprise, plaçant les employés au centre de ce système de valeur et favorisant sa fertilisation croisée à tous niveaux pour en créer de nouvelles. La Figure 16 résume cette place dans la perspective d'une conduite de projet d'amélioration de la performance industrielle. Il importe donc de bien comprendre et analyser les enjeux pour utiliser, compléter ou développer des méthodes et outils en adéquations avec les objectifs du projet. Si cette démarche semble peu novatrice dans sa proposition générale, l'apport réside dans la maîtrise aiguë de son bon déroulement pour éviter des écueils coûteux et démobilisant qui sont très vite causes de perte de compétitivité. La multiplicité des acteurs, des types de connaissances et des sources d'informations font qu'il est ardu de mettre en place efficacement des méthodes et des outils.

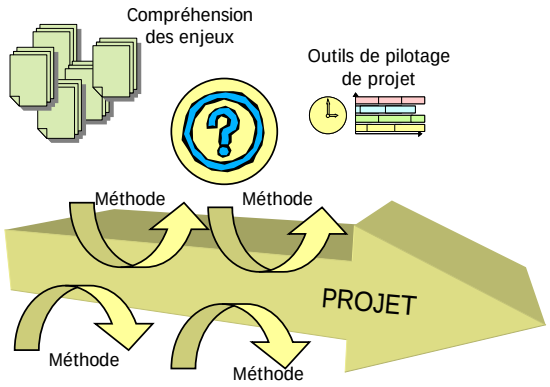


Figure 16 : Gestion de projet à base de connaissances [E.2005.1]

3.2.1.3. Les approches de Gestion de connaissances

Plusieurs laboratoires travaillent sur ce thème de gestion de la connaissance. Tout au long de ce chapitre, mon analyse ne cherchera pas l'exhaustivité, mais s'appuiera sur ma compréhension des principaux courants de pensés et plus tard sur les principaux réseaux d'acteurs et équipes de recherche qui œuvrent dans des domaines connexes au mien dans le cadre de la gestion des connaissances. Je propose de découper en trois familles thématiques qui sont reflétées dans la Figure 17. Chaque groupe s'identifie par son domaine de recherche, son contexte scientifique et ses objectifs propres. Je résumerai comme suit :

- Relevant des Sciences des Organisations et du Changement : ces acteurs théorisent sur le concept de connaissance, ses états, sa dynamique. A la frontière de la philosophie, ces courants de pensées guident les méthodologies pour mener à bien des démarches de gestion de la connaissance.
- Relevant des Sciences et Technologies de l'Information et de la Communication : cette approche informatique vise à capitaliser, modéliser et manipuler les connaissances (souvent indépendantes d'un objectif métier donné). Ces chercheurs se revendiquent du domaine de l'Intelligence Artificielle et de l'Aide à la Décision. Ils œuvrent pour les évolutions d'outils et de langages qui supportent l'automatisation des connaissances et de ses retranscriptions.
- Relevant des Sciences pour l'Ingénieur : formalisation et intégration d'une expertise métier pour optimiser une démarche métier ou l'intégrer dans un environnement métier. Ils développent et déploient des environnements à base de connaissances et synthétisent pragmatiquement des propositions théoriques, des outils et technologies à dispositions et des exigences opérationnelles dans les domaines de l'ingénierie.

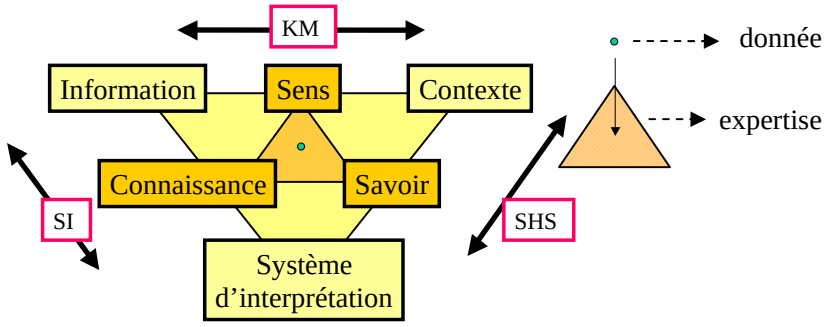


Figure 17 : Complémentarité des domaines autour de la capture de l'expertise et des connaissances

a. Courants de pensées et conceptualisation de la connaissance

Concernant les aspects conceptuels en gestion des connaissances, je vais résumer les principales propositions et orientations des acteurs majeurs sur lesquels j'appuie mon analyse :

- M. Grunstein (**MG Conseil**[28]) se concentre sur la méthodologie de capitalisation et de gestion des connaissances,

[28] http://www.mgconseil.fr/

- J.L. Ermine (**INT** Evry, dép. Système d'Information[29]) décline la capitalisation et la gestion des connaissances en intégrant l'environnement interne et externe ainsi que les flux qui les relient,
- I. Nonaka et H. Takeuchi (Haas School of Business, **Berkeley Univ.**[30])s'intéressent à la dynamique de la capitalisation et création des connaissances pour l'innovation (modèle SECI),
- M. Zacklad et N. Matta (**ISTIT** - UTT[31]) travaillent sur la technologie de la coopération pour l'innovation et le changement organisationnel,
- R. Dieng (**ACACIA**, INRIA[32]) adresse des problématiques de mémoire d'entreprise,
- C. Wainwright et A.J. Beckett (**Cranfield Univ.** - Manufacturing Departement / Knowledge & Innovation Systems Centre[33]) s'intéressent aux aspects de connaissances d'enterprise dans le cadre de la recherche sur les mesures des performances industrielles,
- A. Sloan et D.M. Amidon (**MIT** - Sloan School Management[34]) se focalisent sur le pilotage des connaissances par innovation participative dans des réseaux d'experts.

Sans rentrer dans le détail de chaque contributeur, les concepts liés à la connaissance et à sa gestion font l'objet de travaux et illustrent différents points de vue que je vais résumer très rapidement ici.

Bakema rejoint le point de vue de Beckett sur le fait que la gestion des connaissances vise le gain de nouvelles compétences et l'optimisation de la mise en œuvre de l'existant [Bak 99] [Bec 00a]. Les connaissances sont le moteur de la compétitivité, les membres de l'organisation et l'organisation elle-même doivent apprendre pour maintenir un niveau élevé. Il insiste donc sur la capacité à préciser et augmenter les compétences organisationnelles.

Pour les manipuler et travailler les connaissances de l'entreprise, Ermine propose deux hypothèses théoriques. L'hypothèse sémiotique considère que la connaissance peut être perçue comme un signe, qui contient de l'information, du sens et du contexte. L'hypothèse systémique propose que la connaissance se perçoive comme un système, avec toujours trois points de vue : structure, fonction et évolution, qui s'appliquent aux informations, au sens et au contexte. Une fois les connaissances identifiées, leur analyse montre qu'elles sont productrices de valeur et deviennent l'identificateur stable de l'entreprise. En complément de l'approche qualité qui permet de garantir un bon produit, la gestion des connaissances vise à garantir le meilleur produit possible [Erm 96]. Il considère également que la gestion des connaissances doit permettre l'interaction avec l'environnement, recenser le savoir et le savoir-faire de chaque acteur de l'organisation, et partager les connaissances individuelles avec la collectivité et enfin les faire évoluer et en créer de nouvelles [Erm 01] [Erm 03]. La Figure 18 résume les flux d'interactions existants.

[29] http://www.int-evry.fr/recherche/groupes_de_recherche/
[30] http://www.haas.berkeley.edu/
[31] http://tech-cico.utt.fr/
[32] http://sma.lip6.fr/equipes/acacia.htm
[33] http://www.cranfield.ac.uk/sas/mem/research.htm#knowledge
[34] http://mitsloan.mit.edu/

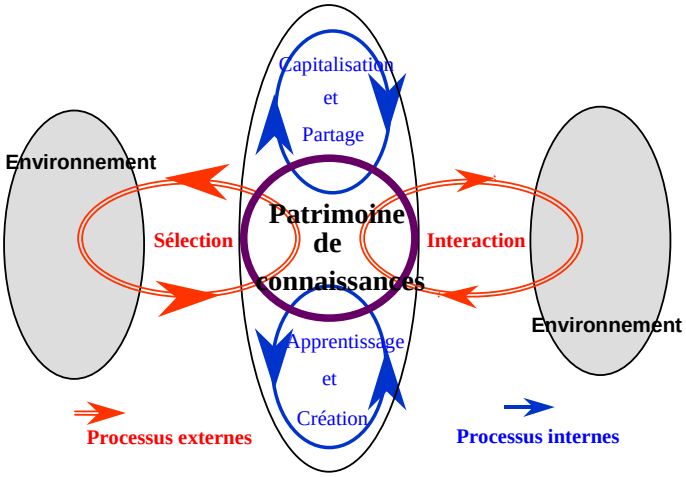


Figure 18 : Modèle de la marguerite d'Ermine [Erm 01]

Pour Grundstein, gérer des connaissances revient à les capitaliser [Gru 94]. Pour cela, il propose au départ un cycle de capitalisation composé de cinq actions pour la gestion et la coordination des activités [Gru 96] [Zac 01] (cf Figure 19). Aux cycles d'identification, capitalisation partage et mise à jour, viennent s'ajouter une action de management qui distingue la gestion des activités de gestion des connaissances plutôt que les connaissances elles-mêmes.

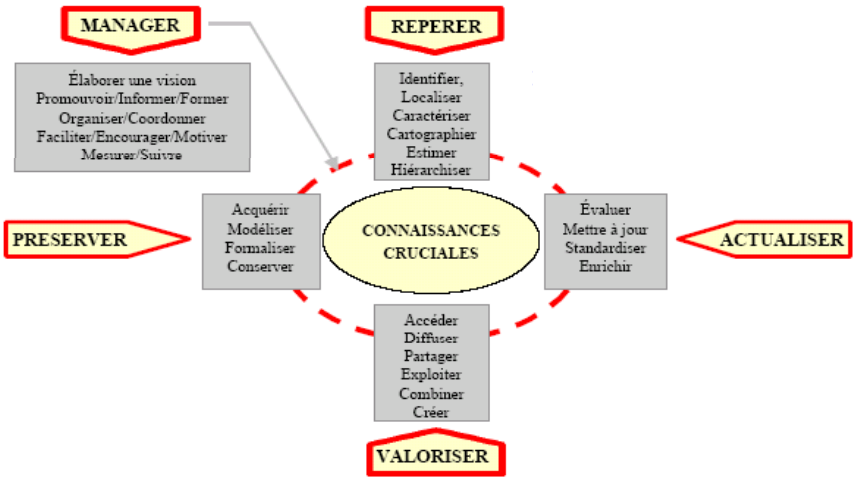


Figure 19 : Les cinq facettes de la capitalisation des connaissances de Grundstein [Gru 94]

Nonaka complète par une dimension sociale de la gestion des connaissances en introduisant les notions de tacites ou explicites identifiables soit au prés d'un expert ou au sein d'un groupe. Il insiste sur la dynamique de capitalisation à mettre en œuvre pour faciliter l'émergence de nouvelles connaissances et pour aller vers de l'innovation [Non 94 - 97 et 00] (voir Figure 20).

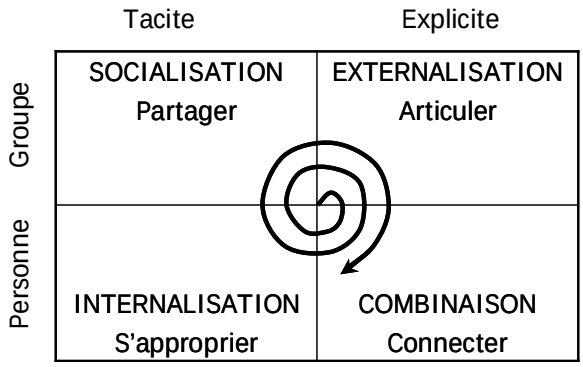


Figure 20 : Représentation du modèle SECI de Nonaka [Non 00]

Selon Smialek il faut se pencher sur le cycle de vie des connaissances, avant de s'intéresser à son cycle de gestion. Le cycle de vie de connaissances présente trois étapes (production, validation et structuration) et aboutit à la structuration et l'implémentation de bases de connaissances, étape précédant le développement des outils logiciels capables de traiter ces bases (voir Figure 21).

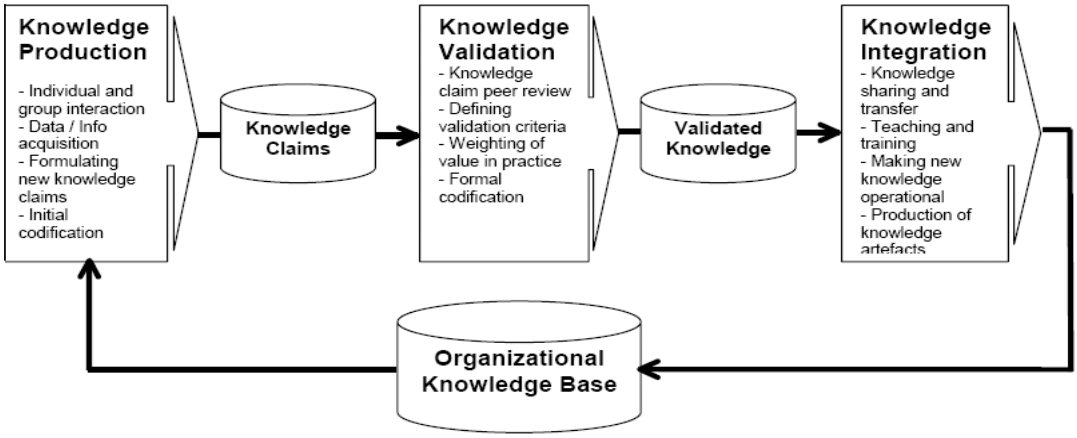


Figure 21 : Le cycle de vie de la connaissance [Fire 00]

Ndlela a quant à elle identifié les facteurs principaux à considérer lors de la mise en place d'un système de gestion de connaissances [Ndl 01]. Sur ces analyses elle rejoint les positions d'Amidon, à savoir :

- La connaissance est considérée comme une ressource stratégique. Son identification revient à marquer :
  - les connaissances nécessaires pour l'exécution de tâches,
  - leur importance par rapport à la tâche.
- L'organisation doit évoluer et structurer l'entreprise autour de bases de connaissances tout en déployant des outils d'accès, de partage et d'exploitation des connaissances collectives.
- Les experts (acteurs) sont au cœur de la réussite d'un projet de gestion des connaissances. Il faut les motiver et les inciter à mettre à disposition de l'organisation leurs connaissances personnelles. Ce partage doit leur permettre de générer de nouvelles idées qu'aucun n'aurait pu identifier seul.
- Enfin, les outils mis en place doivent supporter les formes de connaissances recueillies et faciliter les accès. Ils ne peuvent être déconnectés d'outils de travail collaboratifs pour

favoriser l'enrichissement, la recherche et la consultation des connaissances maintenues à jour.

Comme je l'ai déjà mentionné précédemment, Amidon se place peut-être dans une vision utopique d'une participation active de tous les acteurs (concurrents inclus) [Ami 01]. On ne tire bénéfice de cette notion de réseau étendu et de nébuleuse en perpétuel mouvement que si l'on est capable d'initier et de suivre les connections entre experts [Ami 03]. De plus elle insiste à juste titre sur la nécessité de jauger la valeur des connaissances et par delà la valeur propre à chaque acteur, prônant une évolution des systèmes économiques capables d'intégrer ces aspects. Cette évolution des entreprises se fait selon cinq axes :

- Passer de l'information à la connaissance en prenant en compte l'aspect dynamique et l'importance de l'être humain.
- Passer de la bureaucratie aux réseaux, d'une organisation traditionnellement hiérarchique à une architecture plus souple et enfin prendre l'avantage des deux genres.
- Passer de l'enseignement à l'apprentissage, en privilégiant la connaissance créée et appliquée (et donc à la transformation en savoir) à la connaissance accumulée (c'est à dire à l'abstraction continue sans retour systématisé vers le contexte).
- Passer du local au transnational, en prenant une vision d'ensemble sur les compétences spécifiques et les interactions entre les cultures pour tirer le meilleur parti des possibilités
- Passer d'une stratégie compétitive à une stratégie de collaboration, en créant des situations de confiance pour générer des scénarios gagnant / gagnant.

Il ressort que toutes ces approches complémentaires par leurs points de vue et leurs objectifs ont abouti à la formalisation de méthodes que nous ne chercherons pas à analyser ici mais dont on détaillera plus tard entre autre MKSM (Methodology for Knowledge System Management), MOKA (Methodology and Tools Oriented to Knowledge Engineering Applications) ou KADS (Knowledge Acquisition and Design System) [Die 00] [Erm 96]. Dans cette perspective, le travail de thèse d'A. Candlot peut être vu comme un guide de navigation au travers de ces diverses approches, en captant au mieux les points forts de chaque méthode face à un problème d'intégration de connaissance donné.

Ces recherches ont entre autre aidé à définir l'objet connaissance ainsi qu'un cadre pragmatique d'utilisation tout en fixant des démarches et des axes pour aborder la gestion des connaissances en entreprise [Wain 01].

Ainsi, après avoir cerné l'objet connaissance, son rôle dans le monde saturé d'informations qui est le nôtre et sa puissance de valorisation potentielle, il faut se tourner vers l'expert en technologies de l'information et de la communication et en intelligence artificielle pour voir quelles solutions sont disponibles et adaptables aux besoins d'évolution évoqués précédemment.

Remarque : Il peut paraître surprenant de ne pas trouver ici de références à des équipes travaillant dans les Sciences Cognitives, mais, faute de besoin spécifiques pour aborder nos problèmes de gestion de connaissances, je me suis encore peu porté vers ses domaines. Ce point est à améliorer dans ma démarche à venir.

La précédente analyse démontre la nécessité de faciliter les actions de formalisation, transfert ou échanges. Or ceci ne peut être envisagé sans un support partiellement automatisé. Ainsi on ne

peut s'affranchir d'approches informatiques pour capitaliser et manipuler les connaissances, indépendamment d'un domaine ou d'un objectif métier donné. Cet aspect fait l'objet du paragraphe suivant relatif à l'intégration d'intelligence artificielle.

b. Intelligence artificielle et technologies de l'information et de la communication

Les acteurs de ce thème s'apparentent aux domaines de l'Intelligence Artificielle et de l'Aide à la Décision. Je me contenterai de présenter quelques acteurs du domaine, avec qui j'ai collaboré directement ou dont les apports sont incontournables dans ce domaine :

- **PRISMa**[35]– Univ Lyon1 (A. Bouras et anciennement R. Soénen), au Laboratoire de Productique et d'Informatique des Systèmes Manufacturiers abordent l'entreprise virtuelle et communicante au travers des organisations en réseaux d'entreprises et des infrastructures distribuées ainsi que la gestion des données techniques pour l'ingénierie collaborative,
- **ECOO**[36] - Loria (N. Boudjlida) : travaillant sur les environnements pour la coopération,
- **HEUDIASYC**[37] - UTC (B. Bachimont, J.P. Barthès) : abordant la problématique par les documents et les liens avec la connaissance,
- **Institute of Systems Analysis and Computer Science**[38] - CNR (M. Missikoff, A. Formica) au département Methods and Systems for Information and Knowledge, travaillent autour de systèmes à base de connaissances,
- **Standford** - Knowledge System Laboratory[39] (T. Gruber) : traitant des représentations de connaissance et du raisonnement automatique,
- **Berkeley** - Institut of Cognitive and Brain Sciences[40] (J.R. Searle) aborde en marge de la philosophie la relation entre les sciences cognitives et l'informatique et les interactions entre les raisonnements, les connaissances et le langage. Il les analyse pour une utilisation pragmatique en intelligence artificielle.

Au risque de paraître très réducteur, pour mon point de vue, cette communauté nous fournit des solutions et des technologies pour manipuler et traiter les connaissances (ou tout au moins leurs traces) et les concepts qu'elles représentent. Il faut optimiser l'interaction de l'homme et de l'informatique pour faciliter la progression de la maturité de l'utilisation de la connaissance [Sea 80 - 05] [Bac 96] [Bec 00a].

Il faut néanmoins réussir à redonner du sens à l'ensemble des données présentes ou collectées. La sémiotique s'intéresse à ces aspects en clarifiant d'une part la syntaxe (relations signes / signes, étude des conditions formelles de sens des combinaisons de signes), d'autre part la sémantique (relations signes / objets, étude des conditions d'interprétation), et enfin le pragmatisme (relation signes / utilisateurs, pratique sociale) [Cas 04]. Comme illustré en Figure 22, il faut aider à la reconstruction mentale, à partir des données contextualisées ; les outils informatiques doivent faciliter ces passages.

[35] R. Soénen était directeur de cette équipe, http://www.univ-lyon2.fr/KSLAB_PRISMA/0/fiche___laboratoire/
[36] http://pauillac.inria.fr/cdrom/lor/loria/equipe/Ecoofr.html
[37] http://www.hds.utc.fr/themes/DOC.html
[38] http://www.iasi.cnr.it/iasi/inglese/indexEng.html
[39] http://www-ksl.stanford.edu/
[40] http://icbs.berkeley.edu/

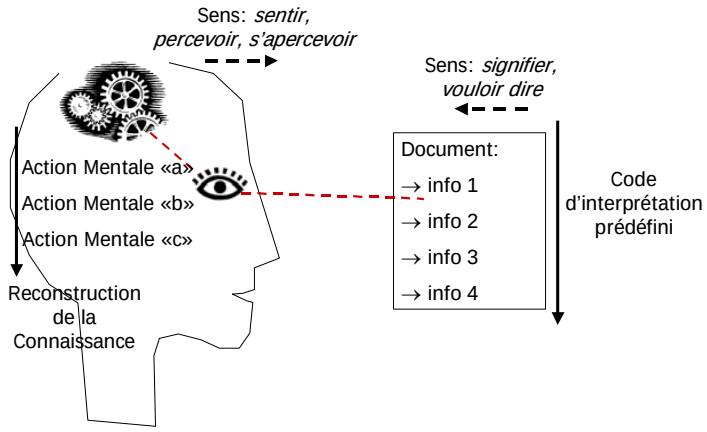


Figure 22 : Enjeu de la sémiotique : reconstruction mentale du sens

Or, comme présenté sur la Figure 23, il importe de minimiser les pertes de sens et de contexte entre l'expression d'une expertise par un expert, son encapsulation dans un environnement informatique et sa restitution à l'utilisateur dans un contexte donné [Sea 02 et 05].

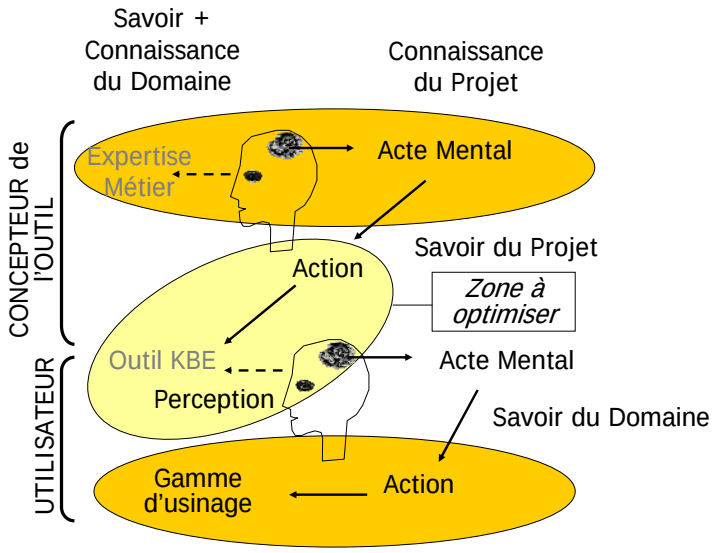


Figure 23 : Zone de disparition de la responsabilité entre la conception d'une application d'assistance d'une expertise et son utilisation [Can 06]

L'informatique aide à gérer ce capital intellectuel grâce à sa capacité de travailler sur la fluidité de l'information en s'affranchissant du support par de nouveaux moyens de diffusion et de communication (travail groupe large, éloignée, désynchronisée…) [Bac 04]. D'autre part, la possibilité qu'a tout acteur de commenter, noter et annoter les sources (Web 2.0) ouvre la possibilité d'intégrer l'ensemble des points de vue et donc d'augmenter la richesse des débats.

Cependant, de nouveaux problèmes apparaissent. La quantité d'informations et les moyens de référencement (Google par exemple) insistent sur la rapidité d'accès et jugent son importance au nombre de connexions sans en évaluer la qualité. De plus, la navigation dans un environnement virtuel diminue les habitudes d'abstraction (encouragée par le support physique) pour augmenter la part de comportement intuitif. Les repères sont moins durables et donc moins fiables. La

virtualisation des contacts humains directs entraîne une perte de responsabilité face à la machine et augure une perte d'adaptabilité entre les individus (en travail de groupe entre autre).

Le dernier élément à prendre en compte est l'aspect de groupe ou de réseau mis en avant par Labrousse ou Amidon avec les « Knowledge Workers » [Lab 04a-b] [Ami 03]. Ces nouveaux modèles de travail amènent à réfléchir sur la valorisation et l'émergence d'écosystèmes ou réseaux d'experts chers à la communauté européenne [@COR] et qui sont pour Savage la cinquième génération de management [Sav 91]. Le paradigme de gestion a évolué du produit au projet, pour aller vers une gestion globale de l'entreprise étendue, centrée sur le client (quatrième génération). La cinquième génération propose de piloter les connaissances à travers une innovation participative et des réseaux symbiotiques dans une relation gagnant-gagnant permanente [Ami 97]. Le concept « Unified Information Ecosystems (UIE) » résume cette approche. Promu par l'Union Européenne dans les secteurs des technologies futures et émergentes, *« elle vise l'exploration et la validation des nouvelles technologies et des scénarios qui peuvent transformer l'infrastructure complexe de l'information qui émerge actuellement en un environnement riche, adaptatif, réceptif et véritablement ouvert »* [@COR].

Les environnements à base de connaissances doivent donc supporter ces trois niveaux de maîtrise :

- capturer et restituer de manière optimale le sens contenu dans les informations numériques,
- traiter automatiquement, partager, manipuler et enrichir les traces de connaissances,
- interconnecter et assurer le suivi dans le cadre de réseaux d'experts.

On peut alors distinguer trois niveaux de systèmes ou de technologies qui permettent d'affronter ces problèmes. Ce sont le web sémantique, les ontologies et les outils spécifiques de gestion de connaissances.

i. Les outils du web sémantique

Le web sémantique ou Web 2.0 n'a pas encore clairement défini les contours de son domaine d'activité et d'impact. Ses outils sont globaux et peu formalisés. L'apport majeur consiste en l'intégration d'agents intelligents capables de comprendre et d'intégrer différentes ressources d'information (basé sur les approches ontologiques). D'autre part, basés sur les technologies web, ils donnent la possibilité aux utilisateurs (les internautes) de partager, critiquer, commenter, agréger, référencer les informations disponibles. On citera par exemple :

- Blogosphère[41] : journaux personnels livrant des informations en responsabilité de l'auteur, très précises, mises à jour seulement quand l'actualité le demande et facilement repérables grâce aux flux « RSS ».
- Réseaux Wiki[42] : encyclopédie construite et enrichie par les utilisateurs en fonction de leurs expertises. L'autocorrection par les utilisateurs raffine une information de plus en plus fiable, précise, concise et rapidement navigable. Le plus célèbre est l'encyclopédie Wikipédia [@WIK].

[41] « Blog » vient de « Web Log » ou le nom correspond au verbe « Log up », inscrire au journal de bord

[42] « Wiki » provient de l'hawaïen « wiki-wiki » qui signifie vite, rapide

- Folksonomies : zones de partages notamment des URL référencées par mots clefs. La fréquence des référencements et les regroupements par thèmes permettent de faire ressortir rapidement les lieux virtuels les plus fréquentés traitant d'une information recherchée.
- Lien RSS[43] : format de syndication[44] de contenu Web. Ce système permet de diffuser les nouvelles des sites d'information ou des « Blogs » ce qui permet de rapidement consulter ces dernières sans visiter le site.

ii. Les ontologies

Les ontologies sont une approche à mi-chemin entre les deux autres catégories listées ici. Elles se placent entre les approches par agents intelligents (qui comprennent le sens des ressources d'information) et les méthodes dédiées de gestion des connaissances. Les ontologies sont tout à la fois méthodes, outils et résultats, d'ou une certaine confusion dans la définition de ce qu'est une ontologie.

En ce qui nous concerne, les ontologies se placent dans la perspective d'une recherche de standardisation de la formalisation et de la construction d'un référentiel sémantique commun et stable [Mis 02]. Ces approches supportent des démarches plus ou moins formalisées de création de réseaux de concepts (ontologies) tout en laissant une liberté totale sur les possibles formalisations et sur l'appréhension globale et agile du monde qu'ils veulent modéliser [Bac 04] [Mis 03].

Selon Gruber [Gru 93] [Gru 95] les ontologies sont constituées de réseaux de concepts (somme de classes de concepts et de leurs relations), de fonctions (qui décrivent des types de relations), d'axiomes (qui servent de contraintes pour les valeurs de classes ou d'arguments de relations) et d'instances.

Sans entrer dans le détail de ce que sont les ontologies (littéralement « le sens des choses ») nous nous référons à une approche d'ingénieur qui applique le pragmatisme et donc limite l'étendue du domaine couvert par cette recherche du sens. Nous souscrivons à la définition de Zuniga, qui parle d'objectivité comme inter-subjectivité d'un groupe [Zun 01]. Les gens appartenant à une communauté, à un domaine d'expertise, partage une certaine culture. L'ontologie en décrit les usages. Il arrive donc couramment de mélanger les termes terminologie, glossaire, thésaurus, ontologie ou base de connaissances pour signifier la même chose : un accord sur des définitions de concepts et leurs positionnements relatifs [Mis 01]. L'ingénierie des connaissances cherche donc par ce biais à clarifier l'ensemble des concepts à manipuler et leurs interrelations.

Les ontologies sont l'un des piliers fondateurs du réseau d'excellence INTEROP [@Inter]. Le passage par un niveau supérieur de définition de méta concepts ou méta modèles (les ontologies) permet d'envisager des solutions techniques développées par les experts en architecture et en plate-forme logiciels pour réaliser l'interopérabilité d'applications d'entreprise dans un contexte d'entreprise étendue (distribuée, partagée, …) [Bou 04].

Mon niveau de compréhension et d'utilisation de ces domaines me laisse entrevoir trois orientations de recherche que je ne détaillerai pas, faute de compétences spécifiques, mais dont j'essayerai de faire ressortir les principales thématiques :

---

[43] Really Simple Syndication (syndication vraiment simple), ou de Rich Site Summary (Sommaire d'un site enrichi)

[44] Le terme syndication vient de l'américain. La syndication consiste à vendre le droit de reproduire un contenu ou de diffuser un programme à plusieurs diffuseurs.

- Représentations et raisonnements à base d'ontologies :

Les problématiques se résument par : que représenter ? Comment le représenter ? Comment interpréter ces représentations ? Les solutions apportées sont mixtes et variées, passant d'approches de représentation par graphes, de langages à base d'ontologies, de modèles sémantiques de données ou de langages formels à base de logique. Tout ceci se regroupe sous le cigle générique d'OWL (pour Ontology Web Languages).

- Management et ingénierie des ontologies :

Ce domaine s'intéresse aux méthodes et outils de construction d'ontologies, aux chemins qui mènent au consensus, aux approches de mise à jour et de suivi des évolutions et à l'automatisation de cette construction par analyse des traces de connaissances.

- Interopérabilité d'ontologies :

La communauté s'accorde qu'il est impossible d'envisager de construire une ontologie universelle qui relèverait de la philosophie [Zun 01]. Un point clé réside dans l'aptitude à manipuler différentes ontologies, de les maintenir et suivre leurs évolutions alors qu'elles vont grossir et être de plus en plus distribuées. Les mots clés des recherches menées sur ces sujets sont les cartographies et correspondances d'ontologies, l'alignement, la translation et la transformation d'ontologies, l'intégration et la fusion d'ontologies, la vérification et le suivi des évolutions d'ontologies.

Je ne m'étends pas sur ces points évoqués, faute de compétences dans ces domaines, mais il me semble important de connaître les axes d'évolutions et les facteurs clés liés à ces approches ontologiques qui supportent toutes les évolutions des outils et des environnements intelligents.

iii. Méthodes spécifiques de gestion des connaissances

Dans cette section je distinguerai :

- d'une part les outils développés spécifiquement en correspondance avec des méthodologies spécifiques de gestion des connaissances (les formalismes et les outils sont conçus pour supporter la démarche de modélisation, structuration et exploitation des connaissances),
- d'autre part, des outils qui permettent de supporter une partie des étapes nécessaires à l'ingénierie de la connaissance.

Je distingue deux approches de gestion, l'une orientée informations, l'autre orientée connaissances :

1. Approche orientée informations

Cette première approche est historiquement la première à essayer de rationaliser la gestion des connaissances en entreprise. Elle considère que les documents constituent la transcription des connaissances et que la gestion de l'information est une source de l'expérience d'entreprise. Elle est orientée informations - système d'information. Dans ce cas, ce sont les documents existants que l'on va organiser et dont on va tirer profit. Deux familles d'outils sont développées :

- Les premiers peuvent utiliser les documents tels quels sans transformation (qu'ils soient papier, électroniques, magnétiques…) et se contentent essentiellement de les stocker et de les indexer afin qu'ils soient facilement accessibles (cas du système Diadème chez EDF par exemple [Poi 95]).

- Une seconde famille exploite une représentation numérique de ces documents et permet de modifier la façon d'accéder aux documents [Cau 99]. On cherche alors à automatiser leur formalisation. Ces représentations ne sont pas destinées aux utilisateurs mais aux systèmes de recherche qui les utilisent. Par exemple, dans le Knowledge Organiser de Kuwata, l'utilisateur parcourt visuellement un réseau sémantique qui catégorise différentes références à des documents disponibles, les nœuds portant les informations de base du document [Kuw 97]. On peut alors associer des outils de workflow pour intégrer ces requêtes d'information dans des processus formalisés au sein des systèmes d'informations d'entreprise [Bau 97].

Datant des années 90, cette approche orientée informations (souvent structurées par un réseau sémantique) a l'avantage d'une mise en œuvre facile et à faible coût, ce qui justifie qu'elle soit encore appliquée. Elle ne nécessite pas de phase d'extraction des connaissances puisqu'elle utilise la base documentaire existante. De plus, elle s'intègre aux outils déjà disponibles dans le système d'information. Cependant, comme le souligne Lemoigne, le transfert d'expérience est freiné par des documents qui n'ont pas été produits dans cette optique (rapport d'activité, documentation technique, etc.) ou bien qui sont restreints à un seul type de document (courriers internes et externes ou publications de chercheurs) [Lem 90] [Bau 97] [Poi 95].

2. Approche orientée connaissances

L'approche orientée connaissances, tend à modéliser l'expertise en vue de constituer des applications à base de connaissances pour la résolution semi-automatique des problèmes et pour capitaliser. Les connaissances déclaratives et procédurales transcrites sous forme de règles, de faits, de cas, de procédures de raisonnements vont traduire une part de l'expérience acquise par les acteurs de l'organisation [Lab 04a].

Cette approche se veut globale sur l'ensemble des activités de l'entreprise, ce qui se paye par des délais de mise en œuvre long et coûteux. Dieng et Baumann s'accordent à constater que les phases d'acquisition et de modélisation des connaissances nécessitent l'intervention d'un ingénieur de la connaissance et mobilisent pendant de longues périodes des personnels par ailleurs peu disponibles [Bau 97] [Die 98]. De plus, les bénéfices demeurent difficilement évaluables directement pour les décideurs [Rei 97] [Bes 99], ce qui a tendance à faire reculer les entreprises soumises à des obligations de rentabilité à court terme [Abe 97].

Dans la description des méthodes, je vais essayer de faire ressortir uniquement les points qui nous aident à comprendre comment et avec quels outils elles sont déployées. Trois grandes familles ressortent :

a. Les approches qui veulent répertorier les connaissances de l'organisation pour la construction de mémoire d'entreprise ou cartographie d'expertise :

- REX : Retour d'EXpérience : capitalisation de connaissances acquises durant la réalisation des activités d'une organisation, représentées textuellement pour une interrogation des utilisateurs en langage naturel [Seg 01] [Vin 01] [Mat 99].
    - La première phase construit un recueil d'éléments de connaissances dans un ensemble de procédures. Ce recueil explicite, capitalise, organise et valorise des connaissances et des expériences. Il est construit sur la base d'interviews et d'analyses de documents référents.
    - La seconde phase intègre ce recueil dans un système de gestion de document appelé mémoire d'expérience qui trace les correspondances entre les demandes

utilisateurs et les documents. Le point clé de cette étape est la modélisation de ses correspondances. Un réseau sémantique représente l'ensemble des concepts du domaine analysé. En appui sur ce dernier est construit un réseau terminologique qui décrit le vocabulaire du domaine et permet une recherche en langue naturelle.

b. Les approches qui conçoivent des modèles pour la maîtrise et le partage de la complexité de la capitalisation ainsi que du partage des connaissances au sein des organisations ::

- MKSM : Methodology for Knowledge System Management : capitalisation des connaissances dans une optique de gestion des connaissances d'une organisation [Erm 96] depuis devenu MASK : Method for Analysing and Structuring Knowledge. Cette méthode se déroule en trois phases : le cadrage, le cycle de modélisation et le schéma d'orientation. Le cycle de modélisation représente et structure la connaissance au travers de modèles de domaine, d'activités et de tâches. Le schéma d'orientation articule la modélisation MKSM avec la partie opérationnelle du projet sur les niveaux stratégiques, tactiques et d'étude de risques.
- CYGMA : CYcle de vie et Gestion des Métiers et des Applications : création des bases de connaissances métiers [Bou 97] [Sim 97]. La méthode prévoit six catégories de connaissances (singulières, terminologiques, structurelles, comportementales, stratégiques et opératoires) à partir desquelles elle construit des bréviaires de connaissances de filière métier et des bases de connaissances (appelées Assistant Métier Ingénieur) manipulables par des algorithmes de raisonnement déductif. Le bréviaire est composé d'un glossaire métier, d'un livret sémantique, d'un cahier de règles et d'un manuel opératoire. Cette méthode présente l'avantage de faire la distinction entre les différents types de connaissances métiers présents dans l'entreprise.

Par comparaison avec la pratique des langues, Matta fait les parallèle des approches précédentes avec la grammaire : au sens des règles et relations existantes dans les réseaux sémantiques [Mat 95]. Toujours selon le point de vu de Matta, les approches suivantes relèvent plus de l'identification de vocabulaires ou de modèles génériques, dans le cadre de l'ingénierie des connaissances.

c. Applications informatiques pour automatiser les activités données au sein de l'organisation et proposer des systèmes d'aide à la décision :

- CommonKADS - Knowledge Acquisition and Design System : modéliser les connaissances d'un groupe d'experts dans le but de structurer un système à base de connaissances [Wie 92] [Sch 99]. Elle balaye tout le cycle, depuis le processus d'acquisition des connaissances, sa transformation en recueil de connaissances et le développement d'un système complet [Tix 01]. Cette méthodologie comporte plusieurs principes constitutifs, dont :
  - Séparer la phase de conceptualisation de l'expertise de son intégration,
  - Regrouper les connaissances selon leur homogénéité et leurs objectifs,
  - Obtenir, capitaliser et utiliser des blocs ou modèles génériques de connaissance,
  - Préserver les schémas conceptuels obtenus lors du déploiement de l'application.

  Six modèles représentent les connaissances : les modèles d'organisation, de tâche, d'agent, d'expertise, de communication et de conception. Le formalisme UML est utilisé au travers de diagrammes de classes, d'activités, d'états et de cas d'utilisation. Cette méthode propose des modèles structurés pour la représentation des connaissances et définit les interactions entre les différentes catégories par des liens explicites.

- MOKA : Methodology and Tools Oriented to Knowledge Engineering Applications : modéliser et représenter des connaissances de conception et d'ingénierie [Cal 98] [Mok 01] [@MOK] [Kle 00]. La méthode décrit les règles, les processus et les techniques de modélisation ainsi que la définition des étapes nécessaires pour la construction d'un système d'ingénierie à base de connaissances. Comme KADS, elle couvre depuis la phase d'identification des connaissances jusqu'à la phase de mise en service de l'application finale en insistant sur la structuration et la formalisation. La méthode utilise le formalisme MML, adapté d'UML (MOKA Modelling Language) et se décompose en deux phases avant d'aboutir à l'application finale (comme résumé sur la Figure 24) :
  - La phase informelle va jusqu'à la structuration de la base de connaissances sous forme textuelle pour vérification et validation par l'expert. Le modèle informel permet de structurer des blocs de connaissances divers. Cette structuration peut être sous forme de classes (avec attributs, hiérarchisées, …), de relations et contraintes entre les différentes entités, des règles de cohérence entre les différents blocs de connaissances. Le modèle ICARE (qui sera décrit en détail au chapitre *3.3.2.3. Enrichissement des concepts de MOKA*) reprend l'ensemble de ces liens pour guider la construction de cette étape.
  - La phase de formalisation construit un modèle formel pour faciliter l'utilisation et l'intégration de la connaissance dans l'application, avec une structure qui soit compréhensible et manipulable par la machine. Il définit un modèle orienté objet pour le produit et le processus de conception, les fonctionnalités nécessaires pour décrire des objets géométriques et les concepts d'intelligence artificielle pour représenter la connaissance associée aux activités de conception.

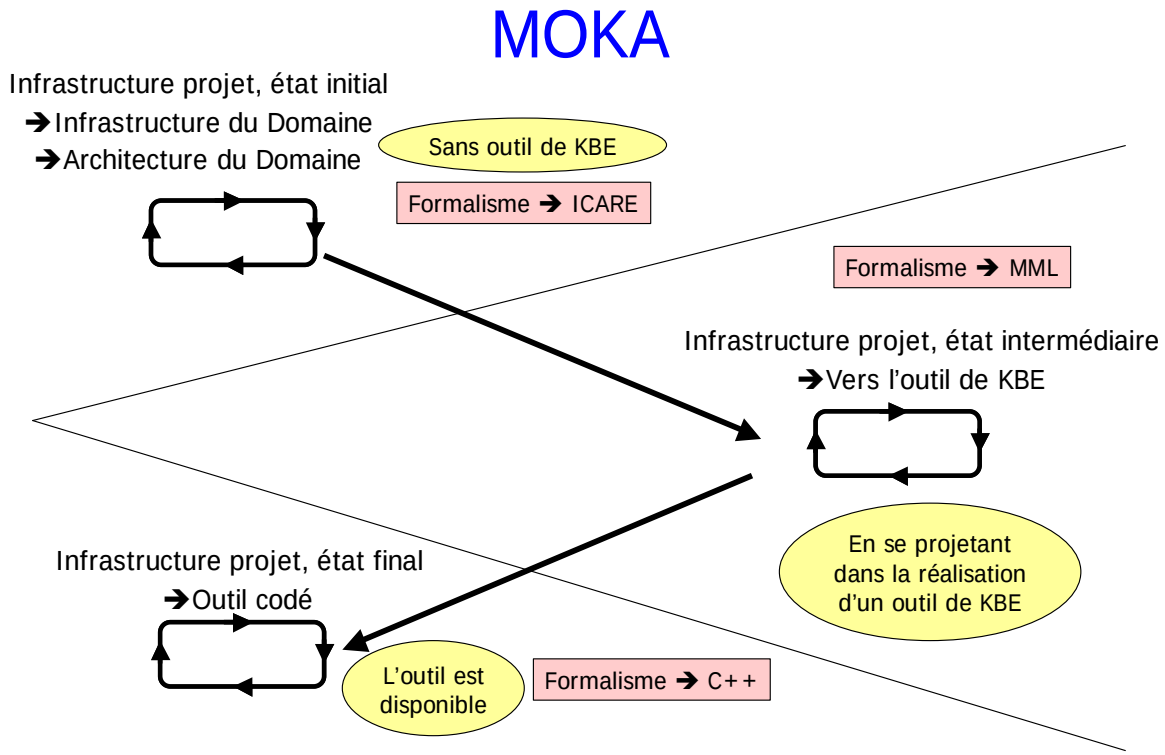


Figure 24 : Schéma de principe de la méthode MOKA

Pour résumer, il ressort clairement que pour nos problématiques, c'est le dernier type d'approches vers lequel nous allons nous tourner. Il ne faut pourtant pas négliger les autres éléments présentés car le rôle que nous souhaitons tenir doit comprendre et tirer le meilleur parti des outils et technologies accessibles pour supporter et déployer au mieux cette intégration de connaissance experte.

La démarche que nous serons amenés à conduire, dans le cadre de la spécification d'outils à base de connaissance pour supporter l'activité d'ingénierie, est résumée en Figure 25. Quatre états clés ressortent :

- état de départ : le magma de donnés ou de connaissance est noyé dans les systèmes d'information ou les cerveaux d'experts (non représenté sur la figure)
- après identification et formalisation, le magma devient de potentielles connaissances (noté K),
- après modélisation et structuration, ces potentielles connaissances se transforment en base de connaissances (noté KB),
- pour finir, elles sont intégrées dans des systèmes à base de connaissances (noté KBS).

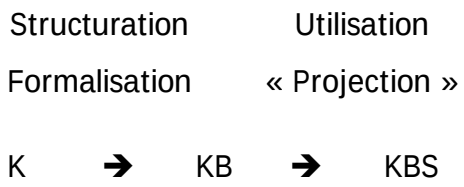


Figure 25 : Les deux grandes phases de l'ingénierie des connaissances

c. Intégration des connaissances en sciences pour l'ingénieur

L'objectif de cette intégration par formalisation et structuration de l'expertise est d'une part d'optimiser cette propre expertise (la raffiner), d'autre part de la partager par le biais de l'intégration dans un environnement métier.

Comme identifié en fin de chapitre précédent, nos problématiques s'intéressent à la structuration de connaissances dans l'objectif de les intégrer dans un environnement de Knowledge Based Engineering. Notre domaine historique d'activité tourne autour du management du cycle de vie produit dans le domaine de la construction mécanique.

Dans ce contexte, les équipes et laboratoires qui s'intéressent à ces problématiques en France se retrouvent entre autre dans les membres du GDR MACS et du groupe Ingénierie des Systèmes de Conception et Conduite du Cycle de vie produit ou du réseau AIP PRIMECA.

Sans rentrer dans le détail de chaque contributeur national, je vais lister succinctement les thèmes et les travaux menés par différentes équipes au travers des titres de thèse ou axes de recherche d'équipes. Ce positionnement peut être vu comme la première étape de construction d'une cartographie des connaissances sur ce thème ; je ne la prétends pas exhaustive.

> Remarque : je vais volontairement omettre les axes qui s'intéressent à la modélisation des compétences. J'adhère à l'idée que les compétences sont une opérationnalisation des connaissances, dans un contexte d'utilisation donné. La compétence est donc un ensemble de savoirs, savoir-faire et comportements tirés de l'expérience nécessaires à l'exercice d'un métier.

1. D'un côté on trouve de nombreuses recherches autour des **connaissances sur le processus de conception** et l'adaptation de ce processus de conduite d'ingénierie collaborative avec les évolutions des NTIC[45]. L'enrichissement des modèles de produits et l'utilisation d'approches à base d'ontologies permettent d'intégrer ces expertises multipoint de vue, de proposer des environnements de suivi des décisions, d'alternatives et de capitalisation d'historiques de projets de conception (la conception du système de production pouvant aller jusqu'aux phases de validation et industrialisation de produit).

Le Projet RNTL IPPOP[46] (Intégration Produit – Processus - Organisation pour l'amélioration de la Performance en ingénierie) illustre bien cette perspective.

- **IRCCyN**[47] :
  - **MCM** (P. Chedmail, J.F. Petiot) ont travaillé jusqu'en 2002 sur le management des connaissances et savoir-faire par la maîtrise des processus de décision et des informations ou systèmes de communication entre acteurs.
    Thèse Martin : Les Technologies de l'Information et de la Communication en conception collaborative multi-site : intégration des TIC en ingénierie collaborative [Mar 02], et HDR Petiot : Conception intégrée orientée client, Processus, méthodes et outils, qui aborde partiellement l'enrichissement sémantique des spécifications de produits [Pet 04a - 04b].

  - **IVGI** (A. Bernard, N. Perry) : modélisation de produits et de systèmes et capitalisation des connaissances pour l'aide à la décision dans le pilotage de la performance industrielle [Ber 96] [Ber 02b] [A.2003.1] [C.2005.1] [C.2005.3].
    Thèse Labrousse : Proposition d'un modèle conceptuel unifié pour la gestion dynamique des connaissances d'entreprise, approche FBS-PPRE [Lab 04a-b, 03a-b-c, 02] [D.2005.7].

- **M3M**[48] (O. Garro, T. Boudouh) : conception innovante et distribuée et analyse du processus de conception par la mise au point d'outils et de méthodes d'aide à la conception.
  Thèse Anghel : Observation et analyse du transfert de technologie - application à la conception [Bou 06].

- **G-SCOP/GILCO**[49] (M. Tollenaere, M. Gardoni) : modélisation des données et des connaissances en conception de produits, complémentarité du management de la qualité et la gestion des connaissances.
  Thèse Mathelin : Contribution à l'efficience des processus de conception en ingénierie concourante : une approche par les systèmes d'information, débutée en 2003 [Mat 05],
  Thèse Lopez : Améliorer l'efficacité des systèmes de management de la qualité en capitalisant les connaissances [Lop 06],
  Thèse Jaime : De la gestion de la qualité à la gestion des connaissances dans les projets de recherche : Une approche pour la gestion du contenu pour la recherche bibliographique [Jai 05],

[45] Nouvelles Technologies de l'Information et de la Communication
[46] http://projects.opencascade.org/IPPOP/
[47] http://www.irccyn.ec-nantes.fr
[48] http://m3m.utbm.fr/pages/accueil.html
[49] http://gilco.inpg.fr/index.html - http://idmme06.inpg.fr/index.php

Thèse Busch : Gestion des connaissances pour les projets techniques en micro-électronique débutée en 2003 [Bus 04],
Thèse Frank : Développement de modèles spécifiques de gestion des connaissances dans les services de recherche [Fra 03].

- **NUMCOP^2 - CRAN**[50] (G. Ris, M. Lombard, L. Gzara) : conception coopérative produit-processus et gestion des conflits en conception collaborative [Gza 04-03].
  HDR Lombard, Contribution de la Modélisation Informationnelle aux Processus de Conception et Réalisation de Produits [Lom 06].
  Thèse Rose : Proposition d'un référentiel support à la conception collaborative : CO²MED (COllaborative COnflict Management in Engineering Design), prototype logiciel dans le cadre du projet IPPOP [Ros 04 - 02].

- **LGeco**[51] (E. Caillaud) : l'équipe Ingénierie de Conception, Cognition et Intelligence Artificielle s'intéresse aux méthodologies de conception en intégrant les modélisations des connaissances et la démarche de conception et d'évaluation des solutions conçues autour des représentations des objets à concevoir. Ceci se développe selon trois axes : le premier vise à favoriser l'innovation en conception ; le second s'intéresse au lien entre les connaissances, les documents numériques et l'appropriation des compétences [Cai 03] [Kad 04] ; le troisième cherche à maîtriser l'impact de la technologie sur les performances des systèmes de production [Gei 06].

- **LASMIS**[52] (L. Roucoules, B. Eynard) : intégration de connaissance pour la conception.
  HDR Eynard, Gestion du cycle de vie des produits et dynamique des connaissances industrielles en conception intégrée [Eyn 04].
  Thèse Charles : Gestion intégrée des données CAO et EF – contribution à la liaison entre conception mécanique et calcul des structures [Cha 05].
  Thèse Nowak : Modélisation intégrée des alternatives de conception – contribution à la traçabilité et réutilisation des connaissances en projet d'ingénierie mécanique [Now 05].

- **LAPS/GRAI**[53] (J.P. Bourrières, P. Girard, B. Vallespir et G. Doumeingts), dans l'opération scientifique Productique : thème modélisation technico-économique des méthodes de conception dans l'approche GRAI [Dou 96] [Gir 01] (GRAI Integrated Method) et ouverture vers la capture de l'évolution (Grai Evolution Method).
  HDR Girard, Contribution à la conduite de conception [Gir 04] basée sur la construction du concept d'entité technologique (produit et système de production) pour s'affranchir du domaine de conception et proposer une théorie générale de la conception,
  Thèse de Merlot, modélisation des connaissances en conduite de l'ingénierie : mise en œuvre d'un environnement d'assistance aux acteurs [Mer 03a et 03b],
  Thèse de Robin, Evaluation de la performance des systèmes de conception pour la conduite de l'ingénierie des produits, prototype logiciel d'aide aux acteurs [Rob 05 et 04].

[50] http://www.numcop2.com/index.php
[51] http://www.insa-strasbourg.fr/fr/lgeco/
[52] http://www.utt.fr/labos/LASMIS/index.php
[53] http://server2.laps.u-bordeaux1.fr/accueil.php

- **LAB**[54] (M. Dulmet, E. Bonjour) : groupe productique qui s'occupe de modélisation et de pilotage des activités de conception et du pilotage par les connaissances et les compétences[55].
  Thèse Belkadi : Contribution au pilotage des compétences, approches basée sur la modélisation des situations de travail [Bel 05 et 04],
  Thèse Rasovska (2006) : Contribution à une méthodologie de capitalisation des connaissances basée sur le raisonnement à partir de cas : Application au diagnostic dans une plate-forme d'e-maintenance [Ras 06].

- **LGI**[56] Centrale Paris - **LGIL** Centrale Lille : Conception, Capitalisation des connaissances et évaluation :
  - **LGI** (J.C. Bocquet, M. Mekhilef, B.Yannou) : management des connaissances et savoir-faire par la maitrise, d'une part, des processus de décision et, d'autre part, des informations et des systèmes de communication entre acteurs.
    Thèse Alberti : Capitalisation des compétences et des connaissances favorisant l'innovation [Alb 04],
    Thèse Le Cardinal : Etude des dysfonctionnements dans la prise de décision. Application au choix d'acteur [Car 00],
    Thèse Cantzler : Une architecture conceptuelle pour la pérennisation d'historiques globaux de conception de produits industriels complexes [Can 97],
    Thèse Nguyen Van : Propositions de stratégies de technique de l'information dans le contexte de la co-conception aéronautique suivant les différents points de vue associés au produit, en collaboration avec J.P.Bourey du LGIL [Ngu 06].

  - **LGIL (**J.P. Bourey, M. Bigand) : amélioration des performances des activités de conception, et suivi des transformations et mise en œuvre des produits, processus, organisations [Big 05a] par l'intégration de modèles et la création de patterns [Big 03] :
    Thèse Ben Sta : Apport des systèmes d'information pour la mémoire des projets de conception de produit [Big 05b],
    Thèse Ndiaye : Apport des technologies orientées objet dans l'étude et la mise en place d'un référentiel de conception pour les systèmes automatisés de production [Ndi 00 et 02] [Big 99].

2. D'un autre côté il y a des **intégrations de connaissances métiers, au sens des métiers de la production**, pour la spécification et/ou réalisations d'environnements d'ingénierie dédiés.Il importe ici d'approfondir et de formaliser des connaissances du domaine pour les intégrer et les partager.

Ces axes se retrouvent en partie dans le projet RNTL USIQUICK[57] (logiciel d'industrialisation automatique de toute pièce mécanique réalisée par fraisage) ou dans la continuité des membres qui formaient le groupe GAMA (gamme automatique en usinage).

---

[54] http://www.lab.cnrs.fr/prod/

[55] J'évoque les compétences ici comme finalité d'utilisation et de représentation des connaissances.

[56] http://www.lgi.ecp.fr/

[57] http://www.usiquick.com/public/index.htm

- **CRAN -** NUMCOP[2] (G. Ris, M. Lombard, L. Gzara) : cycle de vie des produits dans le cadre de la CFAO :

  Thèse Derigent : Méthodologie de passage d'un modèle CAO vers un modèle FAO pour des pièces aéronautiques : Prototype logiciel dans le cadre du projet USIQUICK. Doctorat de l'Université Henri Poincaré [Der 05] [Der 04],

  Thèse Harik : Spécifications des fonctions pour un système d'aide à la génération automatique de gamme d'usinage : prototype logiciel pour l'application aux pièces aéronautiques de structure [Har 05].

- **G-SCOP/3S**[58] (membre du 3S. Tichkiewitch, D. Brissaud, F. Villeneuve, H. Paris) dans le Pôle Conception Intégrée : méthodologie de conception et intégration métier au plus tôt des contraintes de fabrication (logiciel Propel : [TSA 88] [Bri 90], IDMS [Bris 00] [Bri 01])

  Thèse Capponi : Les interactions homme machine dans la génération assistée de gammes d'usinage : application aux pièces aéronautiques de structure, [Cap 05],

  Thèse Zirmi : traitant de la reconnaissance des difficultés d'usinage [Zir 05].

- **LGIPM**[59] (P. Martin, J.Y. Dantan, A. Siadat) équipe ingénierie de fabrication : conception et fabrication intégrées de produits mécaniques par la formalisation et le traitement des connaissances pour l'intégration produit / process [Mar 03].

  Approches par key-characteristics - entité coûts, système à base de cas, algorithmes génétiques et systèmes de propagations de contraintes pour :

  Thèse d'Etienne sur l'optimisation automatique de produit, et de Thibault sur la conception intégrée dans le domaine de la forge,

  Thèse H'Mida : sur l'estimation des coûts [H'Mid 02] [Thi 04] [D.2006.2][D.2006.3],

  Thèse Basseto : la qualification de moyens de production et la gestion des risques [Bas 04].

  Projet ICAMS[60] (Intelligent Computation Applied to Manufacturing Systems) visant à l'intégration de technologies d'intelligence artificielle dans les domaines de l'ingénieur mécanique, ciblé sur l'estimation des coûts pour des pièces mécaniques (raisonnement à partir de cas) et l'utilisation de l'approche entité coût.

- **IRCCyN**[61]
  - **IVGI** (A. Bernard, N. Perry) : intégration des connaissances pour l'industrialisation optimales des produits et des processus [Ber 01] [A.2006.3] [C.2007.1] [D.2005.2].

    Thèse Candlot : Principes d'assistance à la maîtrise d'ouvrage pour la modélisation et l'intégration d'expertise [Can 06] [A.2005.1] [D.2005.3],

    Thèse Ammar-Khodja : Processus d'aide à la spécification et à la validation d'application d'ingénierie à base de connaissances métier [Amm 05a] [Amm 05b] [Amm 04].

  - **MO2P** (J.Y. Hascoet, B. Furet, P. Mognol) : création d'un atelier virtuel d'ingénierie de production [Dug 02] [Ter 05] par raffinement et intégration des connaissances dans les domaines de l'usinage [Fur 05] [Ama 03] [Che 03] et du prototypage rapide [Mog 05] [Lesp 04] [Gil 06].

---

58 http://www.g-scop.inpg.fr/Organisation/PoleCI.php

59 http://lgipm-1-r15.enim.fr/lgipm/-Equipe-IFAB-.html

60 http://liris.cnrs.fr/~ic04/programme/Thibault.pdf#search=%22Projet%20ICAMS%20%22

61 http://www.irccyn.ec-nantes.fr/

- **M3M**[62] (O. Garro, T. Boudouh) équipe Conception innovante et distribuée : formalisation du processus de conception sur les phases de spécifications du produit, création du modèle géométrique, définition des fabrications et obtention du produit final.

  Thèse Bozon : Intégration des connaissances métier en CFAO [Boz 04].

Beaucoup de ces participations ont trouvé un écho dans les ouvrages de synthèse du groupe IS3C : Gestion dynamique des connaissances industrielles [Eyn 04] ou Ingénierie de la conception et cycle de vie des produits [Rou 06].

Il ressort très rapidement que tous les acteurs qui s'intéressent de près ou de loin aux activités d'ingénierie se posent des questions :

- soit sur les processus eux-mêmes et donc sur les approches d'optimisation de son déroulement : intégration des connaissances en conception,
- soit sur les objets d'ingénierie et donc sur l'approfondissent sur les domaines des connaissances qu'ils cherchent à formaliser pour les intégrer dans un environnement métier : industrialisation de ces connaissances pour une utilisation efficace.

Cette constatation est identique pour les laboratoires étrangers. Je ne réfère ici que les contacts et collaborations que nous avons sur ces sujets en direct ou dans le cadre de projets ou réseaux d'excellence :

- **Cranfield Univ.** - Knowledge and Innovation Systems Centre (C. Wainwright, A.J. Beckett) : management des connaissances d'entreprise pour l'aide à la conception et à l'innovation [Bec 00b] [Wain 01].
- **Bath Univ.**[63] Design, Manufacturing and Materials Group (C. Mc Mahon, S.J. Culley, P. Maropoulos) : gestion de projets à base de connaissances [Mah 05] [Cul 05].
- **Durham Univ.**[64] Digital Enterprise Technology (P. Maropoulos) **:** travaillant sur la production innovante et l'utilisation de l'ingénierie numérique [Mar 05a - b].
- **EPFL** - Laboratoire des outils informatiques pour la conception et la production[65] (P. Xirouchakis, D. Kiritsis) : qui aborde la modélisation de produits et l'intégration des contraintes orientées fabrication, assemblage, recyclage [Xir 02].
- **Twente Univ**. Centre for Integrated Manufacturing and Development[66] (F. Van Houten, E. Lutters) : intégration de différents processus d'ingénierie : conception et organisation industrielle, (logiciel Part [Van 91]).
- **GCC** - Integrated Enterprise Engineering[67] (N. Du Preez, C. Schutte) : qui vise à concevoir ou à améliorer les processus d'entreprises par intégration et partage des connaissances dans des environnements d'aide au changement [Can 04] [Pre 04a - b - c].
- **Politechnico di Bari**[68] (M. Dassisti) : Système d'information et d'intégration des connaissances technico-économiques dans la gestion des données produits [Dass 00 et 98].

---

62 http://m3m.utbm.fr/index.php?pge=47

63 http://www.bath.ac.uk/eimrc/index.shtml

64 http://gderl.dur.ac.uk/

65 http://licpwww.epfl.ch/

66 http://www.cipv.utwente.nl/en/index.html

67 http://www.ie.sun.ac.za/01.%20Home.php

3.2.1.4. Conclusion sur notre utilisation pour l'intégration des connaissances

Comme nous l'avons vu, il est nécessaire de partager efficacement les connaissances métier pour assurer un niveau de performance des produits et de l'organisation.

Pour ce faire, il faut faire appel à des approches (les ontologies entra autre) et des outils (par exemple le web sémantique) pour intégrer les connaissances dans un environnement adapté aux utilisateurs. Il faut de plus faciliter la réappropriation des savoirs ainsi transcrits dans les ordinateurs et leur enrichissement par l'interconnexion avec d'autres savoirs propres aux usagers.

Ainsi comme nous l'avons déjà dit, ces **environnements** ou **systèmes à base de connaissances** (KBS) doivent fournir des solutions ou réponses :

- pragmatiques et efficaces : fournir rapidement des informations pertinentes à la requête,
- fiables : la confiance s'appuie sur l'aptitude à justifier les propositions en référant aux modes de raisonnements ou au niveaux d'expertises liés aux réponses,
- agiles : capables de s'adapter aux profils utilisateurs, aux évolutions des connaissances inscrites, aux environnements qui les diffusent.

C'est en ce cens que, par abus de langage, je nomme « **industrialisation des connaissances** » les processus qui permettent de répondre à ces besoins.

[68] http://www.dimeg.poliba.it/

3.3.2. APPORTS RELATIFS A L'INTEGRATION DES CONNAISSANCES

Ces travaux s'inscrivent dans une approche de développement d'environnements virtuels supportant les démarches d'ingénierie intégrant des connaissances expertes pour une automatisation et une interaction pilotée avec les utilisateurs. Il faut donc :

- Utiliser et adapter des approches existantes d'ingénierie des connaissances et les adapter aux domaines de l'ingénierie de conception et de production de produits.
- Spécifier les environnements de travail, les structures de connaissances et les processus d'utilisation aux développeurs de logiciels qui supporteront ces démarches.

Ainsi, intégrer des connaissances dans un environnement virtuel va nécessiter de :
- traduire le métier de l'ingénieur, son savoir et savoir faire,
- automatiser une partie des processus experts qui sont formalisés en optimisant les interactions avec les utilisateurs
- faciliter les prises de décisions en contextualisant les réponses :
    - en proposant des connexions vers des cas similaires ou règles identifiées,
    - en proposant automatiquement des connexions vers des informations ou cas similaires aptes à éclairer la prise de décisions (les experts si besoin),
    - en justifiant les aides ou propositions formulées,

Ainsi le recours aux experts sera évité de manière systématique, mais il sera un impératif de départ pour concevoir les outils d'ingénierie à base de connaissances.

De plus, il incombe de proposer des indicateurs qui justifient de l'amélioration des performances pour les utilisateurs tout comme pour les experts. Ils vont se mesurer par exemple sur :

- les temps de développement de produits,
- les temps de mise à disposition de produits,
- les nombres d'itération au cours de la conception / vie du system / produit,
- les nombres de re-conception suite à l'identification de défauts,
- les nombres (ou temps) d'experts mobilisés pour assurer le travail à réaliser.

Cependant, l'expérience de mise en œuvre de Systèmes Interactifs d'Aide à la Décision (SIAD) a montré les limites des approches de type systèmes experts. D'une part, le nombre important de règles rend la cohérence difficile à assurer, sans compter les temps de traitements longs. De plus, la maintenance de tels systèmes devient problématique car les règles évoluent avec l'avancée des connaissances ou des solutions techniques du domaine considéré. La gestion devient alors un enjeu majeur pour l'efficacité dans la durée de ces solutions.

Nous allons donc nous efforcer d'utiliser des solutions qui évitent ces écueils tout en intégrant au plus tôt l'utilisateur ainsi que les contraintes liées à la vie du SIAD et de la démarche de réflexion.

3.3.2.1. Résumé des apports en Industrialisation des Connaissances

Je vais commencer par résumer sommairement les différents points relatifs à l'intégration des connaissances. Ils seront développés tout de suite après. Le lecteur spécifiquement intéressé par

un seul des aspects pourra ainsi avoir un rapide aperçu de l'ensemble avant de se plonger dans le détail de ce qui l'intéresse.

Ce résumé peut se décomposer en trois phases qui commencent par une première étude sur la formalisation de l'expertise d'experts et de l'automatisation de leurs modes de raisonnement. Nous avons ainsi utilisé des approches floues et par heuristiques qui s'opposent aux méthodes à bases de règles. La place et le rôle des ontologies commence à s'imposer à nous (DEA Rabeau 2003). Suite à quoi nous allons nous intéresser aux étapes de transformations des connaissances pour aboutir au développement du système à base de connaissances. L'état de départ est un bréviaire de connaissances, formalisé en langage naturel. L'état final est un environnement métier qui utilise et applique les connaissances introduites. C'est l'objet de la thèse d'Ammar-Khodja 2007. Il importe de proposer des démarches indépendantes du domaine métier que l'on veut intégrer. De plus, il faut s'assurer que ces efforts de gestion des connaissances aboutiront dans des délais raisonnables à un résultat utilisable et utile pour les utilisateurs. Ainsi, ce troisième aspect vient compléter les travaux précédents, en s'intéressant, non plus au déroulement du projet dans un domaine métier particulier, mais à la préparation et au suivi de ce type de projet pour anticiper les écueils récurrents, proposer des alternatives de solutions objectivement comparées et piloter la mise en œuvre tout en regardant l'efficacité tant du projet que de la solution proposée. C'est le travail de thèse de Candlot 2006. Ces trois aspects seront approfondis par des cas d'application spécifiques à certains aspects des démarches proposés.

- **PREMIERE APPROCHE : FORMALISATION D'EXPERTISE MULTIPLE PAR APPROCHES HEURISTIQUES** (DEA S.Rabeau [Rab 03])

Ici, le principal objectif est d'associer des expertises multiples (modélisation multi experte) dans un outil qui évalue en temps réel les propositions des utilisateurs. Les approches heuristiques ne fournissent pas de solutions démontrables, mais des propositions de réponses que l'utilisateur, avec son expertise du domaine, doit filtrer pour évacuer les solutions aberrantes. Ce travail a été réalisé en collaboration avec la société Adexys, en utilisant leur outil Descriptor©.

La mise en œuvre a principalement mis en avant les points suivants :

1. Il est nécessaire de formaliser la décision pour que l'expert évalue si le modèle correspond à son mode de pensée exprimé : intégration de l'expert dans la boucle de modélisation. Les formalismes utilisés sont :

- les réseaux conceptuels,
- les arbres de décisions,
- la pondération de choix par expert.

2. Les objectifs de l'expert et de l'ingénieur (qui formalise l'expertise) sont différents. Il est impératif de clarifier ces deux points de vue faute de converger vers un accord de représentation du sens qui est transmis. Ainsi la dépendance des modèles par rapport au modélisateur (ou aux objectifs associés au model) impose de :

- définir clairement les objectifs et les méthodes mises en œuvre (au risque de perturber le raisonnement de l'expert qui va chercher à se glisser dans le moule de la formalisation),

- d'itérer et de réaliser des boucles d'alignement entre experts pour faire converger les expertises multiples sur la structure générale de décision. Le modèle final moyenne les propositions de chaque expert en assurant la cohérence des pondérations de choix proposée par la méthode AHP.

En conclusion pour les approches à venir, nous retenons qu'il est nécessaire de cadrer la démarche de modélisation (ce qui en soi n'est pas une si grande découverte). Il faudra donc avoir :

- un accord entre l'expert et le modélisateur concernant les objectifs (différents mais compris de chacun),
- une validation et une utilisation interactive des modèles et structures de connaissances proposées par les experts,
- une structuration des éléments (concepts, règles, contraintes..). Il est nécessaire de se tourner vers des approches d'ingénierie des connaissances ou d'intelligence artificielle : les ontologies, les bases de connaissances...
- une spécification vers les développeurs de fonctionnalités à améliorer (ou à ajouter) : besoin de langages communs pour traduire les requêtes des différents acteurs (utilisateurs, experts, ingénieurs des connaissances).

Ce premier pas dans l'intégration de connaissances a surtout permis de définir la place qu'il nous faut prendre : ***place d'interface entre des experts*** (du domaine de compétence à intégrer, du métier et du processus de l'utilisateur, du développement de logiciel).

- **MANIPULATION DES CONNAISSANCES ET SPECIFICATION DE SYSTEMES A BASE DE CONNAISSANCES (SBC)** (Thèse S.Ammar-Khodja 2007)

L'objectif est de maîtriser la transformation des états des connaissances et de leurs phases de transformation. Ceci s'applique dans le cadre du projet USIQUICK, où l'on part du bréviaire (formalisation en langage naturel des expertises) jusqu'à la spécification de l'application CFAO (CATIA) qui sera le système à base de connaissances proprement dit. De plus, il faut s'assurer que le développement proprement dit ne dénature pas les connaissances initialement modélisées et structurées pour l'usage défini par le client.

Ce travail de thèse propose :

1. Un cycle de développement de SBC qui combine le cycle de vie des connaissances (ses différents états et ses transformations) et les phases de spécification / développement du logiciel (en référence au CMMI par exemple).

2. Un enrichissement de la méthode MOKA (initialement conçue pour l'intégration des connaissances en conception) aux concepts du domaine de la production.

3. Une démarche de spécification de SBC et de suivi de son implémentation dans un environnement de CFAO :

- intégration des contraintes, issues de l'environnement métier choisi, dans les phases de structuration / formalisation des connaissances,

- maintien de la cohérence, de l'enrichissement et du contrôle des connaissances modélisées,
- vérification de la cohérence et complétudes des connaissances implémentées en cours de développement.

4. Des scénarii d'utilisation par un réseau d'experts ou d'utilisateurs :

- anticiper les évolutions dans la vie des connaissances encapsulées : amélioration et enrichissement à venir, en cohérence avec ce qui est déjà implémenté,
- proposer des justifications aux traitements automatiques des objets manipulés,
- développer une démarche interactive, en analysant les modes d'utilisation et en proposant des itérations et validations optimales avec l'utilisateur.

En conclusion, ce travail a ainsi permis la validation de la proposition complète du développement d'un système à base de connaissances dans le domaine de la production mécanique par usinage, et par extension au domaine de la production au sens large. Il est alors possible de disposer d'une méthode qui croise les enjeux, contraintes et solutions du développement de logiciel et de la gestion des connaissances.

Ainsi, le pilotage du processus de mise en place d'un tel système joue un rôle très important. Il faut entre autre anticiper les problèmes liés au développement d'un tel système et les solutions techniques choisies (méthodes de modélisation, environnement de développement, …). De plus, au delà de la nécessité de formalisation du domaine d'expertise initiale, il est impératif d'assurer une communication efficace entre les différents acteurs d'un tel projet pour assurer la compréhension commune des objectifs fixés, déclinés dans les différents métiers.

- **PILOTAGE : PREPARATION ET SUIVI DE SYSTEME A BASE DE CONNAISSANCES** (Thèse A.Candlot [Can 06])

Pour garantir le bon déroulement des projets de type intégrant des connaissances, il faut fournir :

- des moyens d'analyse de projets existants ou à venir,
- des solutions optimales pour répondre aux besoins en identifiant des problèmes classiques, en comparant l'efficacité des outils ou des méthodes,
- un moyen de capitaliser les projets menés, pour continuer à améliorer les outils de pilotage et d'évaluation proposés.

Le travail de thèse propose une approche générique basée sur l'analyse et la mise en œuvre dans le cadre de projets du domaine de l'industrie et des services. Aucune méthodologie ne couvre l'ensemble des besoins qui sont aussi variés que le sont les objectifs des actions de gestion des connaissances. Cette étude vise ainsi à assister les prises de décisions au niveau :

- stratégique : par où commencer les actions de gestion des connaissances pour être efficace ?
- opérationnelle : quelles méthodes et outils utiliser, dans quel ordre et comment ?
- vie : comment intégrer les évolutions de manière viable ?

De plus, ce travail commence à aborder les aspects de valorisation des actions de gestion des connaissances tant sur les aspects de capital humain, capital structurel et capital relationnel. Les

notions de valeurs des connaissances sont ici évoquées et feront écho aux réflexions menées par Mauchand sur la modélisation de chaîne de valeur en production.

Ce travail apporte un environnement d'analyse et d'aide au choix qui permet :

1. D'outiller l'analyse et la proposition d'étapes à réaliser dans le projet par la définition d'outils d'analyse spécifiques qui sont :
   - les piliers de l'intégration d'expertise (objets sur lesquels agir pour trouver, modéliser puis intégrer les connaissances) en fonction du niveau de maturité des organisations (échelle de classification pour programmer et mesurer la progression),
   - les phases de modélisation et d'intégration des connaissances qui définissent une succession type pour passer de la connaissance non formelle à l'utilisation des outils développés pour l'environnement logiciel à base de connaissances,
   - trois couples de concepts qui visent à clarifier les échanges en systématisant leur utilisation (syntaxe / sémantique, infrastructure / architecture, domaine / projet).
2. D'analyser l'état initial et le potentiel d'évolution relatifs au développement de SBC,
3. De justifier les étapes et solutions choisies pour mener à bien le projet afin de faciliter :
   - l'adhésion des différents acteurs, chacun à leurs niveaux,
   - l'illustration les relations de dépendances ou d'impacts,
   - l'anticipation de la vie de la solution de manière durable dès la conception.
4. De suivre et de piloter le déploiement du projet tout en capitalisant ses points forts et faibles, les méthodes choisies et celles délaissées.

Toutes ces actions se font sous un même formalisme et sont regroupées au sein d'un algorithme méthodologique pour la spécification d'indicateurs de pilotage de projets d'intégration de connaissances (méthode et grille d'analyse MARISKA).

En conclusion de ce travail, nous disposons d'un outillage d'analyse, de préparation et de suivi de projet de développement de systèmes à base de connaissances. Ceci a renforcé notre position d'interface entre acteurs et a complété notre appropriation d'outils et de méthodes du domaine de l'ingénierie des connaissances que nous appliquons à notre point de vue.

➢ CAS D'ANALYSE

Pour compléter ce rapide tour d'horizon, voici 3 cas d'application ou d'analyse dans lesquels nous avons complété certains aspects des points présentés si avant.

1. **DEVELOPPEMENT DE SYSTEME D'INFORMATION ET DE CFAO INTEGREE BASEE SUR L'EXPERTISE DU METIER DE FONDEUR** (thèse Delplace [Del 04])

Le point critique est l'adhésion des utilisateurs au nouvel environnement proposé. Il faut donc l'intégrer dans le processus naturel de travail, tout en conservant les habitudes métier, mais en modifiant les outils de traitement (par exemple la CAO plutôt que le dessin papier des outillages).

Les méthodes de travail, couplées au processus d'élaboration d'outillages et de pièces en fonderie sable acier, ont été modélisées pour servir de structure de base du système d'information développé. Il a, de plus, servi à alimenter automatiquement l'application de devis de pièces qui

reprend l'analyse des processus d'élaboration, pour évaluer la contribution ou non des pièces produites.

2. **ANALYSE DE L'IMPACT ECOLOGIQUE DES PROCEDES DE PROTOTYPAGE** (DEA Le Picard [Pic 04])

Ce travail consiste en une analyse croisée d'experts en réalisation rapide de produits. Les domaines de compétences relèvent des sciences de l'environnement, d'énergéticien et de mécaniciens. On cherche alors à quantifier l'impact écologique sur le cycle complet de réalisation par différents procédés de prototypage. Le premier axe d'analyse est l'évaluation de l'énergie mise en jeu.

Il en ressort des préconisations de choix de processus, d'orientation de pièces et de paramètres opératoires qui minimisent l'impact énergétique global de ces procédés. On propose alors une grille d'aide au choix de solution technique intégrant la facture écologique du procédé utilisé.

La nécessité de définir mutuellement (entre acteurs) les concepts, centre d'intérêts et objectifs a fait parti d'une des premières étapes du travail. D'autre part, l'utilisation de modèles heuristiques pour supporter l'outil d'aide à la décision finale s'est imposée comme solution efficace et rapide pour répondre aux besoins de l'ingénieur de développement rapide de produits.

3. **RAFFINEMENT DU CONCEPT OUTIL SEQUENCE ENTITE (OSE) DANS USIQUICK**

Ce travail a approfondi la démarche de raffinement de connaissances déjà intégrées et les démarches d'intégration des évolutions dans le processus de structuration d'une base de connaissances. La principale finalité, au delà de l'aspect technique de l'OSE, a été de valider les scénarii de mise à jour et d'évolution de la base de connaissances.

De plus, ce travail ayant été fait en cours de projet USIQUICK, il a permis d'aider à identifier les spécifications nécessaires pour la vie de l'application finale et la base de connaissances.

Après ce tour rapide, voici chaque point détaillé plus avant.

3.3.2.2. Modélisation de la connaissance pour l'aide à la décision par méthodes heuristiques

Le DEA de S. Rabeau en collaboration avec la société Adexys[69] s'est intéressé à la modélisation d'expertise par des heuristiques et de la prise en compte de multi-expertises [Rab 03]. La société Adexys développe et commercialise un système interactif d'aide à la décision (Descriptor©) qui utilise une approche heuristique pour aider à répondre à des problèmes multicritères complexes. Les domaines d'applications privilégient des besoins de très forte réactivité tout en maîtrisant les risques. En effet, les heuristiques ne vont pas proposer de solutions 100% certaines, mais des solutions avec un taux de validité par rapport au problème donné. L'utilisateur reste le dernier garant de l'acceptation ou non des propositions faites par l'outil.

La formalisation de l'expertise se fait par la retranscription des logiques de raisonnement au travers d'arbres de décision, chaque nœud traduisant les critères de choix. Une première phase consiste donc à analyser les modes de raisonnement de l'expert qui lui est restitué sous forme de graphe pour valider avec lui la démarche. Une fois la structure définie, l'expert vient pondérer ses choix par différentes approches. La comparaison par paires (dans un même niveau, on compare

[69] http://www.adexys.com/

deux à deux les choix proposés) est la démarche retenue pour donner du sens à ses modèles. La méthode hiérarchique multicritère (autrement connue sous le nom d'AHP : Analytic Hierarchy Process) développée par T. Saaty vient affiner le processus de décision en examinant la cohérence et la logique des préférences émises lors de la pondération [Saa 77 et 80].

A l'usage, l'utilisateur sélectionne les paramètres pris en compte par le raisonnement qui lui semblent pertinents dans sa demande pour améliorer le niveau de résultat. Il peut de plus pondérer l'importance de ces critères, relativement à son besoin. Le modèle va se reconfigurer automatiquement. La démarche intègre donc le questionnement de l'utilisateur (système interactif) avant de lui délivrer une proposition de résultats dont il peut modifier les préférences si besoin (possibilités d'essais par What If). La Figure 26 illustre l'ensemble des étapes de ce travail, depuis la représentation du raisonnement, sa pondération et enfin le rendu des résultats.

Dans le cas de multi-expertise, il n'est pas toujours possible d'obtenir une structure commune pour chaque expert. Localement, on peut alors faire des sous graphes qui caractérisent certains raisonnements propres. D'autre part, la pondération multiple pour intégrer une communauté de raisonnement est réalisable en pondérant les pondérations (généralement la moyenne est utilisée, sauf dans le cas de très forte expertise d'une sous partie par l'un des experts).

Pour montrer le caractère transdisciplinaire de ces approches de capture d'expertise, S. Rabeau a travaillé sur l'aide à la détection du risque suicidaire par les médecins généralistes, en s'appuyant sur deux médecins nationalement reconnus et sur des études médicales d'analyse et d'identification des causes et des cas de risque suicidaire. Ce travail a donné lieu à la réalisation d'un prototype opérationnel livré aux médecins généralistes à renseigner en cours de diagnostique.

Ce travail nous a apporté une expertise sur la construction de représentation de raisonnements et les approches heuristiques comme moteur d'intelligence artificielle.

Sébastien Rabeau a continué en thèse sous la direction de F. Bennis et P. Dépincé sur *l'Optimisation multidisciplinaire en conception collaborative* (soutenance prévue fin 2007).

1. Démarche de capture d'expertise

① Elaborer tous les critères du problème

② Structurer la hiérarchie afin de définir les critères de même niveau

③ Evaluation des poids des critères (matrice de comparaisons binaires des critères de vulnérabilité)

Calcul de la cohérence moyenne CM

Indice de cohérence $ICM = \frac{CM - n}{n-1}$

avec *n*, le nombre de critères

Ratio de cohérence :

$R = \frac{ICM}{\text{indice de cohérence aléatoire}}$

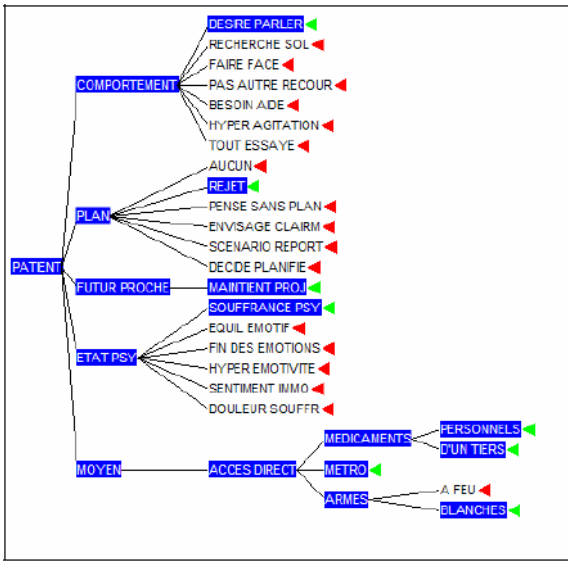
la cohérence aléatoire étant fonction de la taille de la matrice

④ Evaluation des préférences des acteurs selon une échelle d'importance donnée aux critères matrices de comparaison binaire des préférences pondération par le poids des critères

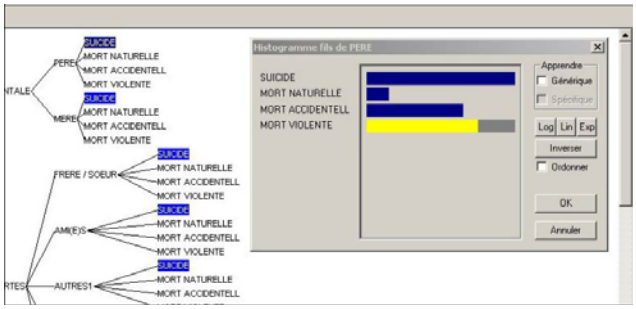
⑤ Evaluation de la perception globale des sites matrices de comparaison binaire des sites

Evaluation

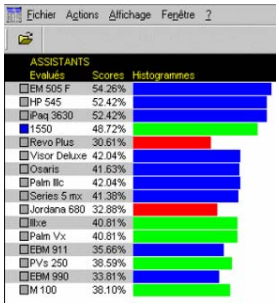
2. Sélection des critères à évaluer par rapport au problème donné



3 : Arbre de décision pondéré et proposition de choix sous forme d'histogramme



4. Restitution des résultats





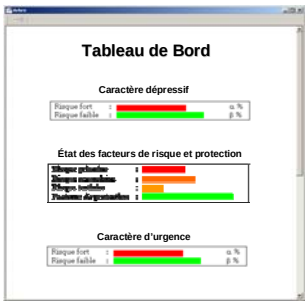


Figure 26 : Démarche de capture d'expertise, illustration de l'utilisation [Rab 03]

3.3.2.3. Intégration de connaissances : Processus d'aide à la spécification et à la validation d'application KBE

Cette partie présente les travaux menés dans le cadre de la thèse d'Ammar-Khodja en parallèle du projet USIQUISK. La Figure 27 gauche résume les différentes étapes du processus d'ingénierie des connaissances mis en place pour aboutir à une solution de recueil, de formalisation et de restitution de la connaissance métier à travers un outil d'ingénierie à base de connaissances (outil) pour la définition de la gamme de fabrication de pièces mécaniques.

De plus, la partie droite de cette figure présente le cycle de vie de la connaissance dans le projet USIQUISK. Le point de départ est le métier de gammiste. Il a donné lieu à un travail d'abstraction pour augmenter la maturité d'expertise des méthodes de préparation des gammes d'usinage. L'expérience montre, que d'un gammiste à l'autre, les choix d'outils liés à des séquences et des entités à fabriquer différent. Cette progression de maturité et donc de partage de pratiques de travail et de savoirs a conduit à la rédaction du classeur des spécifications délivré par Dassault Avion.

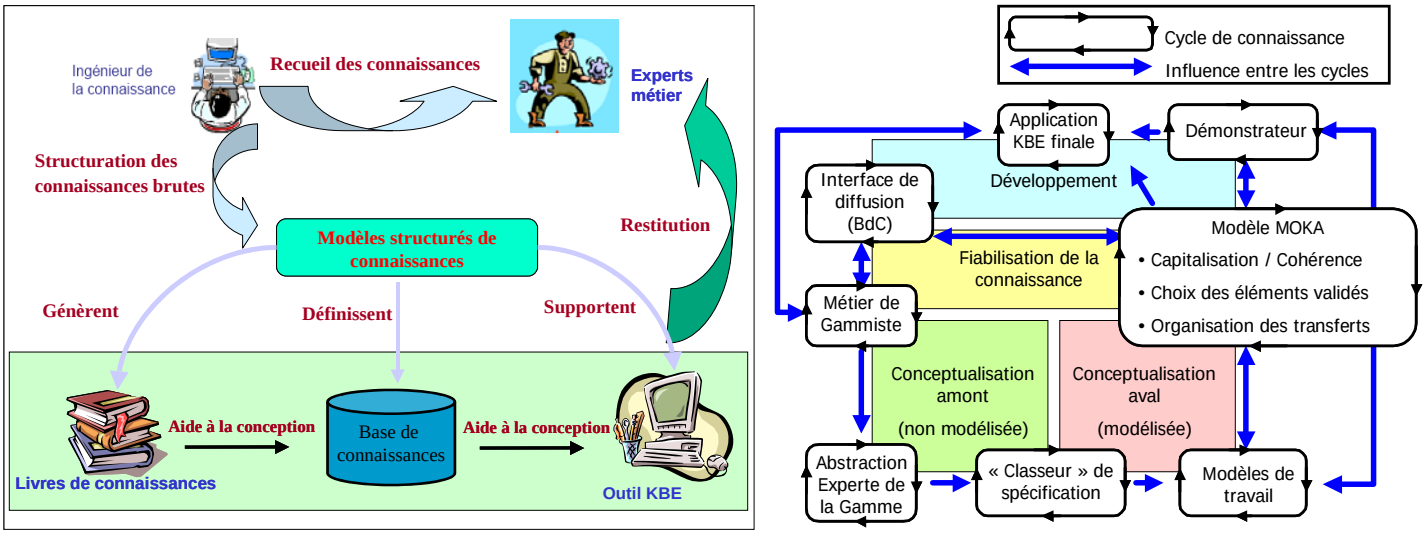


Figure 27 : Processus d'ingénierie pour la restitution de la connaissance métier (gauche) et cycles de vie de la connaissance dans USIQUICK (droite) [Amm 05a]

C'est l'analyse et le traitement du classeur des spécifications qui, en utilisant la méthode MOKA, va donner lieu à une structuration de base de connaissances et un développement du démonstrateur validant les concepts de l'application finale.

Dans la Figure 28, page suivante, je me suis efforcé de représenter le cycle de traitement mis en œuvre par Ammar-Khodja pour intégrer les connaissances des experts de chez Dassault Avion (préparation de gammes d'usinage) dans l'environnement CATIA, réceptacle et moteur du traitement partiellement automatique de la démarche USIQUISK.

a. Structuration de la démarche

Ammar-Khodja propose un découpage structurant pour mener à bien un tel projet. D'un point de vue macroscopique, il se décompose en deux phases : **Spécification** des structures de connaissances puis **Intégration** dans l'outil métier (passer de la connaissance à la base de

connaissances, puis de la base de connaissances à l'application comme déjà présenté sur la Figure 25 page 104).

Chaque phase est elle-même découpée en deux étapes :

- **Spécification fonctionnelle** et **Spécification technique** qui aboutissent à la structuration navigable des concepts et de leurs explicitations (base de connaissances) ainsi que les structurations opérationnelles de développement pour l'informaticien (diagramme de classe, diagramme de séquences, scénarii d'applications…). Ces deux étapes définissent les éléments d'infrastructure et d'architecture du système.
- **Développement** (qui n'est pas de notre ressort) et **Spécification d'usage** qui regroupe les phases de lancement et de vie de l'application.

La Figure 29 présente, selon mon point de vue, les principaux apports du travail d'Ammar-Khodja sur l'ensemble des étapes qui aboutissent à l'utilisation de l'application USIQUISK.

Les apports les plus conséquents concernent la partie **Spécification** de manipulation des objets de connaissances et de leur structuration en vue du codage informatique.

Il est donc nécessaire dans la **Spécification fonctionnelle** de jouer le rôle d'interprète de l'expert métier à qui l'on formalise et structure l'expertise livrée. Il importe de vérifier la complétude et la cohérence des éléments livrés.

Dans un second temps, l'interprète change d'interlocuteur. La **Spécification technique** consiste à traduire pour l'informaticien ce qui a été extrait et capitalisé de l'expert, tout en l'assistant pour naviguer au milieu des éléments qu'il doit implémenter.

Enfin la **Spécification d'usage** doit envisager les moyens de continuer à enrichir la base de connaissances et permettre à l'utilisateur final de retrouver le raisonnement qui a amené aux propositions effectuées par le système.

La première conséquence, qui semble triviale a posteriori, est la prise en compte sur tout le cycle de vie de l'application des besoins et actions de l'ingénierie à base de connaissances. Et principalement la mise en place d'un suivi guidé de la vie de l'application, par un administrateur d'environnement qui n'est pas forcément le même acteur qui a mené l'intégration et le développement du projet. Cette prise de conscience au plus-tôt dans la conception de l'outil oriente des choix de méthode et de structuration de la base de connaissances pour la laisser ouverte et évolutive. En conséquence, la méthodologie MOKA a été choisie pour mener à bien cette partie.

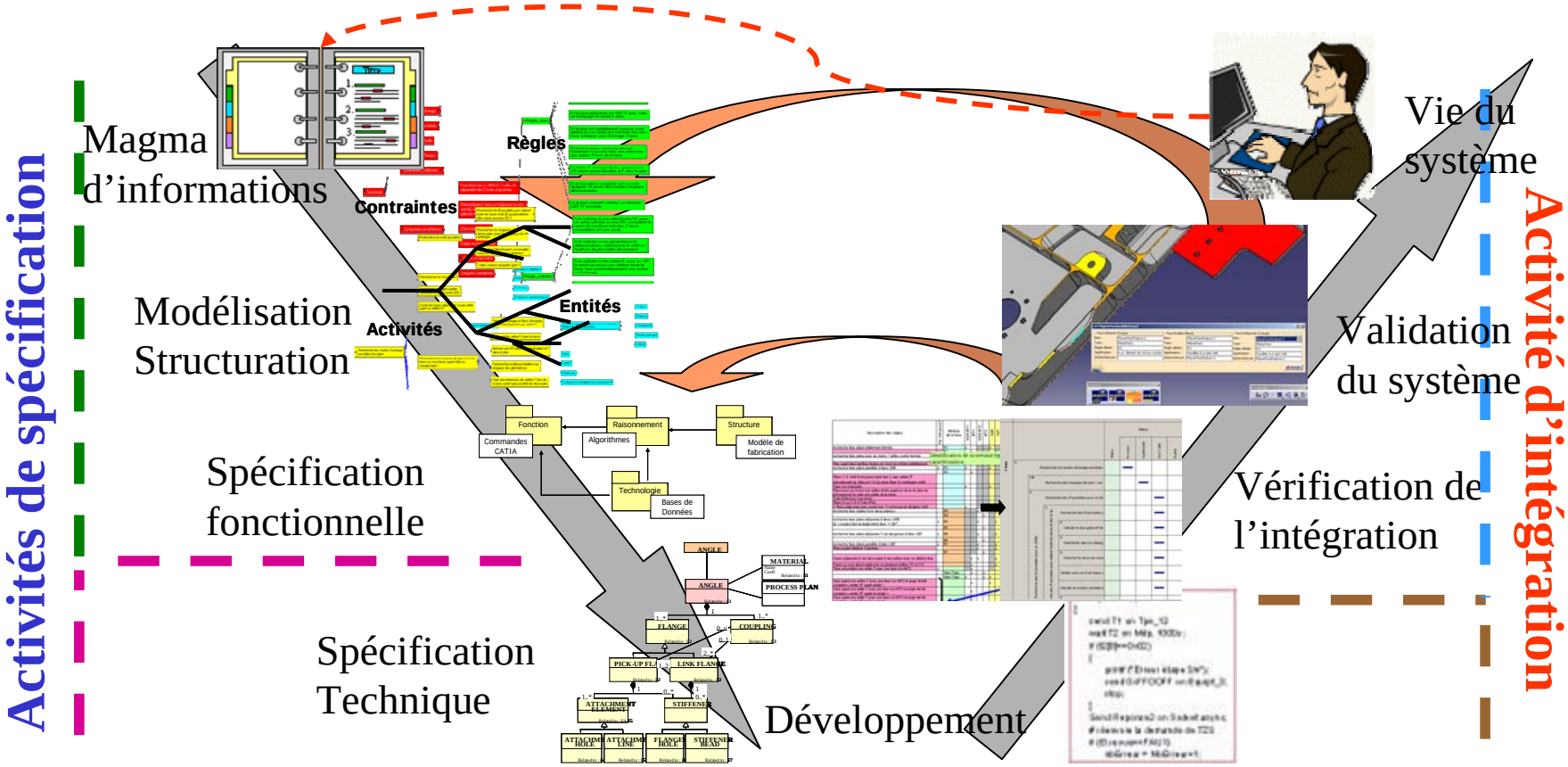


Figure 28 : Processus d'ingénierie pour l'intégration de connaissances métier

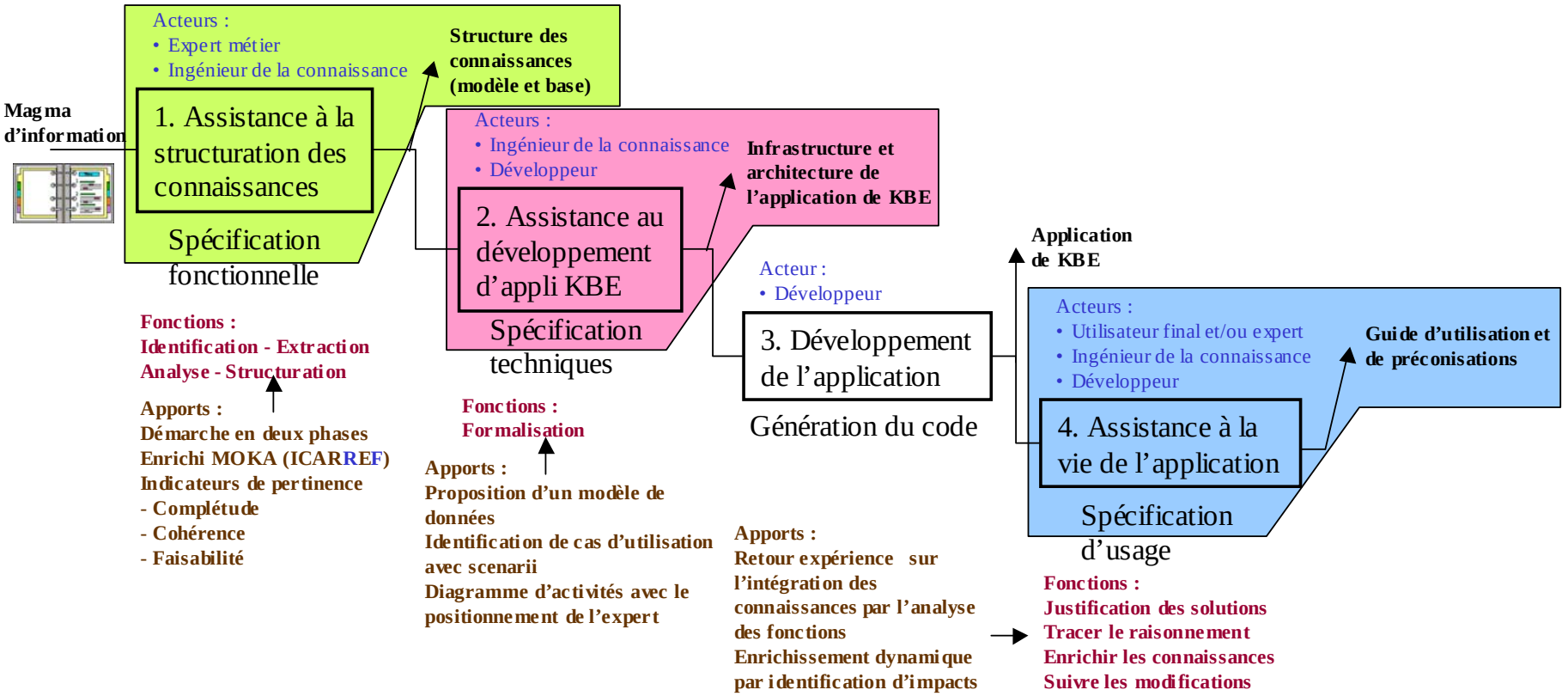


Figure 29 : Apports d'Ammar-Khodja dans les phases de modélisation et d'intégration d'expertise

Pour compléter l'effort de structuration de la démarche, une conceptualisation dès la phase de spécification est proposée ; elle est détaillée dans [A.2006.3] et [C.2007.1]. Cette structuration s'effectue en deux temps :

- La phase de spécification fonctionnelle de la base de connaissance correspond à la partie informelle de l'approche MOKA, elle consiste à capitaliser, à partir d'un corpus d'informations, des connaissances sous forme de bases de connaissances (déjà illustré en introduction dans la Figure 6 page 66).
- La phase formelle de l'approche MOKA, permet de définir et de construire des modèles de connaissances pour supporter le développement informatique de l'outil KBE (traduction en éléments appréhendables par l'informaticien de l'ontologie du domaine et de l'ensemble des objets qu'il va falloir coder), c'est la spécification technique.

La partie d'apport la plus conséquente porte sur l'enrichissement des méthodes et approches nécessaires à la structuration des bases de connaissances qui correspond à la première des deux phases mises en avant par Ammar-Khodja pour intégrer complètement les connaissances.

Les enrichissements portent sur :

- l'introduction de nouveaux concepts à la méthode MOKA,
- la systématisation de la démarche de validation de cohérence, de complétude et de faisabilité d'intégration des connaissances,
- l'ouverture pour l'évolution des bases de connaissances en cours de structuration et en cours de vie.

b. Enrichissement des concepts de MOKA - Spécification fonctionnelle

MOKA propose une structure de capitalisation dans des fiches ICARE qui définit des éléments de connaissances comme suit :

- **Illustration** pour identifier des cas déjà vécus ou des cas particuliers,
- **Contrainte** pour les éventuelles limitations imposées sur le produit,
- **Activité** pour décrire le processus de conception,
- **Règle** pour traduire les contraintes dans le processus de conception,
- **Entité** pour décrire le produit.

Nous avons choisi de séparer les deux types d'entité et de créer un type **Fonction** qui décrit le rôle du produit et un type **Ressource** qui décrit les supports à la réalisation d'entités (conclusions tirées des préconisations du travail de Labrousse). Les fiches de capitalisation sont alors des fiches ICAR**RE**F (plus de détails sont disponibles dans [Amm 05a] et [C.2007.1])**.**

L'analyse du recueil technologique selon ce principe a permis d'identifier les éléments de connaissances suivants :

- des **entités** qui décrivent les différentes géométries à réaliser ainsi que les modes d'usinage associés, par exemple : *plans, surfaces quelconques, usinage axial, usinage en flanc,...*
- des **fonctions** qui identifient les différents cas d'utilisations possibles de l'outil, par exemple : *caractériser les faces, calculer l'accessibilité, identifier les directions d'usinage,…*
- des **contraintes** qui définissent des limitations sur les entités, par exemple : *pour les poches semi-ouvertes on se limitera aux directions ⊥ aux arêtes F,…*
- des **règles** qui permettent d'une part de tenir compte des limitations dans le processus de conception, et d'autre part de séquencer et contrôler l'exécution des tâches de conception, par exemple : *Si l est > à la longueur coupante de la plus grande fraise réaffûtée du standard et < l2, on se contentera d'analyser la direction de l2,…*

- des **activités** qui représentent un découpage du processus de conception en un ensemble d'opérations élémentaires, par exemple : *élever le prisme ⊥ à la face, créer les sous-faces des parties libres, créer les sous-faces des parties masquées,…*
- des **ressources** qui décrivent les moyens technologiques associés à chaque entité ou à un ensemble d'entités, par exemple : *machine 4 axes, fraise torique, fraise boule,…*

Les connaissances extraites sont analysées pour identifier les différents types de liens existants entre elles. L'identification de ces types de liens a permis de structurer les connaissances sous forme d'arbres et de diagrammes qui représentent une première formalisation et de proposer une première étape de spécification fonctionnelle et technique en parallèle du développement du démonstrateur.

L'outil PC-Pack supporte le déploiement de la méthode MOKA et permet de renseigner les fiches ICARREF et de générer un environnement navigable sur la base d'explorateurs web, par la technologie de type XML. La base alors renseignée est publiée et devient un outil de navigation et de validation avec l'expert (concepts manipulés, définitions, règles et contraintes associées et ainsi de suite). Cette démarche globale est résumée sur la Figure 30.

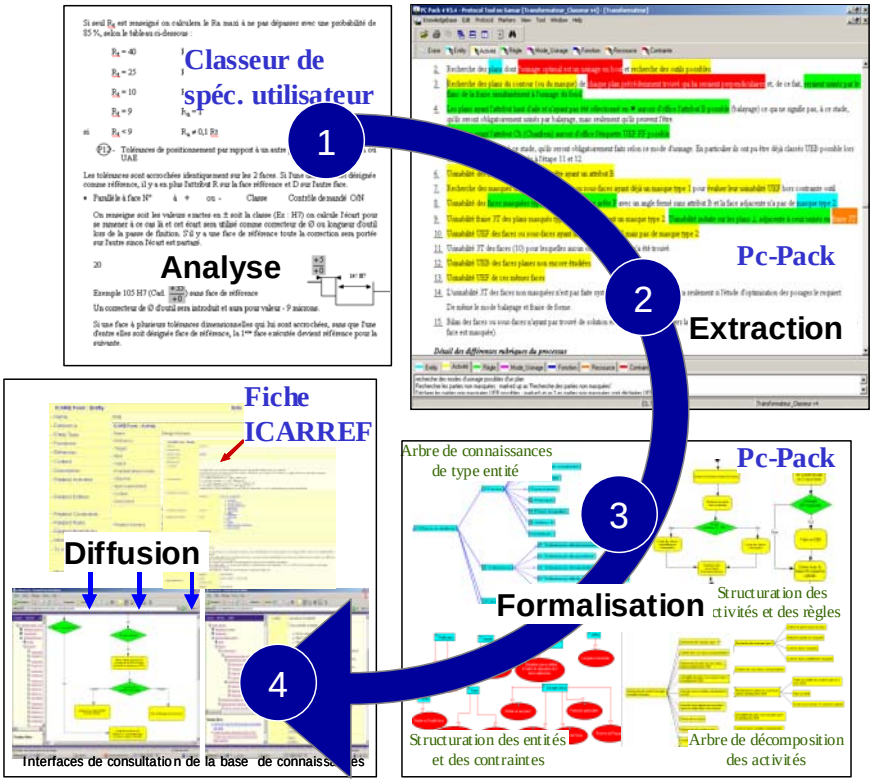


Figure 30 : Démarche de spécification [C.2007.1]

Cette démarche de spécification a été valorisée dans le cadre du réseau Interop sur le Work-Package 8 (Ontology-based integration of Enterprise Modelling and Architecture & Platforms) dans le cadre de la participation à la rédaction de l'état de l'art [G.2005.4] et dans la promotion de nos approches dans les conférences Caise'04 [F.2004.1]et Caise'05 [F.2006.1]. Dans cette continuité, nous contribuons au thème Ontologie Building du Task Group DO (Domain Ontology) en proposant une démarche structurée, outillée et formalisée (pour ce qui concerne ses

étapes clés) ainsi que des réflexions propres à l'utilisation des ontologies dans les domaines de l'industrie et de l'ingénierie mécanique en générale.

Ces approches de construction d'ontologies, ont aussi fait l'objet d'une partie des axes d'échanges avec notre partenaire Sud Africain du Global Competitiveness Center qui développe une aide à la navigation dans une source documentaire, et une aide à la reconstruction de documents basée sur les ontologies.

c. Complétude, faisabilité, intégration

Le déroulement du projet USIQUISK est tel que le développement du prototype et l'intégration dans CATIA se sont faits en parallèle, et non a posteriori de la phase de structuration des connaissances. Il faut alors comparer le modèle développé et implémenté aux connaissances extraites et structurées. Le principe de comparaison est présenté par la Figure 31. Les connaissances sont comparées par analyse matricielle des éléments théoriques (appartenant à la structuration définie) et des éléments déployés (définis dans les modèles). Les objectifs de comparaison sont d'établir la correspondance entre les connaissances de chaque source, d'évaluer leur cohérence et leur complétude et enfin de vérifier l'exhaustivité des connaissances recueillies.

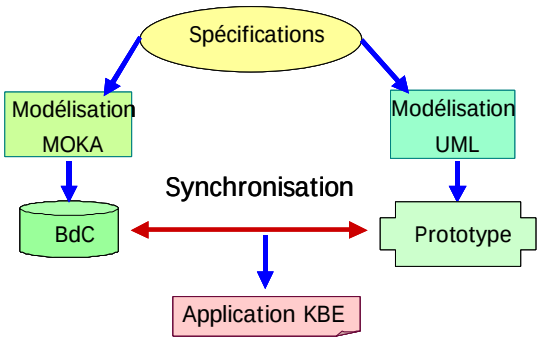


Figure 31 : Démarche de déploiement, exigence de synchronisation

Cette pratique, bien que peu optimale, a permis de développer une démarche d'analyse et de valider un protocole de vérification systématique et exhaustive (détaillée dans [Amm 05b] et [C.2007.1]). L'extraction dans Pc-Pack des états d'avancement et d'intégration des éléments de développement (renseignés par le développeur) permet de faciliter les temps de recherche et d'analyse de l'ingénieur de la connaissance (Figure 32 et Figure 33).

Ce type de matrices permet l'identification des éléments de connaissances déployés, manquants ou modifiés, et enfin des éléments créés pour des besoins de conceptualisation ou de développement. Par la suite les choix doivent être justifiés pour permettre la validation du déploiement auprès des experts, assurer la cohérence du travail collaboratif entre les différents acteurs du projet (expert, développeur et intégrateur des connaissances) et enfin garder une traçabilité de l'évolution des connaissances tout au long du projet depuis les spécifications client jusqu'à sa restitution à l'utilisateur final.

Cette démarche issue de la construction en parallèle des spécifications et du développement de prototype a donné lieu à la mise à plat et à la réflexion sur les problèmes de synchronisation de modèles. Ce thème, en complément du travail de Candlot qui va être présenté dans la contribution suivante, a été l'objet d'une des participations majeures au réseau d'excellence Interop dans le cadre du Work-Package 5 (Common Modelling Enterprise Framework) où nous avons eu en responsabilité le chapitre Synchronisation and Management of Distributed Enterprise Models

Framework [G.2005.1] dans le délivrable 5.2 (Description of objectives, requirements and scenarios for synchronisation of different distributed enterprise models including benefits and gaps) qui a donné lieu à une revue (Lecture Notes in Computer Science [A.2005.2])

		Théorique	
		Règle	Entité
Déployée	Règle	Cohérence	Justification
	Entité	Identification	Correspondance

Figure 32 : Structure de la matrice de synchronisation

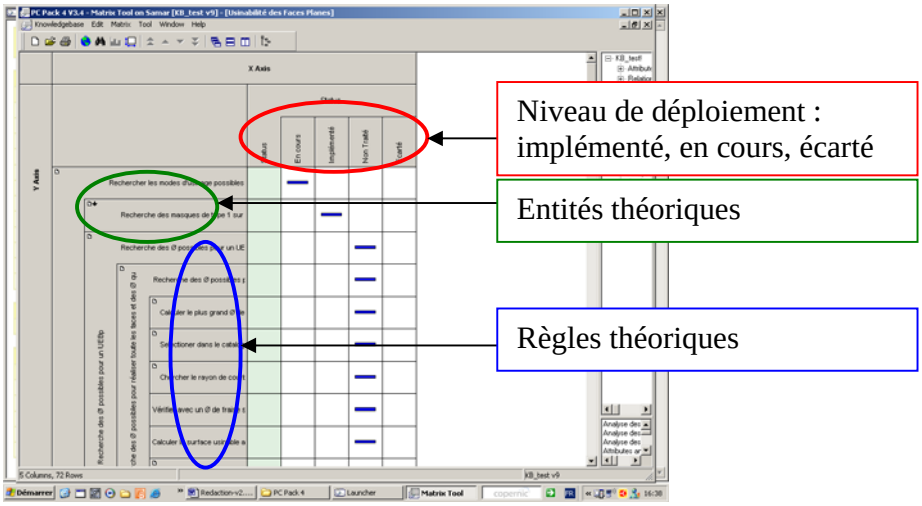


Figure 33 : Matrice d'analyse et suivi d'implémentation extrait de PC-Pack

Sur l'aspect de synchronisation de modèles nous sommes co-responsable du Task-Group 1 (SDDEM : Synchronisation of Different Distributed Enterprise Models). La maîtrise de la maturité sur les cycles de vie de modèles, les cycles de synchronisation et les méthodes de management de modèles distribués permettent de faire apparaître les manques des méthodes et des solutions.

d. Contextualisation / Enrichissement / Mise à jour de la base

Afin de faciliter l'utilisation et l'interaction avec l'utilisateur et/ou l'expert, toute cette contextualisation et ses connaissances formalisées sont ajoutées directement dans l'environnement métier (attributs, raisonnement et méthodes, objets déployés). Dans le cadre du projet USIQUISK, cette structure s'illustre visuellement dans le cas de la gamme par des barres d'outils complémentaires au sein de l'environnement de CFAO.

Il importe de donner accès aux bases de données et aux bases de règles de gestion des ressources (notamment les outils associés à des géométries possibles et à des processus capables dans notre cas). Ainsi, l'utilisateur final dispose, en plus des solutions proposées, de l'expertise utilisée lors de la recherche de solution. L'application informatique contient alors du sens restitué sur demande à l'utilisateur, et permet une meilleure acceptation finale.

De plus, pour profiter au maximum du retour d'expérience, il faut trouver les outils adéquats dès les premières phases de prototypage de l'outil final. Dans notre cas d'application les solutions sont passées dans un premier temps par de l'interfaçage web puis rapidement par l'inclusion

d'informations dans l'environnement du modèle géométrique 3D. La difficulté ici tient dans la sélection, parmi l'ensemble des données capitalisées, des éléments pertinents. Il faut ensuite les remettre en contexte pour passer de la donnée informatique à de l'information que l'utilisateur intellectualise à nouveau pour lui redonner sa forme de connaissance. La justification de certains raisonnements peut être demandée. La plupart du temps se sont surtout des vues de synthèses qui sont réclamées pour pouvoir évaluer rapidement une situation et prendre des décisions.

Il reste à définir des règles de gestion des demandes de modification ou d'évolution. En effet, on n'imagine pas que l'utilisateur puisse venir interférer dans les raisonnements intégrés dans l'outil, en revanche ses commentaires ou nouvelles propositions doivent pouvoir être intégrés. Nous proposons alors que l'ensemble du processus de formalisation, structuration dans la base de connaissances et suivi de l'intégration des éléments à coder soit alors complètement rejoué pour éviter des développements anecdotiques ou parasites.

e. Conclusion

Pour résumer, ce travail a visé à structurer et compléter l'outillage de l'ingénieur intégrateur de la connaissance pour naviguer entre les différents acteurs, tracer les liens entre les différents éléments relatifs à chaque acteur, et maintenir et suivre l'évolution de ces liens au cours du projet. Je propose de résumer cette position par la Figure 34.

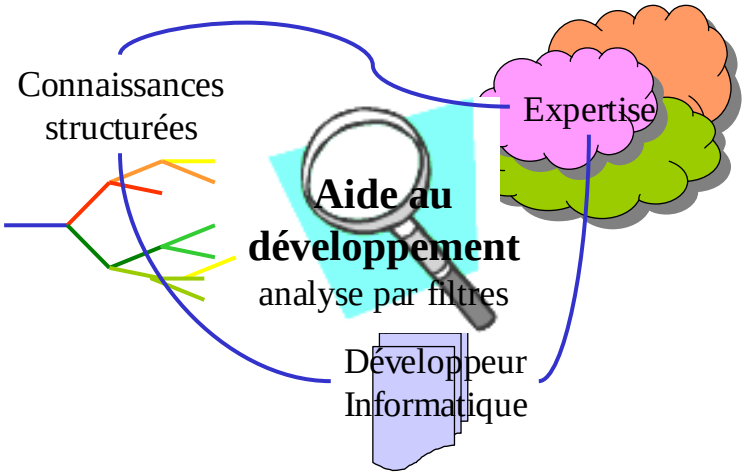


Figure 34 : Aide au développement d'application par la navigation guidée dans le contexte métier

Ce travail a appuyé trois aspects :

- l'assistance à la préparation du développement en interface avec l'expert, le développeur, l'utilisateur et le chef de projet pour spécifier le développement,
- l'accompagnement au développement de la solution logicielle, en donnant les outils de validation, de suivi, de justification et de navigation dans le contexte du produit attendu,
- l'accompagnement à l'utilisation, en favorisant la contextualisation et la justification des réponses proposées.

Ces réflexions ont été valorisées dans le cadre du réseau d'Interop, comme je l'ai déjà indiqué au fil de la présentation mais aussi dans le réseau d'excellence VRL-KCiP dans l'action de recherche liée à la gestion des connaissances. Nous avons ainsi contribué à la définition du cycle

de vie des connaissances et les méthodes et outils pour les gérer (objet du délivrable 39 : Models and methods for knowledge life-cycle).

De plus et en dans le cadre de la collaboration avec le GCC, nous avons mené une confrontation d'outils d'extraction de la connaissance sur la base d'analyse de corpus de document (T104). Les expériences croisées sur les outils tels que TBT/Organon (GCC), Copernic Summeriser et Pc-Pack (IVGI) ont mis en avant des bonnes pratiques ou points critiques qu'il faut maîtriser pour effectuer cette extraction de manière efficace.

Enfin, notre expérience sur les plates-formes collaboratives de gestion des connaissances nous aide à spécifier le système de gestion des connaissances du réseau VRL-KCiP qui permettra d'accéder aux éléments formalisés et partagés (T105). Cette étape de spécification fait ressortir les exigences en infrastructures (concepts présents dans le système), en architecture (liens et relations entre ces concepts) et en fonctionnalités utilisateurs requises (processus d'utilisation et cas d'applications).

Ces différents travaux ont donné lieu à la proposition de deux chapitres dans le KM-Book du réseau. Le premier compare les écosystèmes et réseaux d'experts pour identifier des bonnes pratiques et des paramètres de configuration facilitant cette mise en correspondance et l'efficacité de tels réseaux [C.2007.1]. Le second fait la synthèse du travail d'A. Candlot sur les outils et méthodes développés pour capitaliser les expertises et projets de gestion des connaissances [C.2007.2].

3.3.2.4. Pilotage : aide à la maîtrise d'ouvrage de projet à base de connaissances

Le précédent travail a insisté sur les étapes de déploiement d'un projet à base de connaissances, à savoir la partie maîtrise d'œuvre de sa réalisation. Le travail de thèse engagé avec A. Candlot vise à réfléchir sur la préparation et le suivi d'un projet d'intégration de connaissances[70], à savoir l'identification des points critiques dans le déroulement à venir du projet et le suivi de la mise en œuvre afin de valider la cohérence avec le besoin initialement exprimé.

Les apports de ce travail sont à deux niveaux :

1. Un **ensemble d'outils conceptuels** : sur la base du retour d'expérience de projets similaires réalisés ou analysés, il a été nécessaire de s'outiller pour proposer une assistance à la préparation d'un projet à base de connaissances. L'émergence de cette boîte à outils vise à clarifier les problèmes à deux niveaux :

a. Au niveau du projet en lui même

Les concepts formalisés sont :

- Les **piliers** de l'intégration d'expertise et les **niveaux de maturités** d'intégration d'expertise. Ces deux points servent à identifier l'état initial de domaine dans lequel on souhaite déployer un projet du type intégration et partage de connaissances. Ces outils serviront à :
  - évaluer l'étendue du projet,
  - analyser la cohérence des actions pour mener à bien le projet,
  - communiquer entre acteurs avant et en cours de réalisation,
  - gérer une référence de représentation et d'application logicielle commune (plate-forme de travail).
- Les **phases** de modélisation et d'intégration qui aideront à :
  - percevoir les besoins d'organisation du projet.
- **Trois couples de concepts** qui aident à :
  - faire émerger les problèmes,
  - proposer des axes de résolution de ces problèmes,
  - de suivre au travers d'indicateurs leur résolution.

b. Pour comparer les expériences de déploiement de tels projets

Dans la mesure ou la démarche proposée vise à systématiser l'aide à la préparation et au suivi de tels projets, il est important de pouvoir profiter du retour d'expérience ou de pouvoir analyser des cas similaires pour en tirer les meilleurs pratiques ou pointer du doigt les écueils à éviter. Dans cette perspective, les outils servent à comparer les différentes approches et à aboutir à des conclusions relatives aux types de problèmes à traiter.

Pour ce faire :

- les **piliers** et les **niveaux de maturité** aident à évaluer les problèmes entre eux,

[70] Remarque sur le positionnement épistémologique relatif de Candlot et d'Ammar-Khodja : alors qu'Ammar-Khodja focalise sur la manipulation des connaissances (paradigme de l'ingénieur de la connaissance), Candlot se positionne sur la notion d'expertise qu'il définit comme regroupant du savoir, de la connaissance et du sens.

- les **phases** évaluent la contribution dans chaque phase, relatives à un référentiel commun pour comparer les exemples.

2. Le second niveau est une **proposition de méthodologie générique et systématique** utilisant l'ensemble des outils conceptuels proposés pour affronter un nouveau projet. Cette méthodologie va aider à pointer les problèmes à affronter ainsi que les moyens d'y parvenir. Cette approche ne prétend pas délivrer de solution toute faite sur la démarche de réalisation du projet d'intégration de la connaissance, mais aide à construire cette démarche.

En ce sens, nous nous plaçons bien au niveau de l'assistance à la maîtrise d'ouvrage et non à la maîtrise d'ouvrage en soi. Chaque projet étant spécifique, nous proposons un cadre d'analyse et de choix de démarche de résolution plutôt qu'un chemin type de résolution.

a. Outillages conceptuels
Je vais résumer rapidement cette présentation d'outils :

i. Les couples de concepts :
- Syntaxe / Sémantique
- Infrastructure / Architecture
- Domaine / Projet

Déjà introduits au travers de l'analyse bibliographique, ces éléments deux à deux n'ont rien d'innovant. L'apport réside en leur association systématique pour aider à mûrir la compréhension d'un projet et de ses contours. Ainsi, avant la structuration définitive du projet et pendant son déroulement, il est nécessaire d'avoir des outils d'analyse simple pour prendre le recul nécessaire au pilotage ou même plus simplement à la compréhension de sa tache propre.

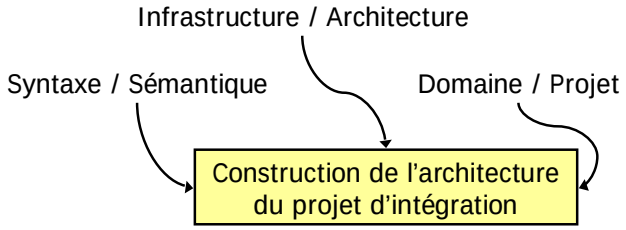


Figure 35 : Couples de concepts pour préparer / suivre le projet d'intégration d'expertise [Can 06]

- **Syntaxe / Sémantique**

La nécessité de clarification du sens caché des mots est accrue par la composition d'équipes pluridisciplinaires de part la complexité des produits ou des projets à traiter. Il en va de même pour la modélisation qui est une activité très dépendante des objectifs associés au modèle créé. Enfin, l'expertise non-formalisée doit pouvoir être prise en compte. L'analyse du concept de plate-forme introduit l'idée que l'intérêt de la formalisation tend à se porter plus sur la signalisation de l'expertise que sur sa représentation effective.

A un niveau opérationnel, le questionnement syntaxe / sémantique se constitue de la manière suivante :
- Quelle sémantique et quels éléments de l'expertise doivent être représentés ?
- Quelles règles de syntaxe sont choisies ? Comment sont-elles explicitées ? (Quelle est la sémantique associée à la syntaxe elle-même ?)

Il importe donc de se questionner sur cette dualité syntaxe / sémantique pour éviter qu'un manque d'expressivité soit bloquant pour le déroulement du projet et la compréhension des acteurs

- **Infrastructure / Architecture**

Les experts du domaine de l'informatique ont l'habitude de manipuler ces deux notions d'infrastructure logicielle et d'architecture logicielle. Au-delà de son application dans un domaine, ces deux couples de concepts sont très importants pour analyser d'une part les composants du domaine (la partie infrastructure) et d'autre part les relations entre ces composants (la partie architecture).

Ainsi l'infrastructure regroupe les éléments constitutifs de l'expertise et donc les représentations de la nature des objets. L'interaction entre les objets conditionne leur rôle dans le système. L'architecture consiste à organiser les éléments de l'infrastructure selon un contexte pour accomplir un objectif (justification du rôle).

Les questionnements relatifs à ce couple sont les suivants :

- Les éléments de l'infrastructure sont-ils structurés indépendamment de leur utilisation (i.e. de l'architecture) ? (ex : constitution d'une ontologie)
- Les relations entre les éléments d'infrastructure sont-elles identifiées et normalisées ? Souvent l'interprétation de l'architecture est très implicite et porte à confusion. Là aussi il est conseillé de structurer les types de relations.

Ainsi, l'identification des éléments d'architecture permet de mettre en évidence les points sur lesquels travailler pour augmenter la robustesse et la flexibilité du système. Ce sont ces éléments qui portent la mise en contexte, leur consolidation (amélioration des savoirs) et leur justification (amélioration des connaissances). Ils permettent d'estimer la capacité du système à changer de contexte.

- **Domaine / Projet**

Le couple infrastructure / architecture fait la différence entre les éléments « statiques » et les relations créant une « dynamique » au sein même de l'expertise. De la même manière, le couple domaine / projet reprend ce même mécanisme mais cette fois pour prendre en compte les évolutions de maturité.

La dimension domaine concerne l'étude de l'innovation sur l'expertise métier étudiée. La dimension projet concerne l'innovation dans la gestion de cette expertise. En d'autres mots, le domaine représente les états initiaux (As Is) ou futurs (To Be) du problème à aborder. Le projet, lui, traduit la transformation de ces états et donc le projet à mettre en œuvre pour améliorer et affronter le problème posé.

On obtient, en combinant ces deux couples, les groupes d'objets suivants :

- Infrastructure du domaine : Ensemble des représentations des natures des objets réels de l'expertise étudiée. Il représente les éléments statiques de cette expertise.
- Architecture du domaine : Ensemble des représentations des rôles des objets réels de l'expertise étudiée. Il permet de construire des vues, images du cycle de vie de cette expertise.
- Infrastructure du projet : Ensemble de l'infrastructure et de l'architecture du domaine pour une configuration et un niveau de maturité de la gestion de l'expertise. Pour ces

objets, qu'ils soient nature ou rôle d'une réalité, on ne considère leur nature qu'en tant que représentation. Le projet étant une vue organisationnelle, son matériau de réflexion est la représentation.

- Architecture du projet : Eléments de justification permettant de relier deux infrastructures de projets. Ils représentent le rôle des représentations elles-mêmes.

- **Utilisation des 3 couples**

Les éléments d'infrastructure et d'architecture qui décrivent les états du domaine sont décrits et clairement différenciés à l'aide des analyses syntaxiques et sémantiques. La progression de maturité du domaine (évolutions d'états) est alors retranscrit dans la description du projet qui lui même est composé d'éléments et de liens entre ces éléments, les deux décrits clairement à l'aide de la syntaxe et de la sémantique (voir Figure 36).

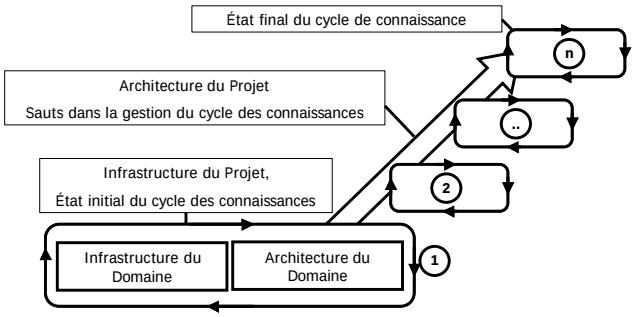


Figure 36 : Vision de la dynamique du projet par rapport à l'évolution de la maturité de la gestion du domaine d'expertise étudié [C.2007.1]

Ces concepts servent pour la perspective d'assistance à la maîtrise d'ouvrage à :

- Analyse de l'architecture du domaine pour **évaluer l'efficacité** des méthodes mises en œuvre sur l'expertise étudiée.
- Comparaison d'infrastructures du projet pour **évaluer la dérive** par rapport aux résultats attendus en termes de gestion de l'expertise.
- Analyse de l'architecture du projet pour **mesurer le progrès** du déploiement.

ii. Les piliers ressource d'intégration d'expertise et plate-forme de travail

Le projet d'intégration d'un outil d'assistance à une expertise s'inscrit dans la dynamique stratégique d'une organisation. Les influences entre le projet et l'organisation sont complexes et réciproques. Les quatre piliers ressources de l'intégration sont les principaux vecteurs d'échanges entre le projet et l'organisation. Ils forment le cœur de la culture nécessaire à une appropriation efficace de l'expertise dans l'application.

La Figure 37 représente ces piliers qui sont :

- Des **corpus de documents** : ils forment une trace concrète et accessible de l'expertise.
- Des **réseaux de concepts** : l'expertise n'est pas un concept dont les limites sont faciles à définir. Le fonctionnement individuel ou en groupe implique la sollicitation d'un vaste espace d'expertises.
- Des **listes des spécifications** : elles représentent les objectifs, les attentes et les conditions opérationnelles de validation de l'application à développer.
- Des **outils de gestion** : ils constituent un nœud de rencontre des piliers précédents. Ils permettent à la fois l'édition des documents, la clarification des réseaux de concepts et

l'expression des spécifications. Ils sont aussi sources d'expertise de part leur structure propre et contiennent une part de la culture de l'entreprise.

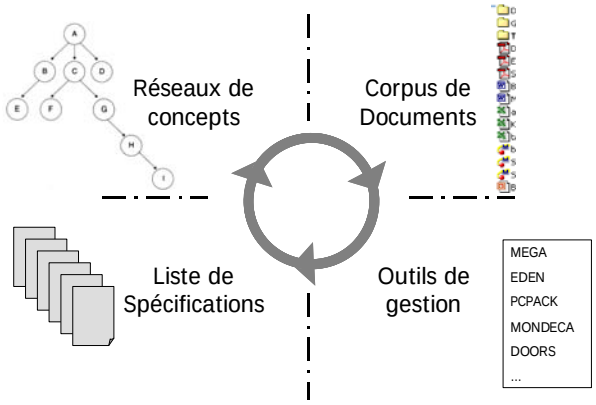


Figure 37 : Les piliers de ressources à l'intégration de la connaissance dans une application de KBE [Can 06]

Tous ces éléments seront valorisés et efficacement inter-opérant s'ils se retrouvent dans le cadre d'une plate-forme collaborative de partage et d'intégration des connaissances. La plate-forme intègre des composants déjà existants pour constituer une base de travail modulable à partir de laquelle plusieurs produits peuvent être définis. Ce qui veut dire qu'une partie des choix d'experts est déjà encapsulée et capitalise donc l'historique d'entreprise.

La constitution d'une telle plate-forme collaborative doit permettre :

- l'encapsulation des choix organisationnels, à travers l'étude de l'architecture du projet,
- l'abstraction des objectifs à la fois de l'expertise étudiée et de la spécificité du projet, malgré le paradoxe de la modélisation,
- la valorisation des savoirs et des connaissances en dehors de la seule formalisation.

Le but est de donner un environnement qui donne de l'expertise à structurer et non plus une structuration de l'expertise (objet du travail précédent). Le suivi de l'interaction des acteurs doit conduire à l'encapsulation progressive des meilleures décisions. Il doit pouvoir être possible de séparer :

- les connaissances préparatrices de décalage innovant,
- des savoirs qui augmentent la robustesse des processus déjà utilisés.

Cette plate-forme doit s'intégrer dans l'environnement naturel de l'expert et doit faire émerger la caractérisation de ces marqueurs d'expertise et augmenter continuellement l'intérêt de l'expert à contribuer au réseau. Les contributions permanentes doivent garantir la maintenance de la plate-forme.

Sur ce sujet, nous avons collaboré avec le Global Competitiveness Center (collaboration CRNS - NRF dont je suis l'un des principaux acteurs) autour d'éléments de partage de type RoadMap. Dans ce cadre, ceci nous a conduit à jouer le rôle de spécificateurs et de testeurs des fonctionnalités développés dans les plates-formes EDEN et WebEDEN [@IND]. Ces réflexions ont aussi enrichi nos contributions à la tache 105 du réseau VRL-KCiP qui spécifie le système de gestion des connaissances du réseau.

iii. Les niveaux de maturité d'intégration

Comme nous l'avons vu avec Ammar-Khodja, la gestion des connaissances qui aboutit à une application de KBE, s'articule en deux étapes :

- de la connaissance à la base de connaissances,
- puis de la base de connaissances à l'environnement basé sur la connaissance.

La base obtenue à la première étape doit être capable d'absorber les innovations et les changements des pratiques de l'expertise étudiée. Une fois déployée, elle est sensée pouvoir entretenir la capitalisation. La difficulté de la deuxième étape consiste à construire un outil dédié à cette expertise tout en maintenant dans l'outil la possibilité de se redéployer pour s'adapter aux changements majeurs.

Il importe donc d'introduire des connaissances propres à la dynamique de projet illustrant les collaborations nécessaires pour transformer son architecture. Pour ce faire, il faut s'appuyer sur un étalonnage des niveaux de partage d'expertises pour situer l'état de départ et de fin du projet à mener et leurs impacts.

Dans cette optique, Candlot propose les niveaux de maturité suivants (voir Figure 38) :

- **Expertises métiers** (relève du domaine)
  1. Niveau Produit / Processus : expertise sur les produits et les processus
  C'est au niveau opérationnel que ressort cette volonté de partage et de travail en équipe dans un domaine donné.
  2. Niveau Modélisation : homogénéisation de l'expertise
  C'est au niveau tactique qu'apparaît la nécessité de faire des choix communs à différentes équipes, ceci impacte l'organisation de l'entreprise et du travail.
- **Expertise organisationnelle** (relève du projet)
  3. Niveau Intégration : outils d'aide à la prise de décision
  C'est au niveau stratégique qu'est décidé de déployer une approche commune qui relève des objectifs stratégiques de l'entreprise.
  4. Niveau Généralisation : Méthodologie générale partagée

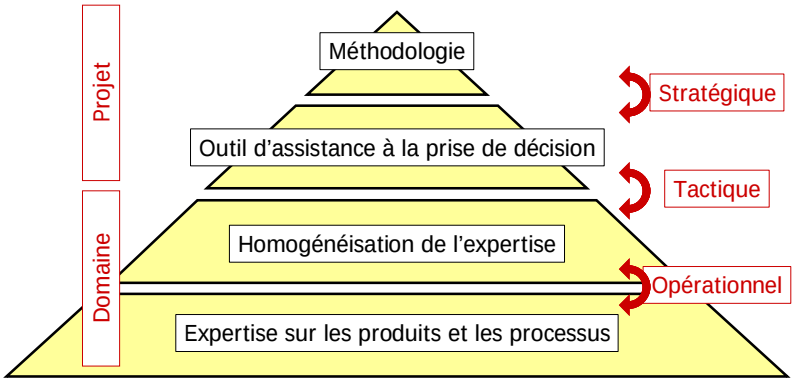


Figure 38 : Niveaux de maturité de la gestion d'une expertise dans la création d'une application KBE [Can 06] [A.2007.4]

iiii. Les phases d'intégration

Pour construire un contexte d'application aux concepts proposés, huit phases sont proposées puis découpées en deux groupes : la modélisation et l'intégration. Les différentes analyses de projets menés ont fait ressortir :

- Phases de modélisation, constituant l'infrastructure du projet
  - Identification
  - Extraction
  - Structuration
  - Formalisation

Ces phases visent à construire une compréhension globale, une culture du groupe de recherche autour de l'expertise modélisée.

- Phases d'intégration, représentant l'architecture du projet
  - Raffinement
  - Spécification
  - Diffusion
  - Maintenance

Ces phases recherchent l'intégration aux outils de gestion d'un nouvel élément et impliquent qu'il faut maîtriser les objectifs opérationnels d'intégration dès les premières phases de la modélisation.

Il est alors possible de proposer un suivi des interactions entre phases pour, a posteriori, identifier les itérations nécessaires et inutiles et donc faire ressortir les points à résoudre pour optimiser le processus (Figure 39 ci dessous).

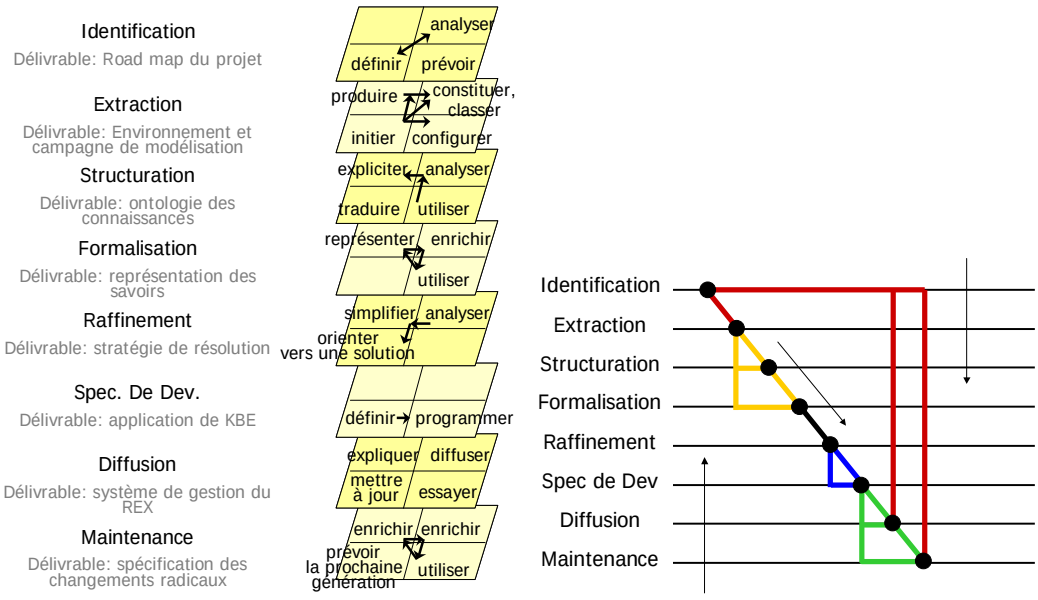


Figure 39 : Phases de modélisation et d'intégration, questionnement systématique par niveau et suivi des influences [Can 06]

Pour plus de détails sur ces concepts et outillages, l'article paru dans CIRP Annals 2005 [A.2005.1] confronte cet environnement conceptuel pour une application industrielle (usinage de pièces aéronautiques) et une application dans les services (gestion de contrats d'assurance vie). Une seconde comparaison de cet outillage conceptuel est proposée dans La Plagne'05 [E.2005.1] entre les besoins en intégration de connaissances économiques pour l'ingénieur et l'intégration d'expertise de préparation de gamme d'usinage. Enfin, le chapitre d'ouvrage d'Ingénierie de la conception et cycle de vie produit [C.2006.1] synthétise l'ensemble de ces confrontations d'expériences. Enfin la thèse Candlot [Can 06] rentre dans le détail et la justification de chaque élément.

D'autre part, nous avons largement contribué aux délivrable du WP5 (Common Enterprise Modelling Framework) [G.2005.1] puis du TG1 (Synchronisation of Different Distributed Enterprise Models) [G.2005.3] pour proposer une démarche et un outillage d'analyse des problèmes de synchronisation de modèles sur la base des réflexions menées sur l'analyse et l'intégration de connaissances. En effet, la maîtrise de la maturité sur les cycles de vie de modèles, de synchronisation et les méthodes de management de modèles distribués permettent de faire apparaître les manques des solutions existantes ainsi que de proposer une démarche d'analyse de problème industriel et orienter vers les outils et méthodes les plus adéquats. Les résultats de ces deux délivrables ont donné lieu à un tutorial au cours d'IESA'06 et la proposition d'une partie de cours du Master INTEROP.

c. Méthode d'analyse systématique de projet à base de connaissances

La méthodologie ici présentée, comme je l'ai déjà indiqué au début de cette partie, n'a pas la prétention de donner une méthode générique de résolution et conduite de projet à base de connaissances, mais en revanche elle propose d'aider à analyser les projets, d'identifier leurs points durs et de guider au choix des solutions pour mener à bien le projet. Nous ne donnons pas la carte pour aller du point A au point B, mais nous fournissons l'ensemble des indications pour construire le trajet et lire les éléments pertinents par rapport aux objectifs affichés.

L'ensemble des outils précédents permet alors trois niveaux d'analyse :

- Cas d'étude : analyse de l'expérience menée et consolidation systématique par confrontation avec d'autres exemples analysés,
- Méthodologies utilisées : analyse des méthodes et outils et consolidation systématique des confrontations de méthodologies,
- Evolution : analyse des perspectives d'évolution dans les deux phases de modélisation et d'intégration de la connaissance.

La Figure 40 regroupe l'ensemble des projets de type modélisation et intégration des connaissances analysées et comparées pour faire ressortir et justifier les outils et la méthode. Ces comparaisons d'exemples font ressortir que toutes ces approches se décomposent bien en deux aspects qui sont d'une part la modélisation du raisonnement (de manière relativement déconnectée d'une application particulière) et d'autre part l'intégration efficace de ce raisonnement (ce qui correspond à une maîtrise du critère d'optimisation qui permet de prendre les décisions d'intégration).

Chaque pilote de projet de ce type peut alors construire, selon son expérience, ses propres analyses des cas menés et de ceux à déployer, puis choisir en conséquence selon ses objectifs propres.

e. Conclusions

La maîtrise d'ouvrage d'intégrations des projets à base de connaissances est rendue difficile par la complexité de la gestion de la connaissance. Cette complexité est proportionnelle à celle croissante du produit, à la diversité des acteurs et au manque de retour en cours ou à l'issue de déploiements de tels projets. Ces travaux ont été menés en parallèle d'un cas d'étude industriel (projet USIQUISK), visant à l'automatisation de la génération de gamme d'usinage, mais les propositions ont été confrontées à des projets dans d'autres secteurs de l'industrie ou des services (thèse Delplace, Mauchand, cas issus de la collaboration avec le GCC, réseaux d'excellence).

La contribution porte sur un ensemble d'outils conceptuels utilisables en préparation ou au cours d'un projet d'intégration d'expertise. En phase amont, cet ensemble d'outils peut être utilisé pour consolider les expériences précédentes et constituer des grilles d'analyse pour la prise de décision des méthodologies à déployer. Au cours du projet, cette base méthodologique d'outils donne à la maîtrise d'ouvrage des critères d'analyse pour évaluer la dynamique de projet. Elle permet de faire émerger les problèmes liés à la modélisation de l'expertise, de préparer les phases de programmation et de faire ressortir, dans ces deux cas, des lieux de représentations propices à l'émergence d'indicateurs de performance relatifs à la spécificité du projet étudié.

L'apport méthodologique pour la maîtrise d'ouvrage est constitué de la proposition et de l'analyse des **quatre piliers** de ressources à la modélisation et à l'intégration d'expertise (réseaux de concepts, listes de spécifications, corpus de document, outils de gestion). Ces piliers permettent de justifier une série de phases décrivant les enjeux de la modélisation (phases d'identification, d'extraction, de structuration et de formalisation) et de l'intégration (phases de raffinement, de spécification des développements, de diffusion et de maintenance). Grâce à une analyse des **niveaux de maturité** de la gestion initiale et attendue de l'expertise, piliers et phases permettent de cadrer le contexte d'un retour d'expérience ou d'un projet à déployer.En parallèle, **trois couples de concepts**, syntaxe/sémantique, infrastructure/architecture, domaine/projet, permettent un questionnement pour identifier les zones potentielles de problèmes dans les représentations et envisager des axes de résolution.

La consolidation des liens entre ces aspects de l'expertise permet un pilotage de projet par des éléments réels de connaissances et d'expertise.

La complexité des projets analysés ou menés (différentes phases, diversité des acteurs) soulignent l'enjeu des bons choix de solutions (méthodes, outils, logiciels).Cette étape de consolidation nécessite un systématisme d'analyse des expériences de modélisation et d'intégration d'expertise. Nous avons abouti à la construction d'une grille de consolidation intitulée MARISKA[71] (Methodological Algorithm for Requirement to Indicators Supporting Knowledge Activities) qui propose une trame de systématisme d'aide au choix (Tableau 2).

Ce tableau propose une vue comparative de ces expériences, analysées à l'aide des principes proposés, il structure les résultats d'utilisation des outils et des méthodes. Cette grille est construite à partir des points bloquants précédemment identifiés. Elle vise à proposer un guide de choix systématique sur des points précis pour assurer le déploiement d'une architecture de projet qui garantisse sa couverture depuis la spécification de ses objectifs jusqu'à la définition d'indicateurs correspondants.

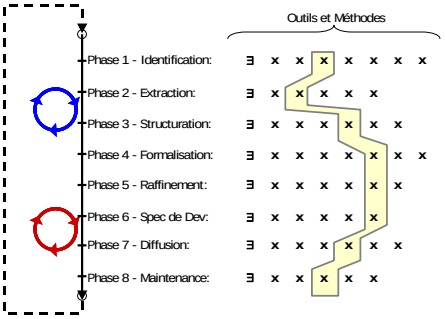
[71] Ces réflexions et cette construction ont entre autre été menées au cours des échanges et séjours en Afrique du Sud. Un clin d'œil à Prof Du Preez est fait avec l'acronyme MARISKA qui reprend le prénom de sa fille. Se traduit par : Algorithme Méthodologique de spécification d'indicateurs pour le pilotage de projets à base de connaissances.

Echelle de mesure	Catégorie de K	Génération de Gamme	Contrat d'Assurance	Fonderie / pièce	Fonderie / cout	Coûts et Prix en Electronique
Produit / Process	K domaine peu partagé	Capture de la pratique	Intégration manuelle de la législation	Recherche d'automatisation des étapes critiques de production	Estimation du prix au kg pondéré par l'expérience	Identification des des méthodes de calculs
Modélisation	K domaine partagé	Modélisation d'un fonctionnement intégré attendu	Lisibilité et homogénéisation des liens entre les termes du contrat	BM numérique local	Estimation du prix par rapport à la gamme	Homogénéisation des méthodes de calculs
Intégration	K projet	création d'un outil de KBE	Navigation du contrat type et génération automatique	Recherche de passerelles entre les outils d'assistance	Chaine numérique pour éviter les dérives dans le PLC	Proposition d'un modèle de donnée pour un Outil "général" en Micor-elec.
Généralisation	K projet normalisé	Méthode de depl d'1 appli KBE / KM dans le PLC	Anticipation des points des points potentiels de conflits	Référentiel numérique commun	Pilotage global de la rentabilité des produits	Méthodes globales des gestion des prix et des coûts d'un produit

a. Analyse des impacts sur les différents niveaux de maturité de la gestion de l'expertise (orange : niveau final visé)

		Phases	Examples	Gamme	Assurance	Fonderie	Micro-Electronique
Infra. de Projet Initiale	Infra. Du Domaine	Identification	Sources initiales d'expertises	"Classeur" d'expertise	Contrat type	Analyse du site et de ses processus	Modèles de données de 4 logicielles
			Type d'Expertise	PPRE et ICARE	Expertise Juridique	PPRE et Coûts	Coûts et Prix
			Indicateur du succès du déploiement	Temps économisé sur la mise en production	Economie par les diminutions de conflits	Augmenter les capacités de production	Validité des estimations de prix et de coûts d'un PLC
Infra. de Projet 1	Domaine	Extraction	Outil de support à la modélisation	MEGA®, PCPack®	EDEN®, MindManager®	Excel - Solid Works®	MEGA®, Mindmanager®
		Structuration	Outil de structuration	MEGA® et "ladders" PCPack®	Organon (protégé2000), MOOGO®	Logigrammes	Arbre MEGA®
	Archi.	Formalisation	Formalisme utilisé	UML (Données, Activités et Séquences)	Entité / relation	Diagrammes SADT	UML (Données, Activités et Séquences)
Infra. de Projet 2		Raffinement	Simplification et recherche de flexibilité	Organisation OSE	Regroupements sémantiques	Paramètres structurant pour utiliser la maquette numérique	Désambiguïsation et homogénéisation des concepts
		Dev. / Spec.	Format	Textes + Diagrammes de classes	Cartes de Concepts	Textes	Textes + Diagrammes de classes
Infrastructure de Projet Finale		Diffusion	Vecteur d'interaction avec les utilisateurs	Fiches HTML ICARE, Maquettes CATIA® / DELMIA®	Analyse des recherches dans les cartes de concepts	Constitution de tableau de bords Excel - Solid Works®	Maquettes C++
		Maintenance	Description de l'outil final	Assistance à la génération de gamme d'usinage	Contrat type cohérent, navigable pour générer des contrat	Assistance à la gamme et estimation de la rentabilité	SI pour estimer les coûts et les prix d'un PLC complet
			Outil facilitant la maintenance	CATIA® / DELMIA®	Organon (protégé2000)	Excel - Solid Works®	Pas envisagé

b. Analyse des méthodes et outils utilisés par cas étudié



c. Grille d'analyse des avantages méthodologies et technologiques pour prendre des décisions de déploiement dans des contextes spécifiques

Figure 40: Ensemble d'éléments d'analyse pour l'aide à spécification de projet d'intégration des connaissances [A.2007.4][Can 06]

Par cette analyse, nous ne visons pas l'exhaustivité des méthodologies possibles. Nous souhaitons simplement proposer un système de questionnement pour augmenter la visibilité de l'expérience et faciliter la prise de décision sur le déploiement d'un nouveau projet. Ainsi il ne sert que de base à la réflexion et au positionnement pour chaque chef de projet, comparativement à ses besoins propres, et ne prétend pas donner la solution du déploiement réussi, mais de l'aide au choix pour minimiser les risques.

Ce tableau se déroule selon les quatre phases de modélisation et les quatre phases d'intégration. La phase d'identification a été mise en exergue pour permettre de faire une introduction à chaque cas pour une première sélection. Les trois couples de concepts sont rappelés dans le tableau pour rappeler les questionnements à privilégier selon les zones.

Nous espérons ainsi compléter l'analyse qui permet d'identifier, selon la spécificité de chaque projet, les éléments à surveiller. Cette analyse passe par les trois couples de concepts et notamment l'analyse des liens d'architecture. La pertinence de leur consolidation est relative à l'attention portée au couple syntaxe et sémantique. Le couple domaine et projet souligne que le pilotage efficace du projet passe par la prise en compte des spécificités de l'expertise.

Ce thème, comme je l'ai déjà mentionné, a donné lieu à des valorisations et réflexions dans le cadre des réseaux d'excellence VRL-KCiP, INTEROP, ainsi que dans l'échange CNR-NRF avec le GCC de Stellenbosch (Pr N. Du Preez) que nous entretenons depuis 2003.

MARISKA			Méthodologie orientée Domaine						Méthodologie orientée Projet			
Expérience			**Bachimont**	**GCC / Indutech**	**Descriptor**	**FBS-PPRE**	**UML / MEGA**	**MOKA, Phase Informelle**	**MOKA, Phase Formelle**	**RoadMapping**	**IEM**	**GRAI Method**
	IDENITIFICATION	Identification du type d'expertise	Construction d'une Ontologie	Construction d'une Ontologie	Prise de Décision	Modèlisation d'Entreprise	Standardisation de Modèles	Construction de Bases de Connaissance	Modèle de Données	Gestion de Documents	Modélisation Intégrée d'Entreprise	BPR + Modélisation de Décisions
		Méthode / Norme / Principe développé	Ontologie	Ontologie	Heuristiques, AHP, logique floue	FBS-PPRE	Norme UML	MOKA Ontologie	Processus de spécification orienté objet	Cycle de vie inspiré de PERA	PPR	
		Outil de support	Protégé2000	Protégé2000, Organon	Descriptor	(Un démonstrateur existe)	MEGA	Pc-Pack	Pc-Pack	EDEN V4	MOOGO	GRAI Tools
Modélisation												
Syntaxe / Sémantique	EXTRACTION	Assistance à l'extraction		Extraction assistée de mots clefs				Protocol tool (import et balisage de documents)	MOKA, Phase Informelle	Extraction assistée de mots clefs		
	STRUCT.	Infrastructure du Domaine - Systématisme de structuration	Ontologie Différentielle	Regroupements de termes, outil de taxonomie	Coonstruction et équilibrage d'arbres		Arbre d'objets - Explorateur	Ladders		Regroupements de termes, outil de taxonomie	Arbres de classes, Liste de composants	Idenitification de niveaux et de fonctions
	FORMALISATION	Architecture du Domaine - visualisation d'un état de la réalité	Ontologie Référentielle	Arbre de relations circulaires entre entités	4 Types d'Arbre pour l'évaluation de Solutions	Modèle FBS-PPRE	Principal diagramme: diagramme de classes. Forte synergie avec diagrammes d'activités et de séquences	Ontologie MOKA, Fiches ICARE	MML : UML pour MOKA	Définition de la Roadmap et définition des Méta-données des documents	Objets Processus, Produit, Ressources et Ordres - Diagrammes PPRO AS-IS	Grille et réseau de décisions Grille AS-IS
		Type de formalisme: texte, diagramme, autre?		Diagramme entité / relation			UML 2.0 : 13 Types de diagrammes	Diagrammes	Diagrammes de classes	Arbre		Grille
		Flexibilité par rapport au domaine		Oui, types en fonction de la structuration			Plusieurs méthodo. (UEML 1.0, RUP, MML...)	Possibilité de modifier l'ontologie MOKA	Non, fonctionnement orienté conception	Différents types de Roadmap (tempo., fonct. struct.)		
Intégration												
Infrastructure / Architecture	RAFFINEMENT	Spécification des objectifs						Orienté capture de processus de conception	Pas d'assistance	Master Plan	Changement d'états (Diagrammes PPRO TO-BE)	Analyse et proposition de projet: Grille TO-BE
		Raffinement - Evolutions, versions, traçabilité					versions de toute la base mais sans liens	versions de toute la base mais sans liens	versions de toute la base mais sans liens	versions liées des documents		
		Liens d'architecture entre les modèles du domaine				Pris en compte dans le modèle	Impacts entre les objets et avec les diagrammes	Ladders reliés à travers les diagrammes	Points de vue reliés	Taxonomie reliant les méta-données	time/cost ???	
	SPEC. Des DEV.	Liens d'architecture dans le projet					Création auto de classes C++ (par ex.)	Enrichissement Ammar Khodja	Faible lisibilité entre ICARE et MML	Système de reporting, Check lists	Système de reporting	
		Consolidation / Indicateurs de performance				Eléments du modèle: Etats attendus / Etats atteints	Pas de liens entre les modèles et les classes C++ crées	Enrichissement Ammar Khodja	Enrichissement Ammar Khodja			
	DIFF.	Diffusion - Perception des comportements								Statistiques Utilisateurs		
	MAIN.	Maintenance - Intelligence Eco., Veille Techno., Benchmarking...						Possibilité d'utiliser la base comme outil d'aide				

Tableau 2 : Grille d'analyse support à l'algorithme méthodologique pour maîtriser les objectifs et les indicateurs des projets d'intégration d'activités basées sur les connaissances [A.200.2][Can 06]*

3.3.2.5. Cas d'applications d'intégration des connaissances

Je vais présenter ici des éléments de travaux qui ont mis en œuvre des actions de raffinement ou d'intégration de connaissances. Ils nous ont permis de progresser sur le domaine approfondi ainsi que sur la validité des propositions faites en se confrontant aux cas réels.

Seuls les travaux de Mauchand concernant l'intégration de modèles (connaissances relatives à l'évaluation économique) ne sont présentés qu'au chapitre suivant pour conserver la cohérence de son travail (§3.4.4. à 3.4.2.5. p.181 à p.189)

a. Concepts Outils Séquence Entité dans USIQUISK

Dans le cadre de la thèse de Candlot, le besoin de raffinement de connaissances a émergé du déroulement du projet USIQUISK. Les connaissances à intégrer dans l'environnement final ne sont pas figées et subissent des enrichissements en cours d'évolution. Ce raffinement est assuré par la convergence d'objets de recherche du projet, de problématiques de déploiement et d'expériences de la pratique du métier (ici la gamme de fabrication en usinage).

Suite aux besoins identifiés à l'analyse des modèles, une étude a été menée sur le concept OSE (association de trois éléments : Outil / Séquence / Entité). Le concept OSE pour Outil / Séquence / Entité a été développé dans la thèse de Ben Younes [BEN 94] dont le principe consiste à identifier, dans les capacités de production d'une unité donnée les triplets représentant la capabilité du moyen de production (Figure 41).

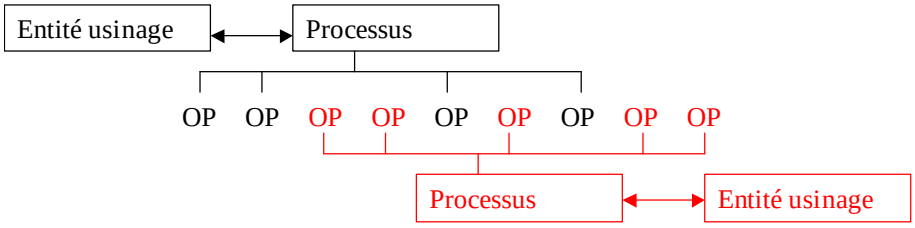


Figure 41 : Illustration de la définition d'Entité d'usinage selon le groupe GAMA

Pour déployer ce concept dans le cadre du projet USIQUISK, il a fallu définir :

- un schéma de principe du concept OSE utilisé dans USIQUISK pour guider la définition des entités,
- un processus d'utilisation des OSE dans USIQUISK,
- une assistance au pilotage du déploiement des règles associées aux OSE.

Le développement en parallèle d'approches liées à l'usinage par différents partenaires (IRCCyN : OSE, LGIPM : EGOU) a conduit à la nécessité de raffiner ces concepts ; il est résumé dans la Figure 42.

Cet exemple de raffinement des connaissances met en avant le besoin d'interaction entre les deux aspects du sens :

- les évolutions de la connaissance orientent les choix applicatifs du savoir,
- l'expérience du savoir déclenche des besoins de raffinement de la connaissance.

Il permet de mettre en évidence les concepts clefs par lesquels le déploiement peut être conduit.

		Théorie OSE		EGOU		Machining Process	Maquette USIQUICK	Utilisation CATIA
		Par le parc outil	*Par la géométrie*		*Implem. MP*			
DÉPLOIEMENT		Outils disponibles du workshop	Définition de la classe d'entité	Quasiment toutes les combinatoires (certains praticiens commencent par la séquence)	Déf de l'Opération et de ses options	Choix de l'Activité	Définition des attributs de U_Sur	
		Association aux OSE correspondants à sa classe, Création des Activités spécifiques puis d'OSE	Association de règles pour sélectionner Activité et Outil		Filtres sur la géom. et ses attibuts	Règles d'asso des Entités, Règles d'asso des Outils	??	
					Filtres sur les Outils		??	
		Par le nouvel outil	*Par la gamme*	*Théorie*				
CONSTRUCT°	1	Nouvel outil du workshop	Reconnaissance des Entités	Outil ou Géométrie		Choix de l'Activité		
	2	Association aux OSE correspondants à sa classe, Création des Activités spécifiques puis d'OSE	Identification d'Outils nouveaux	Opération		Règles d'asso des Entités, Règles d'asso des Outils		
	3		Validation par REX de l'Activité	Géométrie ou Outil				
UTILISATION	1	Recon. des Entités par classes		Recherche des EGOU		Création des Zones d'Usinage Prism.	Création des U_Sur	Choix des Activités
	2	Rech. des Outils pertinents		Carte de visite EUA		association automatique des MP	??	Choix des Entités
	3	Optim. des Activités associées		Carte de visite Outil		Sélection de l'Outil parmi la sélection	??	Choix de l'outil

Figure 42 : Convergence des problématiques associées aux OSE

Ce point a donné lieu à une série de publications concernant la phase de raffinement et la théorie associée à OSE pour USIQUISK (CFM'05 [E.2005.2]), la phase de raffinement et sa stratégie de déploiement (IMACS'05 [D.2005.3]) ainsi que la phase de spécification de déploiement (CIRP Journal of Manufacturing System [A.2006.3]).

b. Approche globale énergétique en prototypage rapide [Pic 04]

Ce travail, réalisé par D. LePicart, a été mené en collaboration avec P. Mognol (IRCCyN - MO2P). Il s'inscrit dans l'approfondissement des connaissances dans le cadre du prototypage rapide et de la comparaison écologique / énergétique / économique de différents procédés de prototypage rapide. Cette étude aborde un point que la communauté n'a, jusqu'alors, peu ou pas abordé. Nous n'avons trouvé aucune publication sur ce thème.

Cette démarche s'inscrit dans le cycle de vie produit et tend à s'intégrer dans un environnement d'aide au choix de procédé de prototypage capable tout en proposant des optimisations de paramètres opératoires. En ce qui nous concerne, ses optimisations concerneront le choix d'un procédé minimisant les énergies engagées sur le cycle complet de réalisation (nettoyage et finition des pièces incluses). Une fois le procédé choisi, une optimisation de la mise en position des pièces à réaliser est aussi envisagée pour minimiser les consommations énergétiques. D'autre part, l'approche globale d'évaluation du coût de production peut alors être augmentée des prises en compte énergétiques des temps hors production.

L'étude s'est focalisée sur la dépense énergétique de trois procédés :

- un procédé d'obtention de pièce d'aspect : une imprimante 3D Thermojet,
- un procédé d'obtention de pièce fonctionnelle : le dépôt de fil fondu FDM,
- un procédé d'obtention d'outillage rapide : le frittage de poudre métallique EOS.

Les différentes machines étudiées sont paramétrables et ceux-ci influent sur la consommation d'énergie que nous allons mesurer. Nous nous plaçons dans une approche globale qui va de la génération du fichier STL jusqu'au post traitement.

On trouve comme paramètres influents [D.2005.1] :

Interface CAO/Machine :	Production	Post traitement
orientation de la pièce, position de la pièce, épaisseur de couche, stratégie de balayage, morphologie de la pièce (pièce creuse), précision/détails, temps de traitement.	matériau, environnement de travail.	type de support, quantité de support, T° de travail.

Tableau 3 : Paramètres influents sur la consommation d'énergie

Certains de ces paramètres sont corrélés. Par exemple, l'orientation de la pièce influence la quantité de support à enlever pour le post traitement. Il en découle un séquencement d'obtention des paramètres d'optimisation. De plus, d'autres sont liés aux pièces à produire et sur lesquels l'optimisation n'est pas possible. Ces paramètres seront écartés (matériau, morphologie le temps de traitement). Une pièce type, de forme simple a donc été réalisée pour mesurer l'influence du paramétrage de production et des positionnements dans la machine (Figure 43).

Le Tableau 4 résume les résultats obtenus en prenant en compte les consommations de veille. Les résultats sont extrema des consommations énergétiques pour les configurations de positionnement les plus et les moins favorables.

En positionnant correctement la pièce il est alors possible d'économiser jusqu'à 45% d'énergie pour la Thermojet, 61% pour la FDM et 43% pour l'EOS.

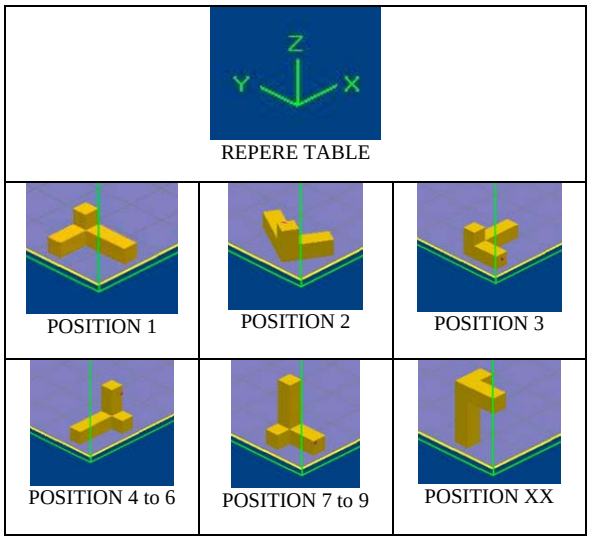


Figure 43 : Paramètre d'orientations dans la machine [A.2006.2]

	Power (kW)		Energie consommée (kWh)	
	En veille	En fonctionnement	Min	Max
Thermojet	0,69	0,88	2,1	3,8
FDM	0,53	0,57	0,5 (+4)	1,25 (+4)
EOS	2,00	4,00	32,0	56,0

Tableau 4 : Résultats des essais pour la pièce test [D.2005.1]

PARAMETRES (**X**=non modifiable)	Thermojet			FDM			EOS		
	no influence	little influence	big influence	no influence	little influence	big influence	no influence	little influence	big influence
Z AXIS orientation									
Height of the part									
position									
Thickness of the layer	X	X	X	X	X	X			
Working strategy	X	X	X						
Part morphology									
Working time									
Material									
Type of support	X	X	X						
Number of support									
Working temperature									

Tableau 5 : Influence des paramètres sur les différents procédés [A.2006.1]

Le temps de travail est le paramètre le plus important puisque directement couplé à la consommation d'énergie qui est relativement constante lors du fonctionnement de la machine. Or ce temps de travail est quant à lui fonction : de la hauteur de travail pour la Thermojet et l'EOS et de la quantité de supports pour la FDM (voir Tableau 5) [Pic 04].

Cette étude permet d'aborder le choix des paramètres de fabrication sous l'angle de la consommation énergétique et de penser intégrer dans une optimisation globale les aspects environnementaux lors de la mise en concurrence de procédés surtout si on veut les comparer

avec des procédés d'usinages conventionnels (rejets et consommations). Elle complète ainsi une partie d'analyse qui n'avait pas encore été abordée pour proposer un panel complet de points de vue à intégrer dans un environnement d'aide au choix de procédé de prototypage capable développé par P. Mognol.

Ce travail a fait l'objet d'une publication dans le cadre du CIRP Life Cycle Seminar en 2005 [D.2005.1] et dans l'International Journal of Rapid Prototyping [A.2006.2].

c. Intégration numérique pour le développement rapide de produit

Je vais présenter une partie du travail de J.C. Delplace, effectué dans le cadre d'une thèse CIFRE dans la société SMC Colombier fontaine du groupe AFE Métal, concernant l'intégration et la conception d'un environnement métier dédié à la production de pièces primaires acier en fonderie sable. Les aspects de pilotage du processus par le devis sont présentés au §3.4.1.

Pour reprendre les niveaux de maturité proposée par Candlot, ce travail a consisté à passer du niveau opérationnel le plus bas (bien que les experts fondeurs soient extrêmement compétents sur leur métier) au niveau homogénéisation de l'expertise et partage d'une plate-forme commune de travail.

Au début de la thèse, les pratiques de travail sont parfaitement maîtrisées mais les méthodes restent ancestrales : plan papier annotés à la main échangés avec le client, conception des outillages sur plan et maquette « carton » des implantations de moules.

L'absence de maîtrise de la maturité sur l'organisation se traduit par des disproportions de niveaux technologiques dans le processus. En effet, l'usine dispose d'un pont automatisé de remplissage des moules, ce qui fait de l'outil de production une référence[72] en la matière avec une capacité de production de 8500T/an. De plus les ratios de productivité pour cette partie du processus sont d'un très bon niveau avec des taux de rebuts <3%, des taux de réparation <6%, et un taux de panne <3%. Cependant les étapes de parachèvement sont restées manuelles avec les difficultés propres aux pièces acier (durs à découper et à meuler). Ceci limite le flux de production à une valeur théorique de 6800T/an sans compter la pénibilité du travail qui rend les opérateurs de ses postes régulièrement absents ou difficiles à recruter (Figure 44).



Figure 44 : Fonderie de référence mais parachèvement archaïque

D'autre part, alors que toute l'industrialisation se fait encore à la main sur des plans annotés échangés avec les clients, les investissements en solutions numériques ont été portés vers Pro-Engineer pour la CAO et Pam-Cast Simulor pour la simulation de remplissage de moule et de refroidissement de pièce. Or, pour des experts fondeurs, qui pratiquent peu l'informatique bureautique au quotidien, ses outils sont trop lourds à mettre en œuvre (faute de compétences) et donc peu ou pas utilisés. Les experts ne gagnent pas en compétences et souffrent à chaque utilisation ce qui les freine encore plus à utiliser ces outils.

[72] http://www.anvar.fr/innovation/150/fonde/txt/smc.htm

Une autre caractéristique de cette usine est le nombre important de références et de leur taux de renouvellement : 4000 références sont disponibles dont environ 1000 changent sur une année. L'activité est basée sur la production de petites et moyennes séries de pièces aux formes et aux gammes de fabrication hétérogènes. Cette diversité, appelée mix produit, rend la gestion de ce type de fonderie plus complexe que celui d'usines dont la production se limite à quelques produits. De plus, le nombre important de nouveaux produits implique des temps d'industrialisation longs (perte de réactivité) et coûteux (part de l'industrialisation importante sur le coût global des séries).

Ainsi les objectifs industriels sont doubles :

- Réduire les temps de développement d'outillage pour l'industrialisation des nouvelles pièces. En effet c'est le même technicien qui fait les devis de pièces et leur industrialisation. Les temps nécessaires à une évaluation propre des coûts ou à une optimisation des conceptions d'outillages sont chassés par les exigences de réponses aux clients.
- Lever le goulet d'étranglement du processus de production qu'est la phase de dégrappage en l'automatisant.

Les aspects d'intégration économique seront détaillés plus loin, je ne vais donc pas revenir dessus ici. Je vais me contenter d'expliquer rapidement l'intégration numérique pour le développement rapide de produit qui vise à réduire le temps de réponse à l'appel d'offre tout en maîtrisant les risques industriels liés à des procédés complexes.

Un des enjeux stratégique et commercial de l'intégration de technologies numériques est de compresser suffisamment les délais et coûts de développement pour réaliser les "pièces types" avant la remise de l'offre commerciale (pour des affaires jugées stratégiques). Ainsi, la pièce déjà industrialisée sert de base pour la négociation, validant tous les risques technologiques. De plus, l'intégration de technologies de développement numérique permet de simuler les processus définis, permettant ainsi d'insérer une étape intermédiaire de validation et donc d'optimiser les pièces ou les processus. Enfin, le déploiement d'une pareille organisation permet au fondeur de valider les informations servant de base à l'évaluation des coûts de revient, fiabilisant ainsi les choix stratégiques liés au produit.

L'état initial du projet est un délai moyen de réponse à un appel d'offre d'environ deux semaines et un processus de développement d'environ neuf semaines, ce qui impose une refonte complète du processus de développement et l'intégration des technologies de conception et de fabrication numériques. Cette intégration permet alors :

- de créer le modèle numérique des pièces, des moules et des grappes ainsi que des outillages,
- de communiquer autour de la visualisation d'une pièce virtuelle,
- de réaliser rapidement des maquettes ou des prototypes fonctionnels,
- de simuler le processus de remplissage, de solidification, de refroidissement, etc.,
- de fabriquer des outillages rapidement.

La Figure 45 résume les axes d'utilisation de la maquette numérique et son déploiement dans le service industrialisation sur la base de solutions simples, portables et adaptées aux utilisateurs. Les choix se sont donc portés vers une COA conviviale (Solidworks) pour lequel a été développé des outils métier intégrés dans l'environnement (fonctionnalités et barres d'outils) :

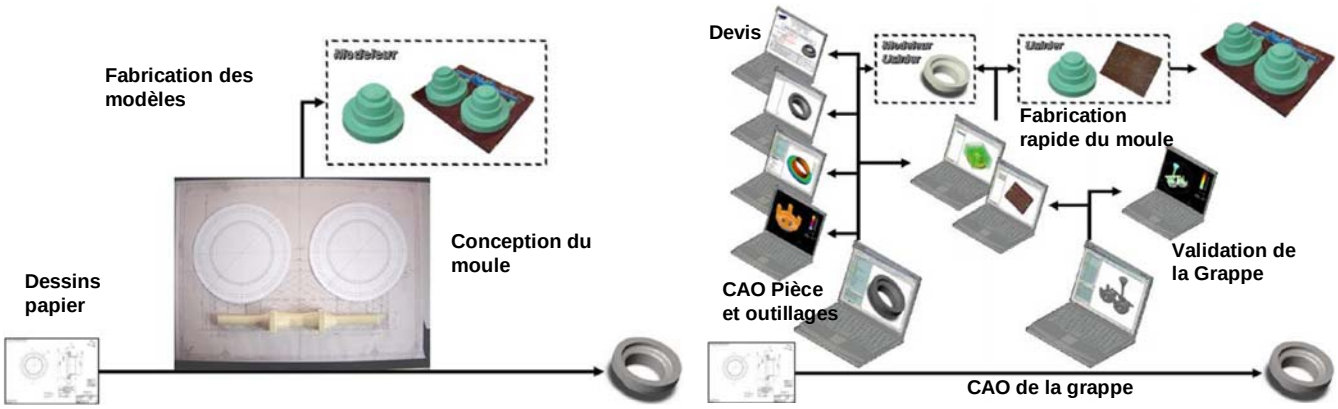


Figure 45 : Intégration numérique pour le développement rapide de produit

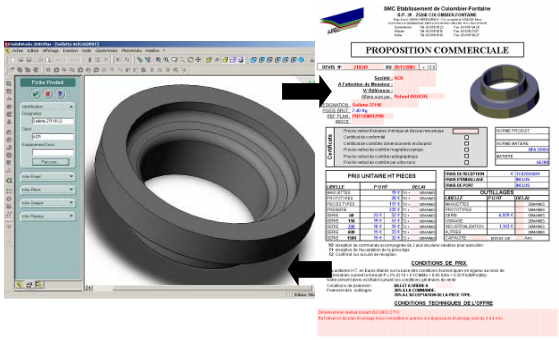
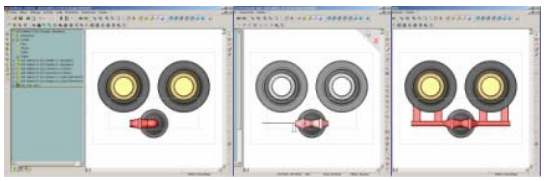
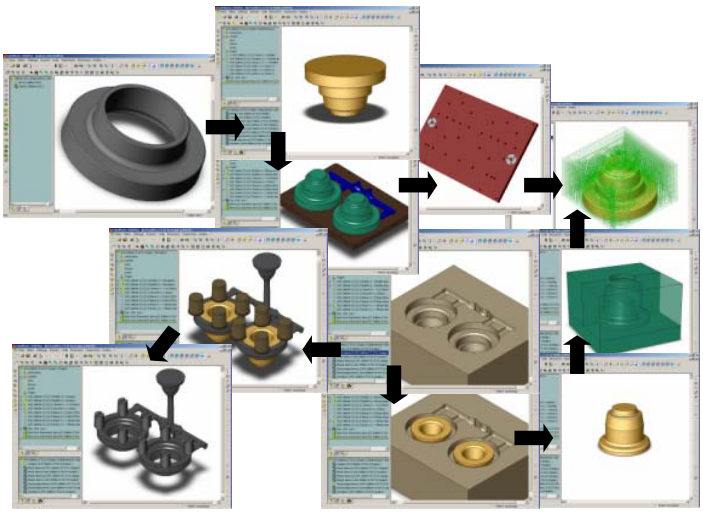
Création automatique et interactive du devis en cours de modélisation de la pièce qui s'enrichit dynamiquement en cours de conception, comme par exemple le volume / poids de pièce, le nombre de pièces par moule, la mise au mille, etc. Production de documents commerciaux avec la pièce virtuelle en situation *Interfaçage Solidworks / Excel*	
Création de bibliothèques d'éléments dédiées (canal d'alimentation, conne de coulée, filtres, masselottes, …) *Base de données composants*	
Modélisation complète du processus : Conception de pièce et extraction des deux plaques modèles (fabrication rapide des composants des plaques), extraction des noyaux et créations des boîtes à noyaux (fabrication rapide des boîtes), extraction des deux parties de moule (pour contrôle en production), création du moule complet pour validation par simulation (éléments finis de la pièce sollicitée mécaniquement, remplissage et solidification du processus), pour finir par la grappe (à envoyer au robot pour recalage de trajectoire *Structuration du système d'information*	

Figure 46 : Environnement numérique intégré

Ce déploiement d'environnement intégré dans le service d'ingénierie, associé à une démarche de fabrication rapide d'outil a donné lieu aux gains de coûts d'industrialisation d'un facteur deux par rapport à une étude conventionnelle et a aussi permis de ramener la durée de réalisation de pièce bonne matière – bon procédé à moins de 3 semaines.



Figure 47 : Résumé des gains obtenus

Dans un second temps cette maquette numérique, couplée aux informations du devis (cadence, nombre de pièces par moule, …) permettra de piloter le processus de production. La maquette numérique sert entre autre à la surveillance en continu des moules pour réduire les défauts ou les rebuts, d'autre part à balancer les trajectoires des robots de découpe par oxycoupage par rapport aux grappes décochées qui sortent déformées. L'automatisation de cette étape de découpe permet d'augmenter la capacité de finition des pièces et d'exploiter au maximum la capacité de production du pont de coulée automatisé.

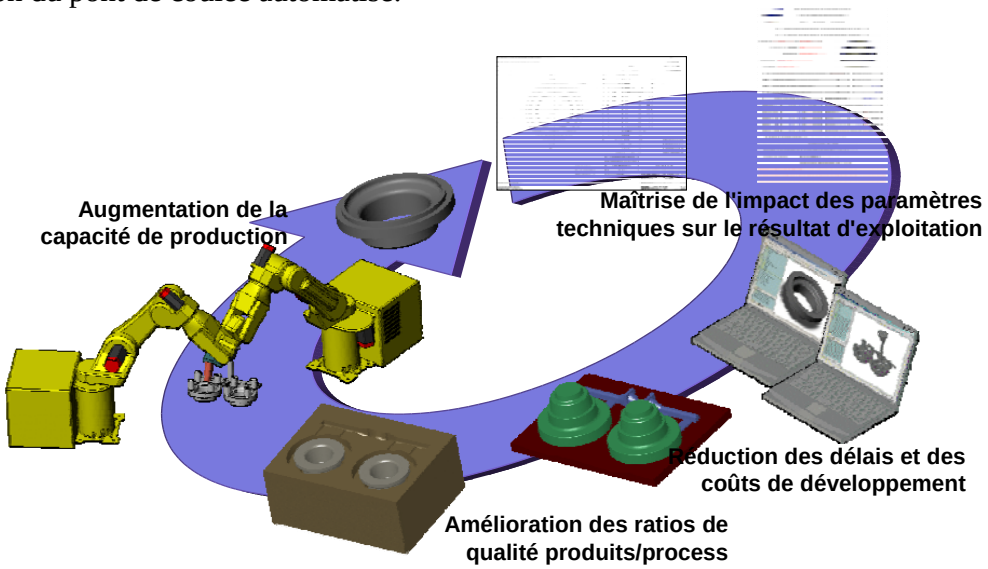


Figure 48 : Schéma global d'intégration du référentiel numérique commun

Sur ces aspects de développement d'environnement métier intégrant de la connaissance, les principaux apports de ce travail sont :

- la formalisation des processus d'ingénierie et de production de l'entreprise qui a servit de support au développement de l'application de devis et à l'application d'assistance à l'industrialisation de nouvelle pièce,
- le développement d'interfaces et de barres d'outils dédiées au métier de la fonderie, associé à la création de bases d'informations sur le processus,
- le développement d'outil de pilotage économique basé sur les processus d'entreprise et les inducteurs de coûts réels (présenté au §3.4.1.),

- le déploiement de la maquette numérique en production pour suivre, contrôler et automatiser le processus (information sur les cadences de production, contrôle en continu des moules avant remmoulage, dégrappage robotisé),
- la prise en compte de la culture d'entreprise et de la culture du métier de fondeur pour fournir des solutions adaptées et lever les freins au changement.

Je ne reviens pas dans ce mémoire sur l'utilisation de la maquette numérique pour le suivi en production et le dégrappage automatique, ni ne détaillerai plus ces aspects du travail de Delplace qui ont été largement présentés et publiés [Del 04]. La partie intégration de la chaîne numérique en phase d'industrialisation est détaillée dans [D.2002.2] [D.2002.1] [D.2003.2] l'intégration de la maquette numérique sur le cycle de vie produit dans le processus développement/fabrication dans [D.2003.3] [C.2004.1] [A.2003.2].

Ce travail a été valorisé dans le cadre du projet EVEN, comme cas d'illustration pour le PMI PME d'approche d'ingénierie virtuelle accessible et tout de suite bénéfique [@EVEN2] [D.2003.3].

Les aspects d'intégration économique de ce travail seront présentés plus loin au §3.4.1.

3.3.2.6. Conclusions sur les apports relatifs à l'ingénierie de la connaissance

Dans cette partie majeure de la revendication de ce mémoire, j'ai montré différents niveaux d'industrialisation des connaissances.

Le sens d'industrialisation se reflète dans différents aspects :

- la structuration et la validation des éléments de connaissances à intégrer et de la démarche de modélisation et d'intégration,
- la mise à disposition et l'automatisation dans un environnement le plus proche possible de l'environnement naturel de travail de l'utilisateur,
- la proposition d'une démarche opérationnelle et éprouvée par différents cas,
- la proposition d'outils conceptuels et méthodologiques pour analyser des cas et préparer à affronter de nouveaux projets, le préparer et les piloter,
- un ensemble d'outils pour suivre le déploiement et l'intégration dans un environnement métier.

A ce stade, je vais présenter succinctement deux thèmes de l'équipe qui sont complémentaires et qui interagissent avec l'ensemble des réflexions menées et présentées ci-avant. Bien que n'intervenant pas directement dans leur encadrement, nous sommes régulièrement amené à échanger et réfléchir ensemble sur ces points qui complètent la présentation du cadre de réflexions que nous pouvons avoir au sein de l'équipe.

Tous les exemples présentés s'appuient sur des objectifs de déploiement définis. Mais, que se passe-t-il dans le cas d'absence de spécification des connaissances ainsi capitalisées ? Et pour commencer quelles connaissances capitaliser si je ne sais pas pourquoi faire ?

Cette problématique est au cœur du problème de *Valorisation muséographique des systèmes techniques anciens par une remise en situation d'usage virtuelle* (thèse de F. Laroche en collaboration avec l'Institut de l'Homme et de la Technologie de Nantes débutée en 2005). Le principal problème réside dans l'absence d'identification des éléments à capitaliser (virtualiser pour une utilisation en musée par exemple) couplé au manque de visibilité des réutilisations à venir.

Constatant que la mémoire scientifique et technique est très peu capitalisée, c'est donc la connaissance technique de l'humanité qui disparaît. Dès lors, la question de la capitalisation de la connaissance industrielle liée au patrimoine local, national, voire international se pose. Or, le souhait de capitalisation de cette mémoire scientifique et technique par les muséographes est bridé par la taille des ensembles souvent gigantesques à l'échelle d'une salle de musée (grues, ponts, usines …). Il est nécessaire de retisser les liens entre le contexte technique, organisationnel et social pour donner un juste retour de l'objet technique muséographé. De plus, les muséographes sont confrontés à une absence de vision sur les médias de restitution modernes (les maquettes restent souvent les seules solutions de restitution proposées). Or, les approches de virtualisation scénographique apportent des solutions techniques, mais elles n'éclairent pas sur les choix de restitution à venir.

Laroche propose de « renverser l'axe des temps de la conception » et créé, à partir de l'objet technique et des informations dont on dispose et grâce à l'utilisation d'outils, une modélisation en

vue d'une remise en situation d'usage virtuelle. Cette nouvelle chaîne numérique, qui est étudiée, apporte une réponse à ces besoins : depuis la capitalisation des connaissances et la numérisation des objets physiques en passant par la modélisation numérique jusqu'à la virtualisation scénographique comme présentée dans les deux figures suivantes [Lar 06].

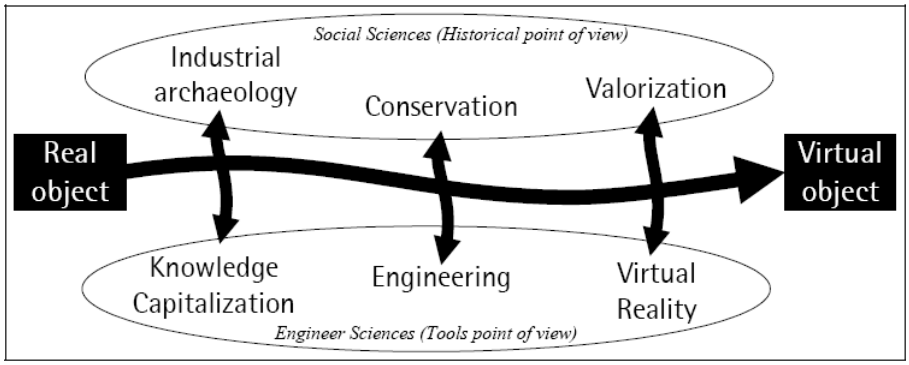


Figure 49 : Modèle macroscopique de l'approche proposée [Lar 06]

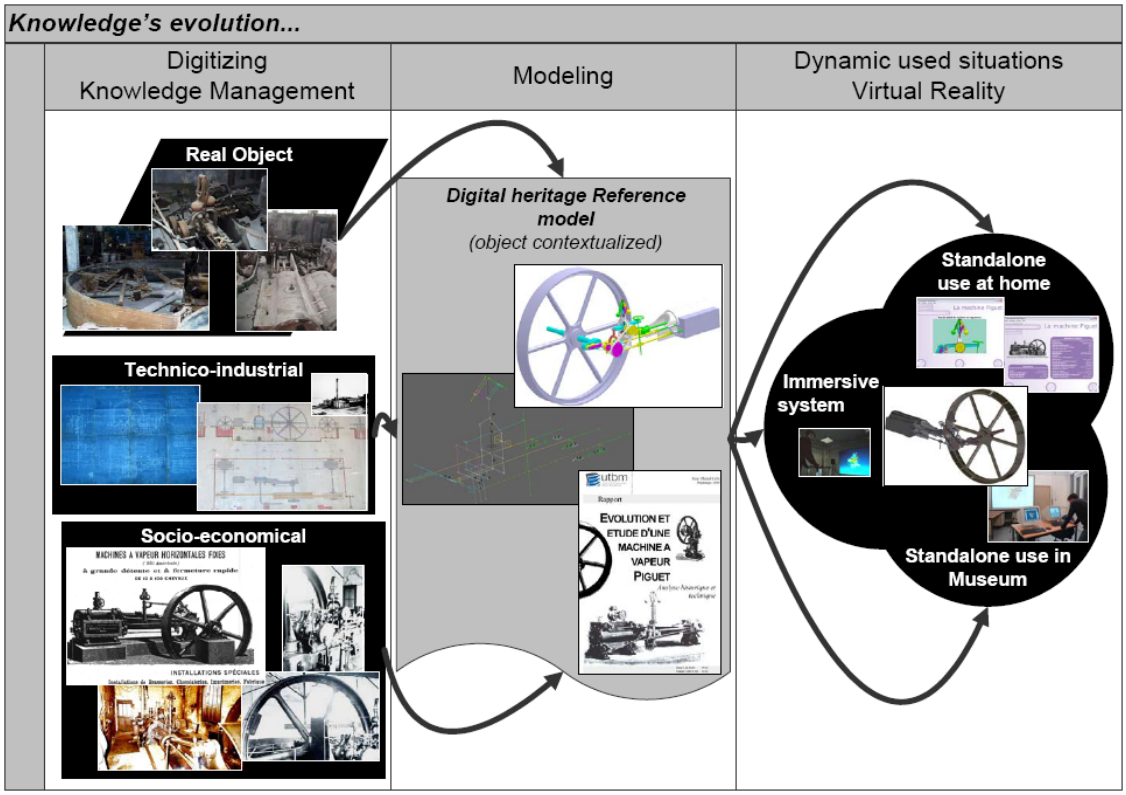


Figure 50 : Résumé de l'approche sur le cas de la machine à vapeur Piguet [Lar 06]

Se pose donc un problème complexe où il faut préparer, extraire, formaliser, structurer et capitaliser tout en envisageant les meilleures utilisations possibles. Mais, comme nous l'avons vu, l'usage conditionne la restitution et donc la sélection des objets à capturer. Nous n'apporterons pas de réponse maintenant, mais piloter avec une cible mouvante peut s'avérer compliqué … mais ceci n'est rien par rapport au pilotage sans cible ni objectif final.

Le deuxième travail que je souhaite mentionner concerne le travail d'Y. Keraron sur les *Transformations et Structures du Document Numérique : Applications à la Documentation Technique de Systèmes Industriels* (en co-direction avec B. Bachimont directeur scientifique de l'INA et chercheur à l'UTC, laboratoire HEUDIASYC).

Comme déjà mentionné, nous adhérons à la proposition de Bachimont qui postule que les documents sont les traces ou retranscriptions des connaissances. Les documents techniques sont de natures diverses et variées, tant dans leurs finalités de rédaction (spécifications manuscrites, normes, dessins normalisés, règles de calcul) que dans leurs supports (fichiers CAO ou autres éléments numériques, prototypes physiques …). Ce travail fait donc le lien avec l'ingénierie documentaire et les approches de développement du web sémantique (Web 2.0 et nouvelles technologies XML/SGML pour les textes et CGM pour les graphiques) dans la lignée des préparations de norme S1000D[73] ou du réseau thématique du CNRS RTP-33[74]. Un point particulier vise à l'intégration des annotations[75], couramment pratiquées sur des plans ou documents papiers, mais qu'il est plus difficile de suivre et d'intégrer dans les documents numériques. Pourtant, ces annotations, sont sources d'enrichissements et d'évolutions des connaissances inscrites dans les documents. Ce travail complète les approches d'intégration et ouvre la voie vers une dynamique de suivi de l'enrichissement des connaissances.

Au delà de la formalisation initiale des connaissances métier, les acteurs sur le cycle de vie du produit s'appuient sur les documents caractérisant à la fois le produit et ses processus (manuel d'usage ou de maintenance par exemple). Il est donc indispensable de mieux intégrer, grâce à la mise en œuvre de formats numériques, les trois systèmes fondamentaux que sont le système technique, le système humain et le système documentaire. Ce dernier doit évoluer pour offrir des possibilités de consultation/évolution/annotations qui soient opérationnelles tout au long du cycle de vie du produit. Les annotations numériques devraient permettre à terme la mise à jour des documents numériques relatifs aux systèmes complexes [Ker 04].

En effet, le système documentaire d'un produit industriel complexe joue, pour l'ensemble des acteurs, un rôle déterminant dans la diffusion et la préservation des connaissances produites pendant le cycle de vie du produit depuis sa conception jusqu'à sa mise au rebut. Les technologies numériques sont maintenant largement utilisées pour la production, la gestion et la diffusion des documents, et conduisent à s'interroger à nouveau sur les fonctions et les structures documentaires. Bruno Bachimont a établi une première distinction entre les structures d'organisation, les structures de contrôle et les structures d'interaction du document. Nous proposons de mener ce travail dans le cadre des publications techniques électroniques de systèmes industriels en nous concentrant sur l'utilisation des publications techniques numériques pour l'exploitation et la maintenance du système industriel [Ker 05].

---

[73] Cette proposition de norme vise à formaliser et à normaliser la production de modules documentaires selon un découpage largement déterminé par l'organisation industrielle en place pour la réalisation du produit. De plus, des canevas documentaires sont également prévus pour assembler les modules de façon à réaliser des publications techniques ainsi que des outils pour faciliter l'utilisation de la documentation et la remontée d'informations du terrain. http://www.s1000d.org/

[74] Les travaux du RTP 33 ont conduit à une synthèse définissant le document sous 3 aspects : forme, sens et relation. Ce réseau thématique poursuit ses travaux pour fonder une véritable théorie du document. http://rtp-doc.enssib.fr/

[75] Les différents niveaux d'annotations documentaires sont : les signets, les commentaires, les annotations ou les révisions.

On peut constater que des efforts importants ont donc été effectués pour structurer l'information technique et rationaliser les processus d'édition et de publication. Par contre, il y a peu de changements dans les habitudes et les outils de lecture. Ainsi les manipulations rendues possibles par la structuration fine des contenus peut rendre confuse la lecture. Cette difficulté est encore accentuée par le souhait exprimé par de grands maîtres d'ouvrage d'exploiter la documentation numérique depuis des outils « légers ». Nous cherchons donc à identifier les outils qu'il faudrait à l'utilisateur pour l'assister concrètement dans une lecture complètement électronique. Nous pensons que les outils d'annotation sont un exemple de ces outils [Ker 06].

L'originalité du travail de Keraron tient essentiellement à l'observation de situations opérationnelles réelles pour préciser les attentes, distinguer les besoins fonctionnels et expliciter les structures permettant de les satisfaire. Il se place dans le cadre d'une approche industrielle de la documentation où des efforts de structuration du fond documentaire ont déjà été réalisés et il vise à les prolonger au niveau de l'utilisation et de la mise à jour du fond documentaire. Les études terrain sont réalisées, pour une majeure partie, auprès d'utilisateurs (techniciens maintenance) de l'Aéronavale et de l'Armée de l'Air. Ils utilisent un *Système d'Exploitation de la Documentation* dans un contexte où la consultation électronique est rendue obligatoire, et qui s'applique à la maintenance du Rafale depuis 5 ans pour l'Aéronavale et depuis début 2005 pour l'Armée de l'Air. Les techniciens de maintenance attendent par exemple des outils qui leur permettent d'interagir sur le contenu même, par exemple pour suivre leur avancement dans une procédure, pour supporter un processus de recherche de pannes ou encore pour inscrire directement une modification qu'ils viennent de réaliser (la Figure 51 présente les préférences des utilisateurs relativement aux interfaces de consultation). Il y a donc un besoin d'inscrire directement des annotations dans le texte ou dans le graphique pour une meilleure appropriation et un meilleur partage d'un contenu d'informations. La dynamique de gestion de connaissances prend ici tout son rôle.

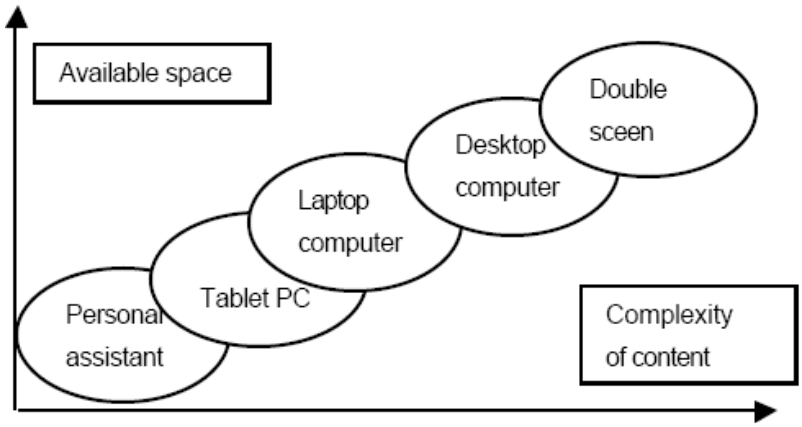


Figure 51 : Interfaces de consultation et préférences en fonction de la complexité du document

Les observations sur le terrain devraient nous permettre d'aboutir à une typologie des annotations selon leurs fonctions et de définir les composants structurels permettant l'accomplissement de ces fonctions. La typologie des annotations se fera en liaison avec une typologie des documents et des tâches qu'ils supportent. Il en débouchera ensuite la réalisation de la spécification fonctionnelle d'un outil générique d'annotation de document technique. Celle-ci pourra faire

l'objet d'un maquettage et de tests en situation opérationnelle pour valider l'intérêt des apports théorique.

Les résultats de ces travaux visent à mieux assister les maîtres d'ouvrage dans la spécification de leurs besoins en matière de documentation électronique. Il pourrait conduire à compléter les normes du domaine. Il vise également à contribuer à la fondation d'une véritable ingénierie des documents.

Ces deux illustrations de travaux au sein de l'équipe montrent que l'effervescence autour de l'ingénierie de la connaissance, comme je l'ai présenté dans ce chapitre, est éprouvée et enrichie d'expériences connexes issue de domaines variés. La complémentarité des approches en muséographie force à assurer une approche la plus indépendante possible des objectifs non connus, d'ou la nécessité d'outillage de consolidation pour se positionner dans une problématique d'intégration des connaissances (grille MARISKA par exemple). D'autre part, les aspects d'annotations et d'enrichissements des connaissances en cours d'utilisation, tout au long du cycle de vie produit, sont des éclairages et des contraintes à prendre en compte pour spécifier et définir les environnements à base de connaissances.

Ce travail a été valorisé au travers de différentes publications en revues, d'article de livre [C.2007.1] et de conférences internationales [D.2007.4] [D.2007.5] [D.2005.2] ou nationales [E.2005.1] [F.2004.1].

Ce travail a été valorisé au travers de publication en revues internationales, [A.200*.2] [A.2007.4] [A.200*.2] [A.2007.7] [A.2006.3] [A.2005.1], de chapitre de livre [C.2007.1], de conférences internationales [D.2005.2] [D.2005.3] [D.2005.6], nationales [E.2005.1] [E.2005.2] ou dans le cadre du réseau d'excellence INTEROP [F.2005.1].

Le rayonnement scientifique de cette partie s'est fait au travers de :

10 revues internationales [A.2007.2] [A.2007.4] [A.2007.5] [A.2007.6] [A.200*.2] [A.2007.7] [A.2006.2] [A.2006.3] [A.2005.1] [A.2005.2] [A.2003.1]
3 propositions en cours de révision pour revue [A.200*.1] [A.200*.2][A.2007.2]
3 contributions à des ouvrages collectifs [C.2007.1] [C.2005.1] [C.2005.3]
10 présentations en conférences internationales [D.2007.3] [D.2007.4] [D.2007.5] [D.2006.4] [D.2006.5] [D.2005.1] [D.2005.2] [D.2005.3] [D.2005.7] [D.2005.8]
2 présentations en conférences nationales [E.2005.1] [E.2005.2]
2 présentations en colloques ou séminaires [F.2005.1] [F.2004.1]
4 participations à des délivrables pour le NOE INTEROP [G.2005.1] [G.2005.2] [G.2005.3] [G.2005.4]
3 actions dans le cadre tâches pour le NOE VRL-KCiP : D39 : Models and methods for knowledge life-cycle - T104 : confrontation d'outils d'extraction de la connaissance - T105 : spécification de plate-forme collaborative de gestion des connaissances.

3.4 Evaluation des coûts en ingénierie

La prise en compte des aspects économiques s'avère, au travers du triptyque coût / risque / valeur, être un des éléments d'évaluation de performance les plus critiques dans les structures d'entreprises actuelles. Cette partie consiste en une étude approfondie des méthodes connues et pratiquées dans les entreprises, puis l'élaboration des méthodes d'analyse des inducteurs de coûts, des facteurs de valeurs et de risques. Les résultats de ces analyses sont des modèles et stratégies d'évaluation des coûts, en vue de leur utilisation à des fins prédictives sur les chaînes de valeur d'entreprise.

De plus nous avons cherché à mettre en parallèle la notion de valeur associée aux connaissances et celle qui articule le passage du coût vers le prix. Ces réflexions, menées dans le cadre du travail de Candlot et de Mauchand, nous laisse entrevoir des opportunités de valoriser les démarches de gestion des connaissances et d'évaluer financièrement ces approches pour justifier leur déploiement et informer sur les retours sur investissements de telles démarches (Figure 52).

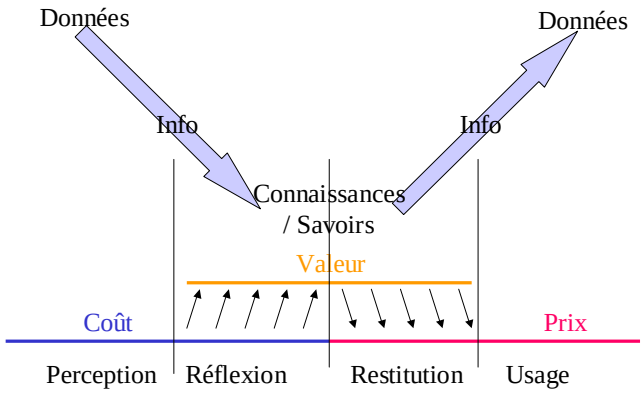


Figure 52 : Mise en perspective du triptyque coût / valeur / prix dans le cycle de structuration / déstructuration de la connaissance

Enfin, pour augmenter notre niveau de connaissances dans les domaines des sciences et de la gestion, nous nous sommes rapprochés de spécialistes qui nous ont éclairés et avec qui nous continuons de proposer des projets de collaboration. Nous avons trouvé cette compétence à l'Université de Nantes, au sein du Centre de Recherche en Gestion de Nantes- Atlantique de l'IAE de Nantes au près de P. Mévellec. Pierre nous a éclairé des ses vues au cours d'interventions dans le cadre de journées rencontre du Pôle STP du GDR MACS (mars 2004[76]), de l'université d'automne du réseau AIP Priméca (novembre 2003[77]), comme jury de la thèse de J.C. Delplace [Del 04] et en échangeant au cours de la rédaction d'un article en commun [A.2006.1] et de projets nationaux.

[76] http://www.irccyn.ec-nantes.fr/gdrmacs/
[77] http://aip1.iut-nantes.univ-nantes.fr/QuickPlace/ua2003/Main.nsf/

3.4.1. POSITIONNEMENT BIBLIOGRAPHIQUE

Après le tour d'horizon concernant les approches liées aux connaissances en ingénierie, il ressort que de nombreux auteurs s'accordent pour dire que les notions de valeurs, liées aux connaissances et au capital immatériel d'entreprise, sont encore mal définies et surtout mal valorisées. Elhamdi introduit trois caractéristiques fortes du concept de valeur [Elh 05]. D'une part son aspect multi-parties, c'est à dire étendue aux différents bénéficiaires. D'autre part son caractère subjectif, chaque bénéficiaire percevant la valeur selon un référentiel de préférences qui lui est propre. Enfin, la valeur dépend de plusieurs critères, elle résulte de l'agrégation des appréciations pris en compte, qui sont différents selon les points de vue. Les représentations de chaînes de valeurs aident à analyser les transformations de valeurs[78] d'entreprise ainsi que l'ensemble des parties qui sont bénéficiaires (c'est-à-dire qui en retirent un intérêt ou une satisfaction).

Cette notion de valeur nous offre une transition particulière pour glisser vers les analyses concernant les approches d'évaluation économique en ingénierie, les outils à disposition pour rendre les ingénieurs proactifs par rapport aux coûts (de produits ou de systèmes) et non plus passifs ou dépendants [Gia 03] [Brin 00]. L'enjeu de ces approches est de rendre la caractéristique coût non plus comme le résultat d'une conception ou d'un processus d'entreprise, mais comme une variable modifiable au même titre que les exigences techniques intégrées en conception [Liu 04]. Ainsi les décisions peuvent être optimisées [Yos 03] tout en concevant en parallèle le produit et son ou ses processus [Bri 99] [Reh 98].

Or le constat actuel, du point de vue de l'ingénieur, est relativement pessimiste. Malgré la quantité de solutions développées spécifiquement dans divers domaines, les méthodes d'évaluation économique, que nous allons décrire plus loin, n'offrent, à l'heure actuelle, que peu de solutions pragmatiques et transposables d'un produit à l'autre. Il importe de développer les systèmes d'informations en ce sens pour supporter ces évaluations [Bac 94] [Cue 98].

Pour rapidement illustrer le type d'outils disponibles, dans les domaines de la production mécanique, je vais en citer trois pour montrer les différentes mailles d'analyse et d'évaluation :

- Devis Code du CETIM[79] aide à calculer (en fonction du métier) le coût des pièces produites. C'est un outil spécifique à un domaine de production. Son objectif premier est de calculer un devis au plus juste d'une pièce, pour proposer par la suite un prix de vente en maîtrisant la marge et le coût de production.
- Cost Advantage (Cognition Europe[80]) est un logiciel qui développe une approche par entité coût (feature coût), il est couplé à un système expert de calcul des coûts des opérations de production des pièces [H'Mid 02]. Il est alors possible de paramétrer son propre processus de production. La maille de représentation et de calcul est plus large que la proposition précédente. Il peut en plus être couplé à un outil de CAO ou de CFAO pour automatiquement

[78] La génération de la valeur est appréhendée par une approche par les activités qui considère que la valeur pour une partie résulte de son niveau d'appréciation d'un certain nombre d'indicateurs de performances des activités réalisées par l'entreprise. Au niveau de chaque activité, les indicateurs de performances dépendent causalement des autres éléments du réseau de valeurs : les décisions managériales, l'environnement de l'entreprise, les parties de l'entreprise et les autres activités.

[79] CETIM : G. ANGLEROT Pôle Ingénierie de la Performance Industrielle, www.cetim.fr

[80] www.cognition.fr

extraire des géométries, ou des processus de fabrication, les informations nécessaires au calcul automatique. Il reste cependant dédié à une évaluation des opérations de production.

Ces deux exemples sont basés sur des décompositions analytiques des opérations et donc de calculs des coûts.

- Le logiciel PRICE[81], quand à lui, essaye d'embrasser l'évaluation du coût global de possession sur l'ensemble du cycle de vie des produits. L'approche est alors paramétrique (moins précise) mais englobe l'ensemble des phases du cycle de vie produit [Mar 06]. Il propose alors un cadre d'aide à la prise de décision intégrant l'impact économique des choix figés tôt en conception. Avec la même volonté de maîtriser sur le cycle complet des processus de production, Ashby a développé un module d'expertise économique dans son logiciel d'aide au choix de matériaux et de dimensionnement en conception qui conditionne le processus de production [Esa 00 et 03].

Je m'arrêterai là avant de tomber dans l'énumération à la Prévert inutile. Cependant, les entreprises ont parfois développé des artefacts d'outils d'évaluation (souvent à base de tableurs Excel) qui sont représentatifs d'un instant des processus de productions et des inducteurs de coûts, au moment de leur création. Or, malgré leurs qualités, ces derniers n'ont pas évolué ou été remis en question alors que le métier, l'environnement industriel ou les perspectives d'évaluations ont souvent changé comme nous allons le voir.

Il est important de noter que dès les années 70-80, des rapports et études concernant le rôle stratégique des activités de conception ont été éditées en Grande Bretagne et aux Etats Unis en vue de convaincre les entreprises et les pouvoirs publics de s'orienter vers de nouvelles approches pour améliorer les performances économiques des entreprises à dominante industrielle. Ainsi le rôle primordial de la conception a été mis en avant [Hoo 91] [Czy 91] : **la conception possède un impact fondamental dans le processus d'innovation et dans la concurrence entre entreprises et entre nations.**

Selon Perrin, « *La conception (Engineering Design) est le facteur clé du processus de développement de produit. La capacité à développer de nouveaux produits de haute qualité, de faible coût, qui correspondent aux demandes des utilisateurs est essentielle pour augmenter la compétitivité d'une nation* » [Per 96].

Ainsi, il paraît essentiel d'identifier les différentes méthodes d'estimation des coûts qui sont disponibles et parfois utilisées.

3.4.1.1. Peu d'outils d'évaluation économique pour l'ingénieur

a. Cycle de vie produit et nouvelles approches de coûts

Comme nous l'avons déjà mentionné, les industries ont glissé d'un système productif à un système cognitif [Bou 00]. Les répartitions des coûts directs et indirects en sont redistribuées comme illustré sur la Figure 53. La principale raison résulte de l'augmentation des temps de développement de produits (liés à leur niveau de complexité croissant) pour des cycles de vie de plus en plus court et des lots de production réduits ; le tout dans un contexte concurrentiel devenu mondial [Asi 98]. En conséquence de quoi, les méthodes d'évaluation économique développées ne sont plus en phase avec l'évolution des structures organisationnelles.

[81] www.pricesystems.com

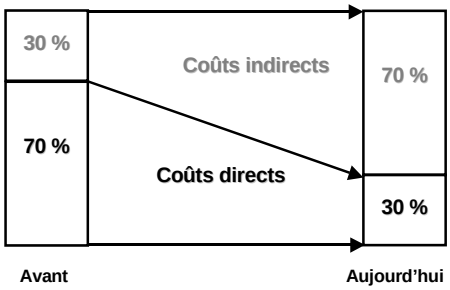


Figure 53 : Evolution de la répartition des coûts

Ces dernières années, des évolutions significatives ont été effectuées sur les concepts, les méthodes et les approches générales d'évaluation des coûts de production. Cependant selon Berliner, elles n'ont pas encore atteint un niveau suffisant de maturité [Ber 88]. A commencer par la faible valorisation des phases de développement de produit et le manque de formalisation des méthodes et de leurs démarches d'applications. Par exemple, l'identification et l'extraction des inducteurs de coûts restent floues et problématiques alors que ces inducteurs sont le cœur des évaluations pertinentes.

b. Manque d'outillage pour l'ingénieur

Dès le milieu des années 70, Blanchard a été un des premiers à mettre en avant que les phases préliminaires du cycle de vie du produit (pré-conception, spécification des produits et conception de produit) figent une part prédominante des coûts à venir des produits [Bla 78] [Fab 91]. Les choix technologiques de conception impactent directement le déroulement des processus de développement - production - vie et fin de vie des produits [Shi 91]. Ces dernières engagent relativement tardivement les coûts réellement induits par les choix initiaux. Les domaines aéronautiques, militaires et spatiaux ont fait l'objet de nombreuses études de ce type. La Figure 54 de gauche est représentative du décalage entre coûts figés et coûts engagés, elle illustre un cas de conception dans le domaine spatial [Clau 91].

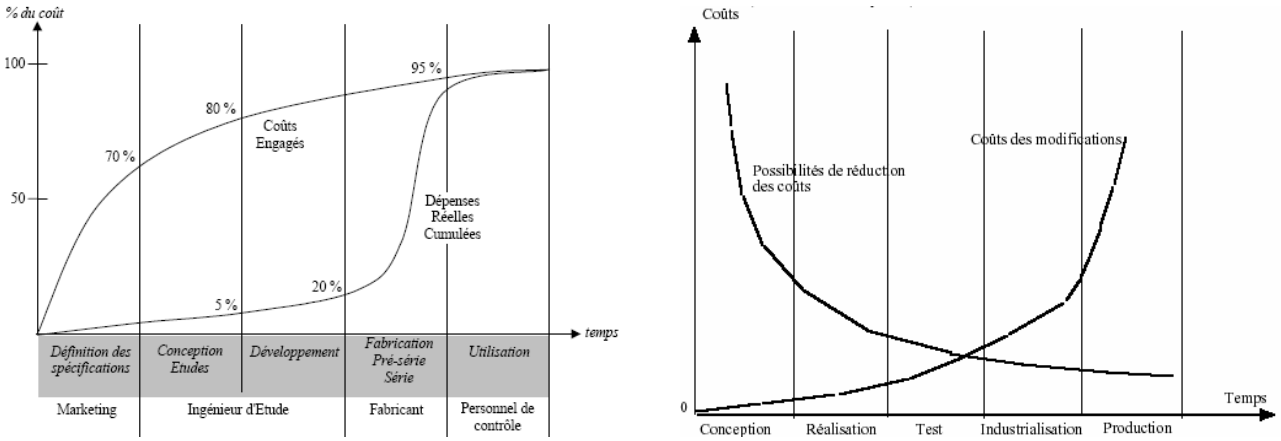


Figure 54 : Les enjeux économiques des premières phases de développement et des modifications

Il est donc crucial d'anticiper les modifications ou les erreurs au plus tôt, comme le montre la Figure 54 à droite qui traduit la démultiplication des coûts de modification au fil du cycle de vie du produit [Alc 97]. Il y a donc un intérêt économique évident à se concentrer sur la recherche d'une optimisation du produit le plus en amont possible du processus, les potentialités de gains étant importantes et les coûts engagés faibles.

Ce point de vue initié par Clautrier au début des années 90 est bien résumé par les propos de Bellut : « *le coût d'un produit à venir naît au bureau d'études […] C'est dans la conception que fait l'ingénieur, dans ses calculs et dans les dessins que le projeteur réalise sur sa planche que le coût de production a ses origines* » [Bel 02].

Ainsi comme le souligne Mévellec, il faut intelligemment permettre aux ingénieurs de mesurer l'impact des choix techniques en conception sur les coûts. Cette étape est peu coûteuse en termes de consommation de ressources, mais se révèle particulièrement rentable au niveau des coûts de fabrication, à un moment où il devient extrêmement difficile et coûteux de procéder à des modifications [Mev 00]. Cependant, il ne faut pas confondre la maîtrise des coûts (qui agira sur le point essentiel c'est-à-dire l'optimisation de la conception) et la réduction des coûts (qui fera chasse aux « gaspillages » sur la réalisation d'un produit sorti de développement).

La maturité sur la maîtrise des coûts, dans les phases initiales du cycle de vie produit, devient un indicateur de la performance des entreprises. Cet aspect est aussi crucial et dominant que la capacité à délivrer des produits techniquement adaptés aux demandes [Mev 98]. Mais les ingénieurs ne disposent pas d'outil d'aide au suivi, voir d'anticipation, sur ces aspects. C'est pourquoi il est indispensable de mettre à disposition des indicateurs fiables permettant de quantifier a priori les coûts et délais résultant d'une conception ou d'une innovation sur un produit à un moment quelconque du cycle de vie. De tels indicateurs intègrent conjointement des points de vue techniques et économiques tout au long du cycle de vie produit. A l'heure actuelle de tels indicateurs soit n'existent pas, soit ne donnent pas une perception complète de la situation ou bien ils manquent de fiabilité [Lay 02]. C'est ce constat qui fait émerger des projets de recherche associant les acteurs de la conception au sens large et des sciences de gestion pour répondre à des demandes industrielles comme pour le projet METACOG (METhodologie d'Aide à la Conception pour un Coût Objectif Global) [Mev 01], qui avait pour objectif de définir ces indicateurs en unifiant les compétences et points de vue complémentaires des partenaires (RENAULT, LAMIH (équipe Système de Production) et le LRSG (Laboratoire de Recherche en Sciences de Gestion de l'université de Nantes)) [Soe 01].

c. Maîtrise de la valeur – Maîtrise des coûts

Les notions de coûts ou de valeur (d'un produit ou d'un service, voire d'une connaissance) ont fortement évolué avec le contexte industriel [Bod 98]. Aujourd'hui, le prix de vente dépend du prix que le client est prêt à payer en fonction des facteurs de valeur qu'il apprécie (le prix de vente est guidé par le marché). Ces facteurs de valeurs sont difficilement appréciables et quantifiables, le client faisant une synthèse inconsciente d'un nombre important de paramètres (liés au côté subjectif et sensoriel du client). Petiot et Yannou cherchent à capturer et comprendre ces paramètres pour pouvoir les formaliser et les intégrer dans les spécifications des produits ou systèmes [Pet 04a et 04-b] [Yan 02a et 04].

La conséquence du prix fixé par le marché pour les industriels est directe sur la marge qui devient alors un résultat :

$$\text{Marge} = \text{Prix de vente} - \text{Coût}$$

et non plus une variable commerciale résultat d'un choix. Ainsi, la marge et le prix de vente doivent être des objectifs pour la conduite du projet : ils permettent de déterminer un coût objectif. Brodier fait aussi remarquer que la notion de rentabilité est, elle aussi, dépassée, car souvent estimée par le rapport :

$$\text{Rentabilité} = \text{Marge} / \text{Prix de vente}$$

Or, des pièges se cachent derrière cette simple logique. D'une part, le concept de coût complet (ou coût global[82]) est beaucoup plus vaste que le coût d'un produit : il faut intégrer tout le cycle de vie produit comme présenté sur la Figure 55. D'autre part, il est aberrant de comparer une marge au prix de vente [Bro 90].

Pour relativiser le coût objectif par rapport au coût global, on peut indiquer que :

- le coût objectif se limite au prix de la fourniture (acquisition par le client dans le cycle de vie produit) et peut se traduire par des coûts objectifs de développement ou de production,
- le coût global prend en compte le prix de la fourniture et les coûts engendrés par la possession et la fin de vie comme le montre la Figure 55.

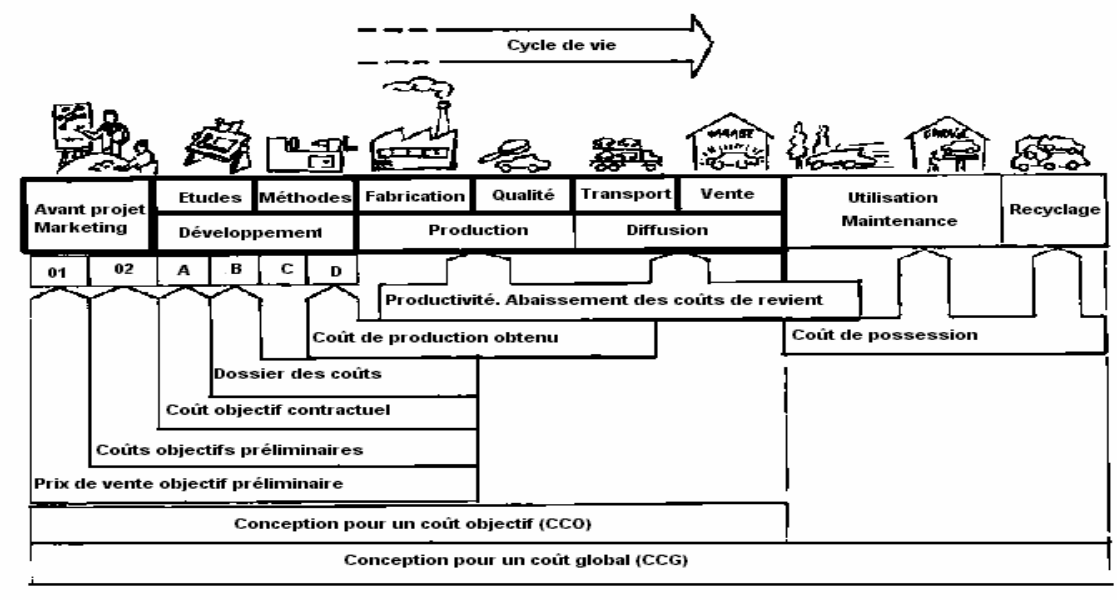


Figure 55 : Composantes à intégrer dans l'évaluation d'un coût global

Selon Perrin les indicateurs portant sur les coûts sont à classer principalement parmi les indicateurs de résultats [Per 96]. Les deux critères considérés sont d'un côté le coût du produit et de l'autre le respect du budget.

Le respect du coût du produit est notamment mis en avant dans le cadre du développement des méthodes de Target Costing (gestion par coût-cible) et ABC (Activity Based Costing) que nous détaillerons plus loin en plus du Design to Cost (conception à coût objectif) et du Throughput Accounting. L'idée est de fixer un coût cible comme objectif auquel on doit faire correspondre le coût de revient du produit. L'indicateur alors utilisé est le rapport entre le coût de revient effectif du produit et le coût objectif.

Le respect des budgets, en particulier des budgets d'études, est le second élément à prendre en compte au niveau financier. L'indicateur est alors naturellement le rapport du montant du dépassement de budget sur le budget initialement fixé.

[82] La norme NF X50-150 définit le coût global comme " la somme des dépenses sur l'ensemble de la vie d'un produit pour un usage donné ".

Il importe donc de développer ou bien d'utiliser au mieux, les approches qui nous sont fournies par les sciences de gestion, tout au long du cycle de vie du produit pour maîtriser et piloter en conséquence les prises de décisions. Je vais rapidement présenter ces différentes approches.

3.4.1.2. Les approches de maîtrise des coûts

a. Méthodes d'estimation des coûts et cycle de vie produit

Les méthodes sont de trois types :

- ***Méthode analogique*** ou comparative : elle procède par comparaison avec des projets passés et dérivent le coût estimé du nouveau produit du coût du produit existant par évaluation différentielle. Ces méthodes sont a priori bien adaptées aux cas de modifications incrémentales associé à des variétés de projet limitées. Ces approches sont utilisées en phase amont ou pour évaluer les coûts de fonctions d'usage et de fin de vie. C'est une approche macroscopique de l'évaluation économique.

  Cependant, elle laisse une certaine place à la subjectivité de l'analyste. De plus, elle suppose des comparaisons valables. Or, en raison de l'évolution rapide des techniques, il faut comparer à des projets récents. Mais, la diversité des projets fait qu'il peut être difficile de trouver des réalisations voisines. Enfin, elle implique que les logiques de développement et de production soient les mêmes ou bien que l'on puisse en apprécier les différences. Or cette méthode est utilisée tôt dans le cycle de conception et développement du produit à un niveau peu avancé des études.

  Pour autant, la méthode analogique fournit avec rapidité et à faible coût des résultats intéressants et fiables si elle est appliquée avec rigueur. Elle permet aussi des études rapides de sensibilité, en jouant sur les coefficients d'analogie, et peut donc servir d'entrée pour des comparaisons de principes de solutions étudiées dans le cadre d'analyses de la valeur.

- ***Méthode paramétrique*** : elle établit une corrélation statistique entre le coût du produit futur et des paramètres physiques simples (descripteurs techniques) pour évaluer le coût estimé du nouveau produit à partir d'une prévision portant sur ce paramètre physique [Jha 96]. Cette méthode peut être concrétisée par des barèmes, des formules d'estimation de coût (FEC) ou bien des modèles technico-économiques issus d'analyse statistique de base de cas. Elles s'appliquent d'autant mieux que le produit est simple et elles peuvent être utilisées dans les phases amont du développement au niveau des spécifications fonctionnelles (chaque fonction pouvant être affectée d'une évaluation économique). La méthode paramétrique s'inscrit sur de nombreuses phases du cycle de vie produit, puisqu'elle détaille à un niveau mésoscopique[83] les coûts par paramètres, jusqu'à ce qu'elle passe le relais à des méthodes microscopiques qui décortiqueront dans les détails les coûts ainsi que les opérations élémentaires permettant d'élaborer le produit.

  Le modèle paramétrique est constitué d'un ensemble d'équations reliant entre elles les variables causales ou descripteurs. La pertinence de ces dernières résulte de l'analyse de l'expérience. Elle présuppose la fiabilité des données sur lesquelles elles reposent et une description suffisamment précise du produit futur et des procédés de fabrication (type de technologie, complexité, etc.) [Edw 95].

[83] L'échelle mésoscopique est une échelle intermédiaire entre l'échelle microscopique, qui caractérise les atomes ou les molécules élémentaires, et l'échelle macroscopique de notre monde quotidien.

La précision des évaluations est de quelques pourcent à court et moyen terme s'il n'y a pas de ruptures technologiques ou d'innovations majeures qui ne peuvent être gérées. Une période de capitalisation suffisante est nécessaire pour obtenir un historique suffisamment conséquent afin de mettre en place une nouvelle base de données reflétant la réalité des coûts générés.

- ***Méthode analytique*** : elle se fonde sur une analyse technique précise du produit et du processus permettant de dégager des éléments de coût par chiffrage des temps unitaires puis par valorisation de ces quantités aux taux horaires ou coefficients d'approvisionnements. Le détail des activités du processus doit alors être connu préalablement et renseigné au niveau microscopique. Dans sa forme la plus élaborée, elle consiste à décomposer chaque activité en tâches élémentaires dont le coût est connu et figure dans une liste de coûts standards.

  Ces méthodes sont indispensables pour mettre en œuvre des méthodes de contrôle et de pilotage des coûts (analyse de la valeur, coût objectif…). Un point de départ simple de la méthode analytique est la phase d'industrialisation où le produit est conçu et son procédé de réalisation connu.

Remarques :

- Il est à noter que quelle que soit la méthode, il faut aborder la constitution d'une banque de données de coûts fiables et donc capitaliser intelligemment les projets passés et les structures d'entreprise tout en les maintenant de manière fiable face à la réalité actuelle de l'entreprise.
- De plus, les approches font la part belle à l'évaluation de la production, mais, négligent l'intégration des aspects amont et la valorisation fine des phases d'étude et de développement qui pèsent de plus en plus lourdement sur des durées de vie et des quantités de produits réduites.

En pratique, toutes ces méthodes sont étroitement imbriquées et utilisées à des niveaux différents. Comme pour le développement de produit, les phases de chiffrage ne sont pas cloisonnées, mais il y a lieu d'avoir des transitions et échanges de données avec parfois des retours en arrière.

En conclusion, il faut garder présent à l'esprit que :

- l'estimation sert à la prise de décision soit dans l'absolu (faire ou ne pas faire) soit dans le relatif (arbitrer entre plusieurs solutions concurrentes),
- le choix d'une méthode dépend de la position dans le cycle de développement et de la précision recherchée au niveau souhaité. Il ne faut pas non plus oublier la quantité de travail qu'elle représente elle-même et donc son propre coût.

Comme nous l'avons déjà souligné, il est manifeste que les informations disponibles seront en relation étroite avec l'état d'élaboration du projet donc des phases successives de sa vie. Il est tout aussi évident que l'emploi d'une méthode doit être adapté à la nature des informations disponibles en qualité et quantité selon le degré de détail dont on peut disposer au calcul.

	Etudes → de faisabilité	**Etudes → de conception**	**Développement →**	**Industrialisation puis production**
(Dénomination aéronautique)	(Phases 01-02)	(Phases A, B)	(Phases C)	(Phases D)
Définition du projet	**Par fonction** ↓ (Structure hiérarchisée des fonctions) (FAST)	**Par produit** ↓ (Structure du produit) (Organigramme technique) (OT)	**Par tâche** ↓ (Structure hiérarchisée des travaux) (SHT)	
Approche des coûts	Méthodes analogiques (Ordre de grandeur)	Méthodes paramétriques	Méthodes analytiques	
Quantification des risques	Utilisation de pourcentage	Moments des distributions	Simulation	

Tableau 6 : Phases d'un projet et choix d'une méthode de chiffrage en aéronautique [Pet 91]

Basé sur des analyses de l'industrie spatiale (CNES) et sur la volonté d'associer analyse de la valeur et évaluation économique, Petitdemange propose une mise en perspective des méthodes et des phases du cycle de vie produit (ou projet de conception collaborative) présentée sur le Tableau 6 [Pet 91]. Cette proposition ciblée sur le domaine aéronautique, reste pertinente en ce qui concerne les liens entre les étapes du cycle de vie et les objets de définition du projet ainsi que sur les qualifications de risques. Il est à noter que l'utilisation des méthodes, au regard des phases du cycle de vie produit, dépend largement du domaine d'activité et du produit. En effet, la complexité du produit ajouté à la durée du processus de conception et de fabrication, font que d'un domaine ou d'un produit à l'autre les méthodes se concurrencent.

Ainsi Farineau propose-t-il un découpage légèrement différent dans son analyse du domaine de l'industrie automobile présentée dans le Tableau 7 (notamment en doublant les possibilités analogiques ou paramétriques en phase d'étude ainsi qu'en étendant aux phases de vie du produit) [Far 01].

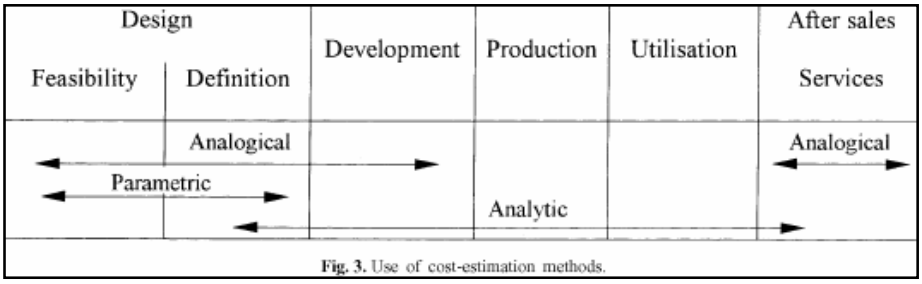


Tableau 7 : Méthode d'évaluation au long du cycle de vie produit dans l'industrie automobile [Far 01]

Brinke complète ce positionnement en affectant les méthodes au regard des fonctions de conception, d'industrialisation et de fabrication [Bri 02 - 04]. Il propose alors, en complément des méthodes par fonction, les inducteurs de coûts et les paramètres de coûts à renseigner (résumé dans le Tableau 8).

	Product development cycle				
Engineer	designer		process planner		production planner
Task	conceptual design	embodiment design	macro process planning	micro process planning	shop floor planning
Results	concepts	geometry	suitable processes	suitable resources	resources
Cost models	conceptual model	embodiment model	macro model	micro model	micro model
Method	variant based	variant based	ABC and/or variant based	ABC and/or variant based	ABC and/or variant based
Accuracy	conceptual accuracy	embodiment accuracy	macro accuracy ABC and/or micro accuracy variant based	micro accuracy ABC and/or micro accuracy variant based	micro accuracy ABC and/or micro accuracy variant based
Cost actuators	concepts	geometry, material	material, processes	resources	resources
Cost Parameters	concept characteristics	dimensions, tolerances	process characteristics	production times, resource rates, overhead rates	production times, resource rates, overhead rates

Tableau 8 : Méthode d'évaluation et fonction d'entreprise [Bri 02]

b. Méthodes analytiques de maîtrise des coûts en conception

Dans la partie suivante, nous allons rapidement présenter la philosophie des méthodes d'évaluation économique utilisées en conception et production. Toutes relèvent du cadre de méthodes de management des coûts pour contrôler la conception par la performance et les objectifs de coûts.

Conception à coût objectif ou Design-To-Cost : née dans les années 60 aux états unis, dans la lignée des approches d'analyse de la valeur, la *Conception à Coût Objectif* (CCO) est le pendant français du *Design To Cost* (DTC). C'est une méthode permettant de concevoir un produit en imposant dès le départ un coût plafond [Del 91] [Dea 91] [Wes 03]. Dean propose de définir le Design-to-Cost comme : *« Design-to-cost is a method of controlling costs by establishing cost goals at specified levels of a work breakdown structure and then requiring the project to make trades which will ensure that the system built will meet those cost goals. In design-to-cost, the cost goals are added to the existing requirement set to form an augmented requirement set »* [Dea 90]. Cette proposition est reprise en partie par Petitdemange qui définit la conception à coût objectif comme *« un principe d'action visant à établir des objectifs rigoureux dès le stade de développement d'un système et à autoriser des compromis coût/performance pour permettre le respect de ces objectifs »* [Pet 91]. La contrainte « coût » devient capitale et au même niveau que les performances techniques au cours de l'étude d'un produit nouveau [Mic 89]. Il est à noter que le coût objectif souhaité devient alors la contrainte et que les grandeurs variables sont les performances techniques [Gia 03] [Whi 88].

Le standard F-X-50-150[84] définit la conception à coût objectif comme une méthode de gestion de projet basée sur :

- l'assignement d'un coût plafond prédéterminé et fixé indépendamment des solutions techniques,
- des procédures spécifiques et règles d'arbitrage définies en début de projet,
- l'identification et la description des exigences clients dans un format ouvert et négociable.

Target Costing: le Target Costing s'applique dans le cadre de l'évaluation des coûts de production en mode Juste à Temps. La cible du coût est définie en prenant en compte le niveau et les conditions du marché. L'objectif résulte de l'écart entre le prix de vente (supposé garantir un certain volume de production) et la marge souhaitée [Lor 94]. Le Target Costing vise le niveau des coûts atteints en phase de maturité du cycle de production du produit [Ans 97] [Coo 97].

Cette démarche rompt avec les approches traditionnelles puisqu'elle est tournée vers le marché, mais reste principalement limitée par son absence d'intégration des coûts d'étude, de développement et de vie et fin de vie de produit [Gau 00].

ABC[85]**/ABM**[86] **:** les méthodes basées sur les activités ont été développées dans les années 90. Le principe de la méthode consiste à allouer à chaque activité un coût par activité à l'objet qui induit l'activité [Mev 94] [Rav 98]. La notion d'activité et de processus, sous tendue par les approches de qualité ISO 9000 V2000 ou par des approches de modélisation d'entreprise pour améliorer leur performances, fournissent alors des bases d'informations riches pour supporter une partie de ces démarches [Avo 97] [And 99].

Ainsi cette approche a deux objectifs : d'une part de fournir des informations détaillées qui décrivent les coûts et consommations appartenant aux activités de l'organisation objet de l'ABC, d'autre part, de fournir des informations précises pour améliorer les prises de décisions (objet de l'ABM) [Che 03] [Lor 91].

Throughput accounting : il est traduit par la comptabilité de la production maximale. C'est un système de comptabilité de gestion qui relève plus du management. Il met l'accent sur l'augmentation du rendement des secteurs de l'entreprise dont le ralentissement freine, limite ou paralyse son activité générale [Hil 04]. Il est basé sur l'idée que les contraintes principales des organisations ne sont souvent pas physiques mais politiques. Elle applique des approches automatiques issues de la théorie des contraintes et de systèmes à propagation de contraintes Cette approche analyse trois mesures de performances opérationnelles qui sont les flux de production, le stock et les frais d'exploitation. L'objectif est donc de maximiser les flux de production tout en réduisant les deux autres grandeurs. Cette approche se réfère à la comptabilité analytique et est présentée comme l'opposé des approches ABC [Che 03]. Hilmola indique que cette méthode permet de donner des indicateurs pour aider à décider ce que doit être la composition du portefeuille de produit, ce qu'il faut produire et à quel prix, ou bien ce qui doit être externalisé [Hil 01]. Chew illustre d'une part comment utiliser cette méthode pour choisir opérationnellement entre faire ou acheter un produit, d'autre part que ces méthodes s'appliquent à l'aide en conception routinière. Enfin, cette approche, selon Hilmola, peut s'appliquer à l'évaluation de processus dans le cadre d'alternatives sur des nouveaux produits [Hil 04].

---

[84] Devenu en 1996 NF EN 1325-1 : Vocabulaire du Management par la Valeur, de l'Analyse de la Valeur et de l'Analyse Fonctionnelle

[85] ABC : Activity Based Costing

[86] ABM : Activity Based Management

Rush et Roy complètent la proposition de Petitdemanche ou de Farineau (Tableau 6 et 3) en positionnant les différents outils ou méthodes en fonction du cycle de vie produit (voir la synthèse sur le Tableau 9) [Rus 00].

	Tools and processes					**Cost Management**			
Used when:	Parametric Estimation (PE)	Neural Network (NN)	Cased-Based Reasoning (CBR)	Activity-Based Costing (ABC)	Detailed Cost Estimation	Value Analysis (VA)[87]	Value Engineering (VE)[88]	Design-To-Cost (DTC)	Target Costing (TC)
Concept design phase (innovation)	✓	**X**	✓	**X**	**X**	**X**	✓	**X**	**X**
Concept design (similar products)	✓	✓	✓	**X**	**X**	**X**	✓	**X**	✓
Feasibility studies	✓	✓	✓	**X**	**X**	**X**	✓	**X**	✓
Project definition	✓	✓	✓	**X**	**X**	**X**	✓	✓	✓
Full scale development	**X**	**X**	**X**	✓	✓	✓	**X**	✓	✓
Production	**X**	**X**	**X**	✓	✓	✓	**X**	✓	✓

✓: used and applicable X: not used or non applicable

Tableau 9 : Proposition de méthodes et outils sur le cycle de conception production de produits [Rus 00]

3.4.1.3. Analyse des équipes et laboratoires contribuant à ce thème

Les approches d'évaluation et de suivi des coûts ont longtemps été le pré carré des experts de sciences de gestion avec une approche structurée par la comptabilité analytique. Comme nous l'avons vu, les évolutions d'environnement industriel et de besoins en évaluation économique poussent à coupler les approches d'analyse de cycle de vie produit et d'évaluation économique. Les évolutions des structures d'entreprises (et leur place dans les nouvelles constellations d'entreprises) ainsi que des structures industrielles (déplacées vers un monde d'ingénierie et non de production) ont rendu caducs les outils existants.

Il en résulte une nécessaire intégration et convergence de ces deux domaines de compétences et d'expertises. Il faut donc dépasser la complexité de faire communiquer deux mondes distincts et réduire l'écart culturel issu de deux domaines parfois en concurrence dans l'univers de l'entreprise.

Comme je l'ai fait pour les différents aspects de l'intégration des connaissances, en analysant de manière non exhaustive les laboratoires contribuant à ce thème, je vais rapidement passer au crible les équipes, qui relèvent des sciences pour l'ingénieur, dont une des préoccupations est l'évaluation technico-économique pour l'ingénieur afin, principalement, de délimiter la communauté française travaillant dans ce domaine, avec qui nous avons eu, pour certains, des contacts avancés.

[87] Value analysis : méthode d'analyse fonctionnelle qui consiste à améliorer la qualité à coût constant ou à diminuer les coûts pour service au consommateur équivalent en se fondant sur une analyse détaillée des fonctions remplies par le produit. Il vise donc à obtenir le meilleur rapport possible entre la satisfaction des besoins des clients et le coût de fabrication du produit.

[88] Value Engineering : méthode précise et planifiée visant à déterminer la façon la plus économique de fabriquer un produit, en tenant compte de tous les éléments qui peuvent intervenir dans le coût de ce produit. La locution « *value engineering* » s'applique à la conception d'un produit tandis que « *value analysis* » concerne le produit existant.

En remarque préliminaire, on peut dire que toutes les thématiques de recherche qui visent à améliorer la performance, qu'elle soit sur le produit, sur le processus ou sur les méthodologies d'obtention du produit, ont un regard très attentif sur le coût (souvent comme un simple résultat dont le modèle de calcul est encore à affiner) puisqu'il conditionne l'acceptation par le marché ou les industriels des solutions apportées. D'autre part, l'intégration des connaissances, comme nous l'avons vu précédemment, vise à aider les utilisateurs dans leurs tâches quotidiennes et dans les recherches de réponses et d'expertises. L'évaluation économique rentre exactement dans ce cadre pour l'ingénieur de conception ou de production, tout comme pour le cadre en charge de gestion de projet d'entreprises.

Parmi les domaines liés à l'évaluation économique, on distinguera :

1. **L'évaluation économique en production et gestion de projet**. Ces approches sont transverses dans des domaines d'application variés puisque l'on va étudier des systèmes de production de biens ou de services, mais aussi les actions d'amélioration de ces systèmes. Ces analyses se font à la fois sur les niveaux opérationnels, tactiques ou stratégiques et mettent largement en jeu des approches de modélisation d'entreprise ou de processus d'entreprise pour supporter les analyses.

   Sur ces thèmes, les sujets liés à la gestion de production ou de projet sont souvent abordés par des équipes des sciences de gestion que je ne présenterai pas faute d'expertise. Notons que V. Giard (**LAMSADE**[89] – Dauphine) a largement œuvré dans cette thématique en faisant le lien entre les sciences de gestion et la conception [Gia 00a et 00-b], la production [Gia 93a et 88] et la gestion de projet [Gia 93b et 91]. Il aborde entre autre les aspects d'intégration des services dans les produits et les impacts sur les structures et les coûts d'entreprise [Gia 05]. Ceci définit partiellement la chaîne de valeur de l'entreprise qui est un thème partagé avec P. Mévellec (**LEM**[90] **– IAE Nantes**), axe pilotage des processus et pratiques organisationnelles). Il s'intéresse plus, quant à lui, à l'impact du fonctionnement des organisations sur les outils de pilotage d'une part et sur les systèmes d'information et de communication d'autre part ainsi que le lien conception et l'évaluation économique [Mev 00 - 98 et 94].

   Je ne citerai que le **LAAS**[91] et le groupe Microsystèmes et Intégration des systèmes (D. Esteve) qui travaille sur les aspects de modélisation pour l'aide à la conduite des projets de conception. La thèse de M. Yacoub « *Conception des systèmes : calculs technico-économiques et aide à la décision dans la conduite d'un projet "recherche"* » [Yac 04a 04-b] fait le lien entre les aspects des besoins d'ingénieurs et les approches d'analyse de projets.

2. **L'évaluation économique en ingénierie** est le pendant des approches de gestion des connaissances dédiées à un métier spécifique, ce qui explique que l'on retrouve à ce niveau de nombreuses équipes déjà présentées au § 3.3.3.3.

- **LGIPM** - Ingénierie de Fabrication (P. Martin, J.Y. Dantan, A. Siadat) : traite de conception et fabrication intégrées de produits mécaniques par formalisation et traitement des connaissances pour l'intégration produit / process [Mar 03].
  Approches par key-characteristics – entité coûts, système à base de cas, algorithmes génétiques et systèmes de propagations de contraintes pour :

[89] http://www.lamsade.dauphine.fr/

[90] http://www.iemniae.univ-nantes.fr/

[91] http://www2.laas.fr/laas/1-4289-Groupe-MIS.php

Thèse Etienne sur l'optimisation automatique de produit, et Thibault sur la conception intégrée dans le domaine de la forge,
Thèse H'Mida sur l'estimation des coûts [H'Mid 02] [Thi 04] [D.2006.2][D.2006.3],
La qualification de moyens de production et la gestion des risques [Bas 04].
Le projet ICAMS a déjà été évoqué au chapitre précédent. Il augmente les possibilités d'estimation des coûts pour des pièces mécaniques en intégrant des technologies d'intelligence artificielle (raisonnement à partir de cas) et l'utilisation d'approche entité coût.

- **LAMIH** - Système de production (O. Sénéchal, C. Tahon[92]) : regarde les méthodes de conception et l'évaluation des performances des systèmes complexes de production [Sen 04].
  Projet METACOG [@Met] : méthode d'aide à la conception innovante pour un coût objectif global d'un véhicule automobile,
  Thèse Tomala : Proposition de modèles et méthodes pour l'aide à l'évaluation de la performance globale d'une innovation dès sa conception [Tom 02 - 03a - 03b - 04],
  Thèse Sénéchal : Proposition d'une méthodologie pour l'aide à l'estimation des performances physico-économiques des systèmes de production dans une approche concourante [Den 02] [Sen 96 - 97 - 98] [Rav 98].

- **LGI** - Centrale Paris (B. Yannou) : thème instrumentation et méthodologies de préconception et les relations entre la valeur, les indicateurs, l'évaluation et la décision. Les approches d'analyse de la valeur et de chaîne de valeur servent de support à l'évaluation en conception [Yan 02b].
  Thèse M. Elhamdi : Modélisation et simulation de chaînes de valeurs en entreprise : une approche dynamique des systèmes et aide à la décision : SimulValor [Elh 05].

- **LGIL** - Centrale Lille (J.P. Bourey, M. Bigand) dans le thème évaluation en conception au travers de la thèse de Wignacourt sur la caractérisation - mesure et évaluation des avantages techniques, économiques et financiers des éco-matériaux.

- **INPL** - Équipe de Recherche sur les Processus Innovatifs (V. Boly[93]) : mesure la performance des processus innovants pour évaluer au plus tôt la pertinence des objets issus du processus d'innovation tout en couplant une démarche de capitalisation des connaissances [Mor 03] [Bol 02].

- **G-SCOP** - Pôle Conception Intégrée (S. Tichkiewitch, D. Brissaud) : intégration des évaluations économiques dans les méthodologies de conception, évaluation de la qualité de produits au moment du choix des procédés de fabrication [Dra 98 et 00] ainsi que de la valeur générée [Lon 02].

- **LAPS** - opération scientifique Productique (J.P. Bourrières, B. Vallespir, C. Merle, G. Doumeingts) : modélisation technico-économique des systèmes de production et mise en place d'indicateurs de performances technico-économiques définis par rapport aux objectifs poursuivis et les moyens d'action du décideur (méthode ECOGRAI). Les approches

[92] http://www.univ-valenciennes.fr/LAMIH/
[93] http://www.ensgsi.inpl-nancy.fr/fr/recherche/Default.htm

économiques sont généralisées pour être intégrées dans la méthode GRAI [Val 93] [Dup 99] [Duc 05].

- **IRCCyN** - IVGI (N. Perry, A. Bernard) : intégration de modèles de coûts sur le cycle de vie produit pour le pilotage de la performance industrielle [A.2006.1] [C.2005.2] [C.2003.1].
  Thèse Delplace : L'ingénierie numérique pour l'amélioration des processus décisionnels et opérationnels en fonderie [Del 04] [A.2007.8] [A.2003.2] [C.2004.1] .
  Thèse Mauchand : Intégration de la dimension économique pour l'analyse de performance en industrialisation [A.2006.4] [C.2006.2] [D.2006.2] [D.2006.3].

Concernant les échanges au niveau international que j'ai eus sur ces sujets, pour son dynamisme et son importance, je commencerai par l'**Université de Cranfield** au sein du Decision Engineering Centre. Le thème Cost Engineering dirigé par Rajkumar Roy vise à capturer les connaissances nécessaires au développement d'environnements d'aide au déploiement d'approches d'évaluation économique pour l'ingénieur, et ceci de manière indépendante du domaine [Roy 00] [Rus 00 - 01a et 01b]. Dans le cadre du projet Virtual Cost Engineering Studio [@VCES], ils ont développé une plate-forme qui guide le choix de méthode et aide à son déploiement en fonction de la phase dans d'avancement du produit et des informations disponibles [Gia 03a et b]. Notre collaboration avec R. Roy est régulière depuis 2002 et se traduit par des invitations dans les sessions de conférence qu'il organise [D.2005.4] [D.2005.5] [C.2003.1] et des éditions thématiques spéciales de journaux qu'il édite [A.2007.8] [A.2006.4][94].

Le professeur M.F. Ashby à **Cambridge**, au Engineering Design Center[95], propose une évaluation automatique des coûts de production en fonction du choix de processus de fabrication en collaboration avec Esawi qui a travaillé sur la sélection automatique de procédé de fabrication [Esa 99 - 00 et 03]. Ainsi, tout en proposant une aide au choix de matériaux, il fait le lien sur l'impact économique (et environnemental) de ce choix.

Au niveau international je citerai **Politechnico di Bari** (M. Dassisti) travaillant sur les systèmes d'information et l'intégration des connaissances technico-économiques dans la gestion des données produit [Dass 00] [Dass 98] avec qui nous collaborons dans le cadre d'Interop. Cette collaboration a donné lieu à la proposition d'un master commun. Le sujet traite de la relation entre les approches de processus, la démarche qualité et son utilisation pour supporter un déploiement de maîtrise économique par la méthode ABC.

Enfin, j'évoquerai les aspects de fin de vie de produit et de gestion dynamique des alternatives de processus, abordés à **l'EPFL** sous la direction de Paul Xirouchakis au sein du Laboratoire des outils informatiques pour la conception et la production, qui aborde la modélisation de produits et l'intégration des contraintes orientées fabrication, assemblage, recyclage et leur évaluation économique [Xir 98 - 99 et 02] [Kri 98].

3.4.1.4. Conclusion

Pour conclure cette partie, rappelons que l'outillage pour l'ingénieur, en évaluation économique, est pauvre bien que :

---

[94] Nous avons amorcé une relation d'échange d'étudiants en envoyant une élève de troisième année de l'Ecole Centrale de Nantes (D. Castillo) pour effectuer son travail de fin d'étude en 2006.
[95] http://www-edc.eng.cam.ac.uk/

- 60 à 80 % des coûts soient figés en phase de conception,
- le coût devient une variable de conception et non plus une conséquence,
- l'évaluation des coûts de productions est le plus avancé des aspects d'évaluation économique,
- les approches analytiques (basées sur les activités ou la chaîne de valeur) sont lourdes et longues à mettre en œuvre.

Les approches d'évaluation économique se trouvent au croisement d'intégrations de connaissances non formatées pour des utilisations par les ingénieurs, parfois insuffisantes pour appréhender les problèmes et surtout dont l'intégration dépend très fortement du domaine d'application souhaitée.

De plus, si de nombreuses approches valorisent les phases de production, les aspects vie et fin de vie commencent à le devenir au travers des approches de coût global. Cependant, les phases amont de recherche et développement restent difficiles à intégrer dans cette évaluation. Or, comme nous l'avons vu, les phases amont du cycle de vie deviennent prépondérantes en terme de choix sur la vie du produit (et ses processus de production, maintenance et recyclage) ainsi qu'en terme d'importance par rapport à la durée de vie du produit (augmentation des cycles de développement de produits de plus en plus complexes pour des temps de mise à disposition sur le marché de plus en plus courts).

3.4.2. APPORTS RELATIFS A L'EVALUATION ECONOMIQUE EN CONCEPTION

Comme nous venons de le voir, l'ingénieur de conception, que ce soit de produit ou de système industriel, se trouve relativement démuni pour mesurer et évaluer les alternatives techniques du point de vue de la valeur de la solution et de son coût. A ceci s'ajoute la difficulté de valoriser, sur l'ensemble sur cycle de vie, les activités qui supportent la conception, la vie et la fin de vie du produit.

C'est avec beaucoup d'humilité face à l'étendu du travail à mener que nous nous sommes fixé comme objectifs de :

- Développer des outils d'évaluation économique intégrés aux environnements d'ingénierie, basés sur le développement conjoint du produit et de son processus pour :
  - mesurer l'impact des décisions techniques,
  - rendre le paramètre coût pilotant et non plus résultat de la décision ; la solution sera alors technico-économiquement maîtrisée ou résultat d'une négociation contrôlé entre les aspects techniques ou économiques.
- Faire évoluer l'évaluation économique vers l'évaluation de la valeur du produit. Le lien produit / processus implique d'évaluer la chaîne de valeur qui porte la concrétisation du produit sur tout son cycle de vie.

Ainsi, nous avons circoncis notre périmètre d'étude au domaine de la production qui est plus facilement appréhendable, même s'il néglige toute la partie cognitive nécessaires dans les phases d'étude et de conception (devenue prépondérante sur les produits modernes).

3.4.2.1. Résumé des apports d'intégration du facteur économique en ingénierie

Comme je l'ai fait pour la partie concernant l'intégration des connaissances, je vais commencer par un résumé/conclusions des différents travaux.

La première étape consiste à proposer une structure d'intégration des inducteurs de coûts dans une démarche de développement de produit et de sons processus. Le développement d'un environnement numérique supportant les processus d'industrialisation de pièces de fonderie sable a donné lieu à l'expérimentation de cette approche (thèse Delplace 2004). Ceci a permis de valider des structures d'échanges de données techniques et économiques pour fournir des moyens de pilotages stratégiques, tactiques et opérationnels. Suite à quoi nous avons voulu nous intéresser à la complémentarité des méthodes d'évaluation économique, tout au long du cycle de vie de produit. L'objectif étant de fournir une plateforme d'évaluation économique, et des modèles qui se complètent et s'enrichissent au cours du développement du produit et de son processus. L'uniformisation des différentes approches d'évaluation (analogique, paramétrique et analytique) permet alors de rendre la donnée liée au coût comme une variable de conception et non plus le fruit des choix techniques. Cette uniformisation des approches d'évaluation économique sur le cycle de vie produit a été initiée dans le domaine des microélectroniques où s'ajoute une dimension liée au produit analysé (depuis la micro-puce au système électronique complet) (Master Hongyang 2005 et début de thèse de Mauchand 2007). Or l'analyse des besoins d'évaluation, par les ingénieurs, fait ressortir que la notion de valeur peut englober la notion de coûts, et, peut proposer un cadre d'évaluation plus riche. C'est vers cette voie que nous orientons pour proposer un environnement de modélisation et de simulation de la valeur du produit ou de la chaîne de valeur de son processus. Les alternatives de solutions peuvent être évaluées et comparées, pour retenir le scénario le plus pertinent. Cette ré-orientation fait l'objet du travail de thèse de Mauchand qui n'a pu continuer sa collaboration dans le domaine de la microélectronique, suite au dépôt de bilan de la société avec qui la thèse CIFRE était commencée.

- **PILOTAGE ECONOMIQUE EN FONDERIE** (Thèse J.C. Delplace [Del 04])

Le principal objectif est de fournir un environnement numérique qui permette, sur la base des processus réellement mis en œuvre pour concevoir et produire des pièces de fonderie sable, de mesurer l'impact des prises de commandes (quantité et coût / prix) sur le compte de résultat de l'entreprise. Dans un second temps, les choix des paramètres techniques évalués en phase de devis, deviennent les paramètres pilotant du processus de production. On propose ainsi un outil d'aide à la décision multi-niveaux, permettant une analyse orientée bénéfice / capacité pour répondre à la question « prendre ou abandonner » une demande ou un produit.

Ce travail a ainsi apporté :

1. La définition d'un environnement numérique par une approche d'évaluation basée sur les activités du métier de l'ingénieur fondeur, au travers de l'expression des processus, des inducteurs de coûts et des paramètres pilotant des processus et des coûts :
   - échange d'informations automatiques entre le devis, la conception des outillages et le processus de réalisation,
   - pilotage du processus par les paramètres fixés au moment de l'acceptation du marché associé aux boucles de mesure pour alimenter dynamiquement les inducteurs de coûts,
   - déploiement en production de la maquette numérique pour faciliter l'automatisation des tâches de contrôle ou de découpe.
2. Une assistance à l'évaluation multi-niveau :
   - opérationnel : le technicien devis connaît l'impact d'une prise de commande, et le niveau de contribution de son portefeuille client,

- tactique : le responsable de production et l'équipe développement des pièces (technicien devis) assurent la compatibilité charges ressources et famille des pièces contributives,
- stratégique : le PDG compare l'agrégation des informations sur la production à capacité définie et les compare avec son point d'équilibre financier, ses objectifs de production et de croissance.

Cette thèse a permis d'introduire des méthodes et des solutions qui on réduit de 6 semaines à 2 semaines les temps de mise à disposition de préséries bonne matière. De plus, les capacités de production ont été augmentées de 6800 à 8500T en automatisant les postes goulets. Il en résulte une réduction automatique des coûts horaires de production et donc des coûts des pièces à l'unité.

Ainsi, il a été possible de définir un système d'information intégrant les outils métier fondeurs, enrichis des interfaces et des échanges d'information avec les devis : l'articulation se fait autour de l'expression des processus. Ces outils ont naturellement trouvé leur place dans le processus de réalisation des pièces, et ce à différents niveaux d'agrégation d'informations.

Cependant, cette approche reste focalisée sur l'évaluation et la valorisation en production. Les phases d'études, de recherche et développement d'outillages ne sont pas encore proprement valorisés.

- **INTEGRATION EN MICRO ELECTRONIQUE** (début Thèse M. Mauchand)

Ce travail a eu pour objectif de regrouper, dans un même logiciel, divers outils de costing ou pricing du domaine de la microélectronique. Des outils existants ont été développés indépendamment avec des cibles produit différents (de la puce électronique, à la carte puis au boîtier complet), et en utilisant des méthodes d'évaluations différentes (paramétrique ou analytique). On a ainsi cherché à fournir, dans un même environnement, les possibilités d'études qui balayent toutes les étapes de construction d'un ensemble électronique (l'exemple type est le téléphone portable). Il importe donc d'intégrer les modèles et méthodes d'évaluation des 3 solutions existantes.

Initié en même temps que la thèse d'Ammar-Khodja, ce travail a apporté :

1. La confrontation et la validation d'une démarche de formalisation de savoirs et règles métiers et méthodes d'évaluation encapsulés dans des logiciels :
   - reverse développement de logiciel : extraction de concepts, règles depuis le code (concepts utilisés mal documentés, pas justifiés, …),
   - spécification inverse des fonctionnalités et des processus de traitements,
   - recherche de cohérence et complétude des éléments manipulés (concepts, règles, limites, contraintes, etc…) : ontologie du domaine et des logiciels.
2. Construction d'un méta modèle commun et des règles d'évaluation :
   - identification des objets clés par type d'analyse, ainsi que des éléments et processus de transition d'un mode d'analyse à l'autre,
   - alignement des modèles, concepts et règles de calcul et d'évaluation (dépendance temporelle des évaluations),
   - proposition d'inducteurs de coûts propres à la microélectronique ainsi que des règles d'agrégation de données.

Ce travail n'a pu se poursuivre jusqu'à son terme, la CIFRE avec la société SystemPlus a été arrêté suite au dépôt de bilan de la société. Cependant, on peut proposer, comme conclusions intermédiaires, que, du point de vu de l'évaluation économique, il ressort que la simple information du coût n'est plus suffisante pour proposer au client un produit en adéquation avec ses attentes. La notion de valeur, incluant entre autre le coût ou le prix, est plus riche et plus forte pour évaluer les produits (et leur processus de production) au regard des attentes des clients et des acteurs de sa réalisation.

- **EVALUATION DE LA VALEUR POUR L'ANALYSE DE LA PERFORMANCE INDUSTRIELLE** (Thèse M.Mauchand)

Afin d'évaluer la performance industriel, nous allons chercher à simuler la chaîne de valeur des processus mis en oeuvre. Dans un premier temps, nous allons nous concentre sur la définition du concept de valeur et des éléments qui sont évaluables en fonction des parties prenantes. D'autre part, notre simulation se concentrera sur les phases de développement et production du produit, écartant délibérément, la vie et fin de vie du produit.

L'objectif et d'assister la conception de systèmes de production en simulant des les chaînes de valeur des alternatives chaque et en les comparant. Ainsi des indicateurs coûts / valeurs / résultats techniques permettrons de prendre des décisions en faisant arbitrant en conscience sur l'ensemble des paramètres possibles.

Actuellement ce travail a proposé, sur la base d'un modèle cohérent avec l'approche FBS-PPRE de Labrousse :

1. Un modèle de valeur intégrant coûts / délais / qualité / service / compétences en fonction des différentes parties prenantes (client, fournisseur, concepteur, fabricant).
    - les inducteurs de données tangibles ont été intégrés,
    - les facteurs d'agrégation des concepts composant la valeur finale restent paramétrables,
    - les compétences sont intégrées au modèle et rentrent dans l'évaluation de la valeur.
2. La définition de la chaîne de valeur conduit directement à une évaluation économique du processus industriel :
    - les règles d'agrégation de données et de calcul issues de l'étude SystemPlus ont été implémentées,
    - la simulation de chaîne de valeur est intégrée dans un environnement d'ingénierie (Aréna© sert de base de simulation),
    - les indicateurs de performance sont construits en même temps que le processus.

Ce travail est la première étape de l'élaboration d'un environnement permettant de cibler des objectifs de valeurs (client, fournisseur, entreprise…) intégrés dans la démarche de conception de produit ou de processus. Bien que circoncis au processus de production, les limites de ce simulateur vont à terme s'élargir au cycle complet de vie du produit (valeur d'usage et de fin de vie), puis à des aspects moins tangibles (valeur affective ou d'estime).

Après ce tour rapide, voici chaque point détaillé plus avant.

3.4.2.2. Processus pilotée par le devis en fonderie

Le travail de thèse de Jean-Charles Delplace[96], déjà présenté au §3.3.2.5.c (p.146), a apporté la preuve de l'efficacité d'intégration informationnelle par une approche d'« ingénierie numérique intégrée » dans le métier de la fonderie. Ainsi, une méthodologie de conception pièce-outillage a été intégrée dans un système de CAO du commerce, avec une approche produit-process.

La représentation des processus de l'entreprise et l'extraction des inducteurs de coûts en production ont également permis de mettre en place un modèle d'évaluation des coûts. Ce dernier sert à la fois pour l'entreprise d'outil d'analyse de la performance stratégique, tactique et opérationnelle comme nous allons le présenter ici rapidement.

Je ne reviens pas sur le contexte industriel déjà évoqué au §3.3.2.5.c. Concernant le contexte économique, l'entreprise SMC Colombier Fontaine, à la fin des années 90, subit, comme la fonderie française en général, l'impact de l'émergence des pays de l'Est ou d'Asie. En effet, il faut faire face à leur concurrence qui s'appuie sur des règles différentes en matière de législations fiscales, sociales et environnementales. L'arrivée de ces nouveaux entrants diminue le nombre et la rentabilité des nouvelles affaires, modifiant ainsi l'équilibre financier des entreprises qui sont vouées à une mort certaine sans réactions radicales. Sans solution miracle, pour rester compétitive il faut attirer de nouveaux clients en diminuant ses coûts de revient, en maîtrisant les risques liés aux procédés et en développant des facteurs de différentiations (qualité, innovation, réactivité, etc.).

La Figure 56 fait l'état du portefeuille d'affaire de la société en 1999 et projette pour 2003 l'impact des prises de marchés des pays émergeants. Il ressort que les produits non contributifs (zone rouge et orange à gauche) vont devenir encore plus déficitaires et que le nombre de pièces bénéficiaires (zone verte au milieu) vont se réduire. De plus les pièces très fortement bénéficiaires (zone bleu à droite) vont réduire très fortement (en nombre et en contribution). L'une des raisons de cette érosion est la persistance dans le portefeuille d'affaire de séries historiques dont les prix et les coûts n'ont pas été réévalués et dont il est difficile de se séparer.

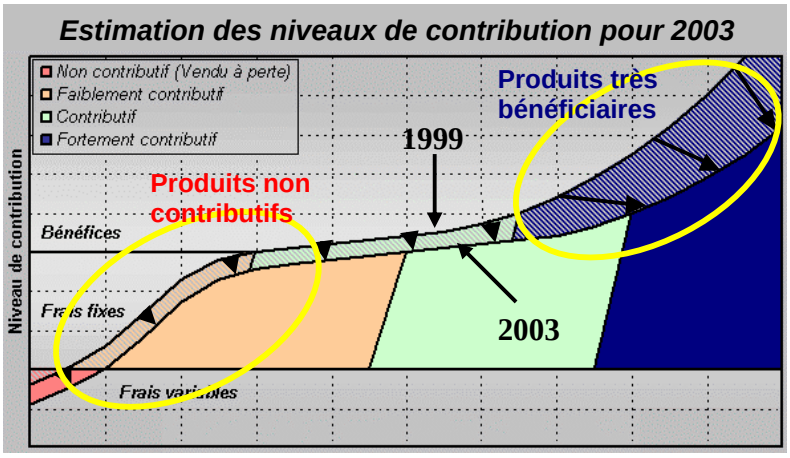


Figure 56 : Analyse du portefeuille d'affaires en 1999 et prévisions pour 2003

La démarche proposée pour maîtriser les risques économiques à l'acceptation d'une nouvelle série de pièces dans la production est basée sur l'analyse des contributions de chaque nouvelle

[96] [Del 04]L'Ingénierie numérique pour l'amélioration des processus décisionnels et opérationnels en fonderie

proposition sur le chiffre d'affaires ainsi que sur l'impact logistique en évaluant la charge ainsi générée.

En fonction du résultat des contributions, la prise de décision de prendre ou ne pas prendre cette offre peut être faite en conscience (Figure 57). Il est à noter que refuser systématiquement des affaires qui ne seraient pas contributives va réduire le nombre d'heures travaillées dans le système de production et donc augmenter directement le coût horaire, sans compter qu'il importe d'assurer une variété de production suffisante pour équilibrer le cycle de refroidissement des pièces coulées sur la ligne automatique (temps inhérent au volume coulé et donc pour maintenir la cadence, il importe d'avoir au milieu de pièces relativement massives des pièces de volume plus réduit).

D'autre part, cette analyse des familles de pièces contributives ou non, permet d'envisager une stratégie de non renouvellement de séries ou de réévaluation des prix proposés.

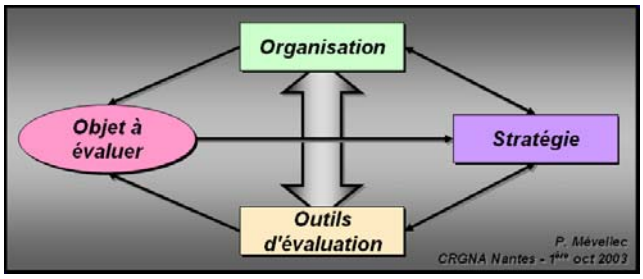


Figure 57 : Stratégie d'évaluation des contributions de chaque produit fabriqué

a. Détermination des courbes de contribution de produits

Pour résumer la méthode, il faut déterminer un coût horaire contributif du système de production (en fonction du processus et des cibles stratégiques de l'entreprise) et déterminer le coût horaire résultant des pièces à réaliser (dépendant de la gamme opératoire proposée et de la charge de système de production). En comparant ces deux valeurs, il est possible d'avoir une évaluation de la contribution ou non de la série dont on envisage la production.

i. Méthode de la marge sur coûts variables

Cette approche est basée sur la comparaison entre, d'un coté, la marge sur les frais variables calculée à partir du budget, et de l'autre, la marge sur les coûts variables calculée à partir du prix de vente du nouveau produit. Le budget permet de déterminer le chiffre d'affaires, les charges fixes et variables, et le résultat d'exploitation. On peut alors déterminer le pourcentage de marge sur les coûts variables moyen réalisé par les produits constituant l'encours.

%Marge sur coûts variables = (Chiffre d'affaires – Frais variables) / Chiffre d'affaires

Sous les hypothèses que les frais fixes sont fixes quel que soit le chiffre d'affaires et que les frais variables sont proportionnels au chiffre d'affaires, il est possible de représenter le résultat brut d'exploitation (REB) en fonction du chiffre d'affaires comme présenté sur la Figure 58 gauche. Il est alors possible de visualiser rapidement le résultat prévisionnel correspondant à un chiffre d'affaires donné, à pourcentage de frais variables constant et de déterminer le point d'équilibre financier.

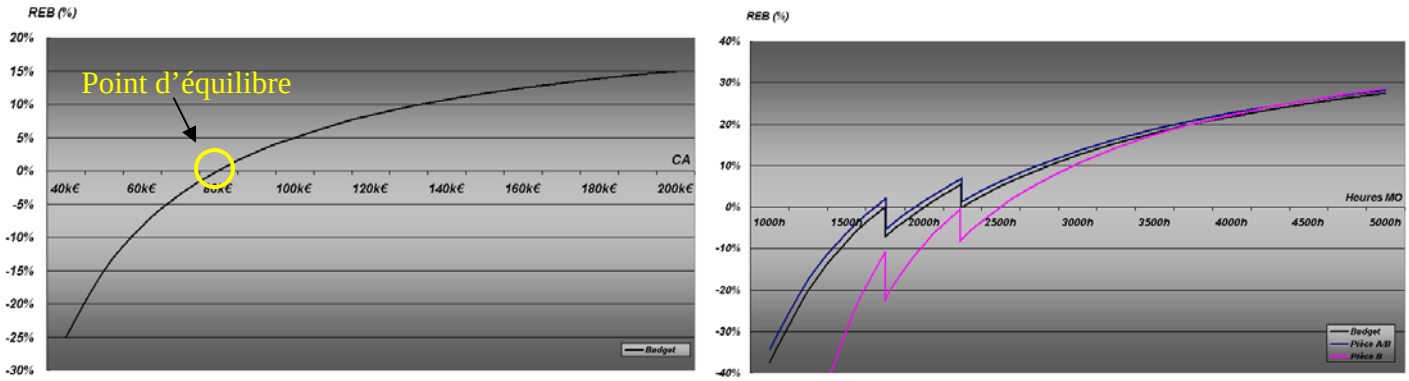


Figure 58 : Résultat Brut d'exploitation en fonction du chiffre d'affaires à charge fixe (à gauche) et en fonction de nombre d'heures de main d'œuvre à charge constante (à droite)

Cependant, cette méthode ne permet pas d'évaluer la charge de travail résultante qui s'exprime dans le contexte de la fonderie en heure de main d'œuvre.

ii. Marge contributive par heure de main d'œuvre

Cette méthode d'évaluation macroscopique donne un résultat d'exploitation à charge constante prenant ainsi en compte les limites de capacité de la production. Cette méthode permet d'évaluer le résultat d'exploitation à partir du calcul de la marge contributive par heure de main d'œuvre. Il s'agit de définir une différence de résultat basée sur la mesure de l'écart de contribution par heure de main d'œuvre entre le budget et le nouveau produit. L'indicateur de référence est la marge contributive par heure de main d'œuvre.

Dans cette méthode, les coûts de main d'œuvre sont considérés comme des frais fixes. Cette approche permet de s'affranchir de la budgétisation des heures de main d'œuvre et fiabilise le fonctionnement même en cas de variations importantes des charges. De plus, les coûts de main d'œuvre varient généralement par paliers qui ne sont pas directement proportionnels au chiffre d'affaires. Ainsi on peut déterminer :

Contribution = Chiffre d'affaire – Frais fixes
CA/hMO = Chiffre d'affaires / heures Main d'œuvre

Pour en déduire la marge contributive par heure de main d'oeuvre :

Marge Ctb/hMO = Contribution / heures Main d'Oeuvre

La Figure 58 à droite représente donc cette courbe de pilotage et le point d'équilibre en fonction des heures de main d'œuvre et présente les sauts de paliers consécutifs à des variations de capacité du système de production (courbe référence en noir). Cette figure montre aussi deux propositions théoriques de pièces A et A/B et leur rentabilité potentielle dans une entreprise à capacités limitées (les données de ces études de cas sont disponibles dans [Del 04]).

Ainsi, on peut définir le volume de production nécessaire pour rentabiliser l'introduction d'un produit peu contributif (qui diminuerait le résultat d'exploitation à volume de production constant). Ce système permet donc d'identifier le volume à réaliser et la structure à mettre en place pour rentabiliser l'introduction d'un produit moins contributif que la moyenne. L'évaluation qui en est faite permet de visualiser l'influence des produits sur l'évolution du résultat d'exploitation. Dans une entreprise comme SMC, cet outil est donc utilisé pour contrôler le renouvellement de l'encours plutôt que l'influence d'un produit isolé.

Il ne reste plus qu'à définir proprement les coûts directs et le temps de main d'œuvre nécessaire à la réalisation d'une famille de pièces pour calculer la marge contributive par heure de main d'œuvre en fonction du prix de vente estimé. A l'inverse, il définit le prix de vente qui respecterait la rentabilité définie par le budget.

b. Calcul du devis des pièces

La définition numérique basée sur la structure du produit et de son processus de fabrication a permis l'établissement d'un système de devis en interconnexion avec la conception du produit et les choix de paramètres opératoires du système de production comme présenté en Figure 59 (cadence, mise au mille, nombre de pièce par grappe, post traitement, accessoires dans le moule…).

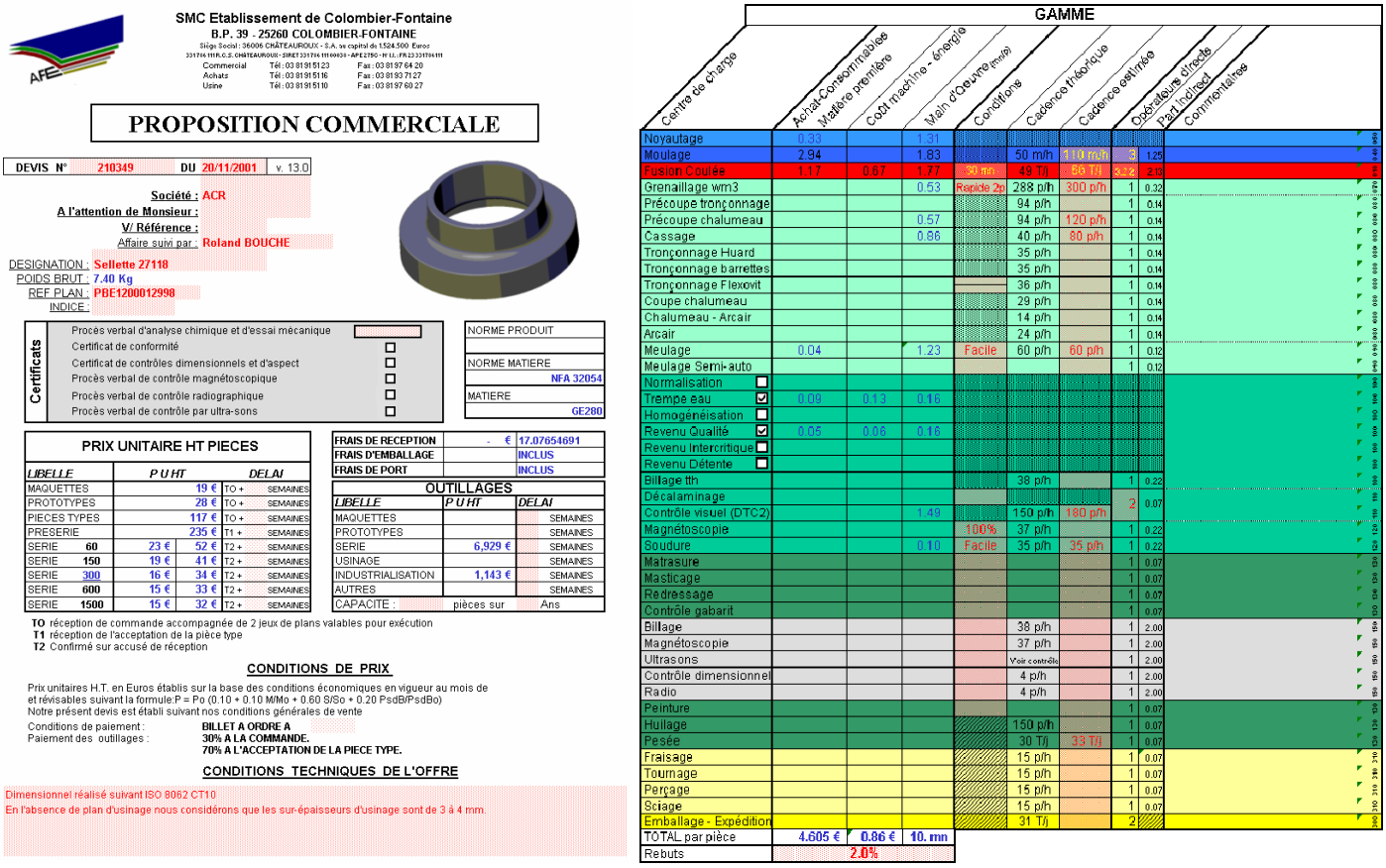


Figure 59 : Devis, structure et interface avec la CAO

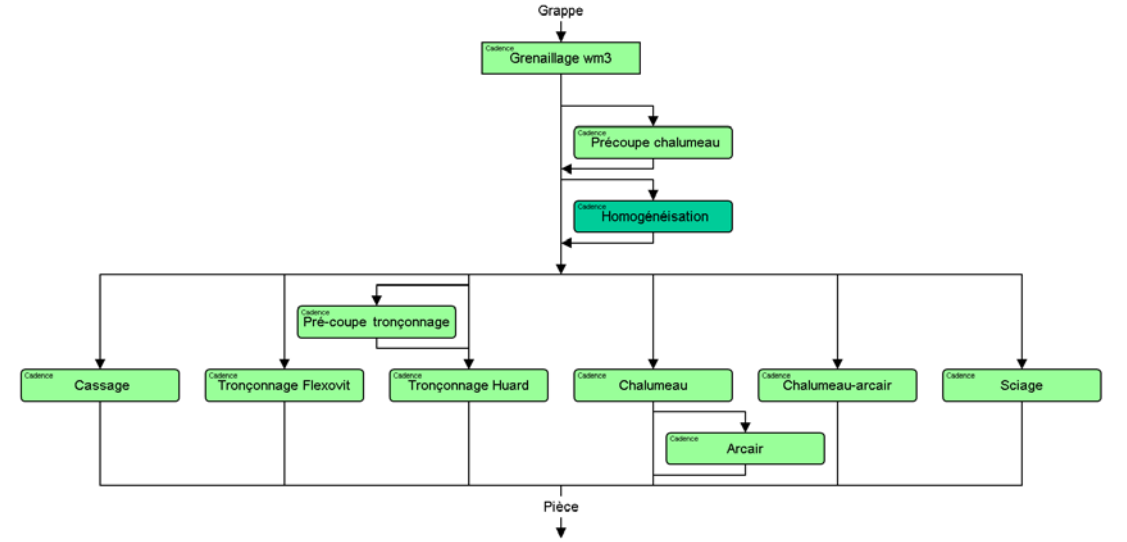
Chaque étape du processus de production (noyautage, moulage, coulée, dégrappage, contrôle et post-traitement, …) est détaillée au cours de la phase de négociation avec le client (la Figure 60 présente le modèle et l'interface de saisie du parachèvement). Ce système repose sur une modélisation de l'ensemble des informations nécessaires pour la définition des processus de fabrication, en accord avec les besoins d'interfaçage du système de gestion de production (Figure 60).

En interconnexion avec le système CAO, la saisie des informations définissant le processus de fabrication est dynamique. Elle permet à son utilisateur de faire varier différents paramètres en identifiant instantanément le résultat de la modification sur la rentabilité du produit. Cette

approche aide le technicien à déterminer les conditions techniques qui permettent de répondre à l'appel d'offre. La gamme peut ainsi être construite en accord avec les exigences du client tout en laissant des paramètres variables pour rentrer dans la cible.

Ce devis est à la fois structurant dans la démarche de cotation de la pièce (il présente l'ensemble des étapes et des variables à renseigner) et ressort une indication de pilotage sur l'impact des prises de commandes (pour le technicien) sur la capacité de production (pour le chef de chantier de coulée) ou le chiffre d'affaires de l'entreprise (pour le PDG).

Cette application devient à la fois outil et indicateur pour la prise de décision.



GAMME

Centre de charge	Achat-Consommable Matière première	Coût machine - énergie	Main d'Oeuvre (mn/p)	Conditions	Cadence théorique	Cadence estimée	Opérateurs directs	Part Indirect	Commentaires
Grenaillage wm3			0.53	Rapide 2p	288 p/h	300 p/h	1	0.32	
Précoupe tronçonnage					94 p/h		1	0.14	
Précoupe chalumeau			0.57		94 p/h	120 p/h	1	0.14	
Cassage			0.86		40 p/h	80 p/h	1	0.14	
Tronçonnage Huard					35 p/h		1	0.14	
Tronçonnage barrettes					35 p/h		1	0.14	
Tronçonnage Flexovit					36 p/h		1	0.14	
Coupe chalumeau					29 p/h		1	0.14	
Chalumeau - Arcair					14 p/h		1	0.14	
Arcair					24 p/h		1	0.14	

Figure 60 : Modèle du processus de parachèvement et Interface de saisie "grenaillage et dégrappage"

c. Conclusion

Nous ne sommes pas revenus sur le déploiement technique des solutions d'ingénierie numérique pour accélérer le développement de produit et réduire leurs coûts, mais la remise à plat de la structure d'information du côté étude et du côté devis, en cohérence a permis de disposer d'interfaces simples, reflétant le métier du fondeur tout en intégrant des modèles d'évaluation de rentabilité économique des pièces. Le devis devient un outil de pilotage de tout le processus industriel.

La mise à disposition de tels outils permet d'assurer un pilotage à tous les niveaux de l'entreprise :

- stratégique : agrégeant les contributions de commandes pour assurer un niveau de production souhaité et un chiffre d'affaires visé et analysant le portefeuille de produits pour sélectionner ceux à abandonner
- tactique : anticipant sur l'impact de nouvelle production et les risques de sur ou de sous capacités de production,
- opérationnel : le technicien devis peut suivre son propre impact sur le chiffre d'affaires de l'entreprise et paramétrer le processus de production pour accorder des réductions de prix, au regard de son portefeuille de commandes en cours pour accepter une commande tout en garantissant un niveau suffisant de contribution des autres produits.

Les objectifs sont de maintenir un pilotage qui garantisse la réussite des objectifs financiers fixés et non pas de courir à la recherche systématique des seuls produits bénéficiaires. La suite de cette démonstration de l'utilisation des outils d'ingénierie numérique a donné lieu à un déploiement sur l'ensemble des unités du groupe AFE Métal et la proposition au niveau national d'un projet Performance pour le domaine de la fonderie.

Cependant, quelles que soient les bonnes propositions de ce travail, la partie coût d'étude et de développement n'est pas valorisée dans la structure du devis proposé, ce qui montre encore la marge de progression pour intégrer complètement l'ensemble des coûts sur l'ensemble des étapes du produit sur un procédé qui reste relativement simple et stable.

Les principaux apports de ce travail sont :

- la mise en relief des inducteurs de coûts par analyse des processus de l'entreprise,
- la consolidation dans un environnement unique mais utilisable à plusieurs niveaux de l'entreprise,
- la proposition d'un modèle d'évaluation des contributions de produits prenant en charge l'impact sur les capacités de productions,
- l'enrichissement de la démarche d'industrialisation de pièces avec au plus tôt les informations d'évaluation d'impact économique de la pièce et le suivi des modifications du processus sur cet impact.

Cette approche a largement été présentée et approfondie dans [Del 04] [A.2007.8] [C.2004.1] [D.2005.6] [D.2004.1] [D.2004.2] [D.2003.2] [D.2003.4].

3.4.2.3. Modèles génériques de coûts en fonderie

Dans le cadre du DEA de Magali Mauchand, nous nous sommes intéressés au niveau de généricité possible des modèles de coûts proposés dans le cadre de la fonderie sable de pièces acier du travail de Delplace. En effet, dans l'objectif de fournir automatiquement une information coût au concepteur, nous nous sommes orientés vers l'enrichissement de features de conception en partenariat avec la société Cognition Europe et le logiciel Cost Advantage (estimateur de coûts sur la base de règles et de connaissances métier).

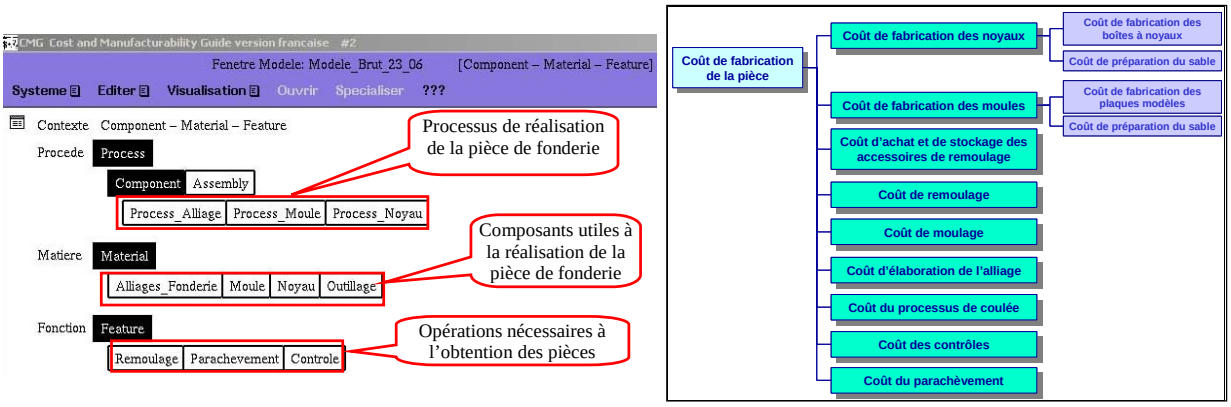


Figure 61 : Maille Procédé –Matière – Entité du logiciel et structure de valorisation du coût en fonderie

Cette approche par entité coût allie le couple produit processus et les notions de composants, d'assemblage et de matériaux. Ainsi la maille de modélisation Procédé – Matériaux – Entité conduit à modéliser l'ensemble du processus au travers des d'assemblages d'éléments qui tracent la dynamique d'évolution des entités et de leur utilisation. Il est apparu nécessaire d'avoir un langage ou un formalisme de représentation capable de proposer ces différents aspects. Une des conclusions a donc été d'utiliser, à l'avenir, un formalisme UML pour nous aider à manipuler les différents aspects de la représentation de structure et de logiques des logiciels.

Après avoir identifié une méta-représentation de fonderie sable, nous avons essayé de transposer ces modèles en fonderie dans les domaines de la micro-électronique (réalisation de galettes de silicium pour la fabrication de wafer) (Figure 62).

Cette migration directe des concepts et modèles d'un métier à l'autre a pu se faire au niveau des représentations des processus et entités liés à la production. Par contre, les éléments liés aux modèles d'évaluation économique ont été in-transposables. En effet, en fonderie sable, la pièce fondue est produite quasi finie, alors qu'il n'est que matière première en micro-électronique. Cependant ces recherches ont identifié des concepts manquants dans les approches de modélisation des coûts du côté fonderie sable.

Ce travail nous a permis d'amorcer une démarche d'analyse, d'extraction et de représentation systématique pour la compréhension d'une application logicielle d'évaluation économique : des modèles de processus, des modèles d'entités et de maille de représentation, des modèles de coûts ou d'agrégation des coûts inhérents au fonctionnement de l'outil, etc.

D'autre part, l'ensemble des concepts ainsi manipulés a fait émerger la nécessiter de bien définir l'ensemble des termes et des règles à appliquer. Ainsi la notion de taux horaire de machine qui est une information figée dans le cas de la fonderie sable devient une variable dépendante de la

date sur un même lieu géographique dans le cas de la micro-électronique . En effet, les sauts technologiques sont courants et rapprochés et à six mois d'intervalles les technologies à la pointe deviennent désuètes. Une logique identique s'applique pour la fonderie traditionnelle, mais avec des constantes de temps beaucoup plus grandes.

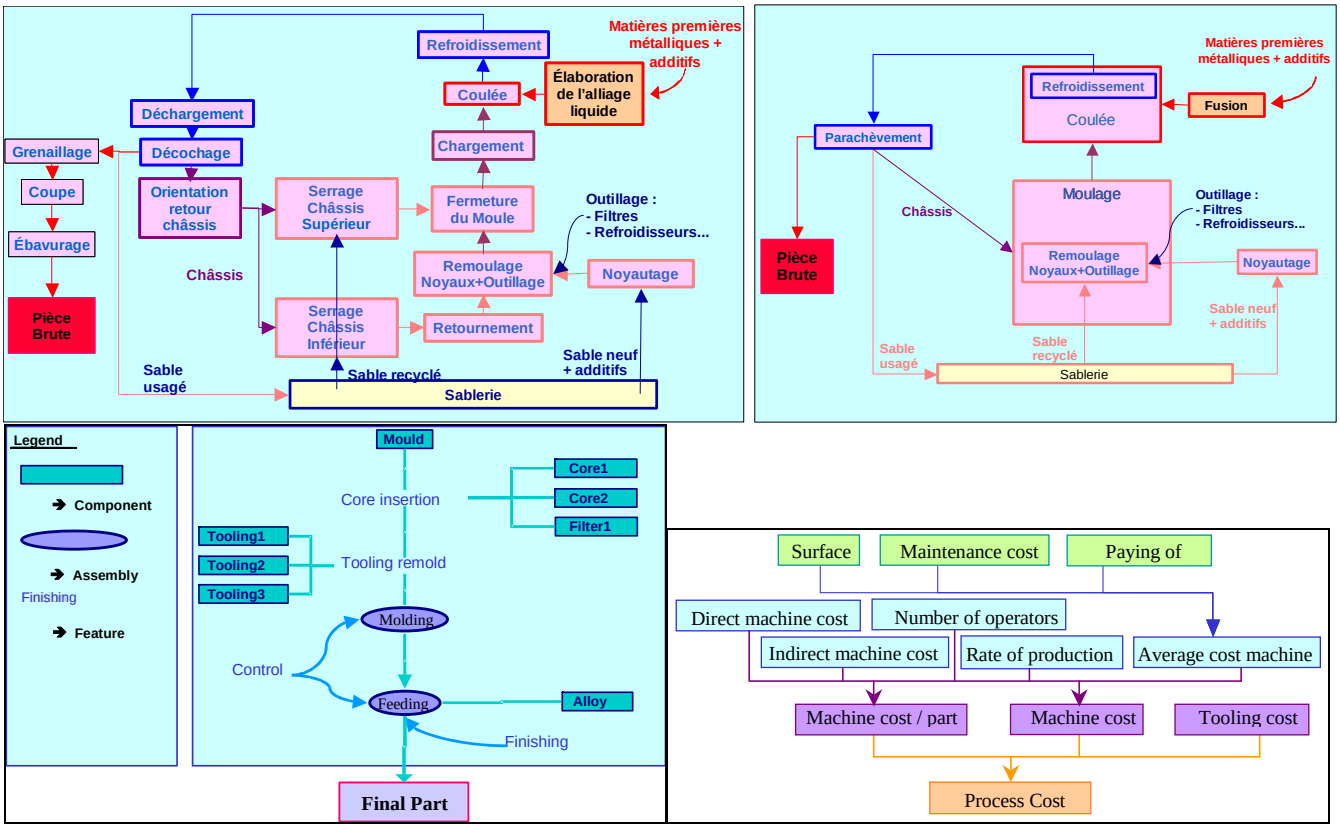


Figure 62 : Modèle de la fonderie sable SMC Colombier fontaine, son méta modèle, son modèle de donné et son modèle d'agrégation des coûts (formalisme arbitraire)

Enfin, nous avons atteint les limites opérationnelles de l'outil Cost Advantage, puisqu'il s'avère incapable d'affecter des taux horaires variables en fonction des dates de lancement pour les modèles de coûts très complexes en micro-électronique. En effet, ils sont affectés par les évolutions rapides des technologies, ainsi, la gestion des dates de fabrication a besoin d'une base de données perpétuellement mise à jour pour par la fluctuation des coûts.

Les principaux apports de ce travail nous permettent de conclure [A.2003.3] :

- Que la recherche d'un modèle générique est chose complexe et peut être utopique :
  - Dans le cas de la fonderie sable, les modèles de coûts de production sont simples (somme des coûts de composants, coûts de main d'œuvre et coûts machines) alors que le processus, lui, est relativement complexe avec des variétés de modifications possibles sur les moules, les pièces ou les matériaux.
  - Dans le cas des composants micro-électroniques, le processus est stable et linéaire, bien que très périodiquement changeant en terme de ressources technologiques pour le

réaliser. En revanche, les modèles de coûts sont très complexes. Ils doivent intégrer les variations liées aux dates de lancements, aux quantités de lots (multiples ou non du nombre de puces capables par wafer) ou même aux lieux de production d'une même usine (cas de multi technologies sur un site de production)…

- La rigueur est indispensable pour suivre et maintenir un niveau de représentation homogène sur l'ensemble des éléments représentés. Ce maintien de la rigueur doit être aidé et facilité par les outils utilisés.
- Les outils de modélisation de coûts (ici Cost Advantage) ne peuvent s'appliquer à tout les domaines. Les efforts de représentation des systèmes complexes se payent par des modèles de consolidations de coûts simples ou simplistes.

Cette démarche, comme nous allons le voir plus loin, va être entièrement reprise et ré-appliquée dans le cadre du travail de thèse de Mauchand. Ce travail, mené en parallèle de ceux de Candlot et Ammar-Khodja fait émerger des nécessités communes de formalisation (UML va s'imposer avec ses formalismes d'entité relation, de diagramme de séquences, de diagrammes d'activités…) mais aussi de représentation des concepts manipulés (réseaux conceptuels) pour définir l'ontologie du domaine étudié et partager ou comparer des concepts fédérateurs.

3.4.2.4. Costing et Pricing en Micro-electronique

Amorcé au cours de son DEA, le travail de thèse de Mauchand a commencé début 2004 dans le cadre d'une thèse CIFRE avec la société SystemPlus. Cette entreprise édite et développe des outils de reverse costing (ou pricing) dédiés à la micro-électronique. Elle dispose de quatre solutions logicielles qui ont été développées indépendamment en réponse à des demandes spécifiques de clients. Toutes quatre s'intéressent à des zooms différents des produits et mettent en œuvre des modèles et des règles de calcul différentes. Cela va de la réalisation du micro composant (puce), à la carte électronique (assemblage de composants) et jusqu'au système complet (clé USB, téléphone portable…).

SystemPlus a lancé depuis peu le développement d'une application qui vise à proposer une offre unique regroupant tous les aspects dans une seule solution logicielle, combinant les niveaux d'analyse et d'évaluation à disposition. Il est envisagé qu'à terme, cette solution offre une réponse indépendante du domaine.

Ainsi les objectifs de ce travail sont d'unifier les éléments développés dans les solutions logicielles existantes. Pour ce faire il est nécessaire :

- d'harmoniser et d'assurer la cohérence des éléments utilisés dans les solutions logicielles (concepts manipulés, caractérisations, règles de calcul, etc.),
- de définir des modèles génériques de coûts pour le domaine associé à un positionnement des méthodes à mettre en œuvre dans les phases de la vie de produits,
- de proposer un modèle de chaîne de valeur d'entreprise, sur la base de la représentation de son processus,
- d'étendre à d'autres domaines d'activités en enrichissant d'une part la chaîne de valeur, d'autre part les modèles de coûts.

La démarche de réalisation a été dans un premier temps de faire une approche de modélisation conceptuelle des coûts (appliquée aux entreprises manufacturières de circuits intégrés et de composants électroniques). A la suite de quoi est proposée une stratégie structurée de mise en déploiement et de transposition de ces modèles dans d'autres domaines d'application.

Il importe alors de bien définir et identifier les liens de ces modèles avec les indicateurs économiques manipulés par les contrôleurs de gestion d'une part, et les responsables de production d'autre part.

Cette démarche commence par une extraction et une formalisation des éléments cachés et non renseignés dans les applications logicielles. Elle s'est faite en utilisant la structuration proposée par Candlot (les quatre premières phases de modélisation).

La première étape a constitué à clairement identifier les domaines d'activité de chaque application et leurs zones de recouvrement pour proposer une analyse des complémentarités et des manques de cohérence pour passer de l'un à l'autre (Figure 63, Tableau 10 et Figure 64). Cette première analyse a permis de proposer un premier niveau de structuration commune (glossaire) ainsi qu'une comparaison des règles de calcul pour l'évaluation.

A titre d'exemple, de la complexité de ces règles, le coût d'une puce enrobée est déterminé par :

$$Cnp = \frac{Cnt + Cp}{Nc * \theta p}$$

avec Cnt = coût net de tranche,

Cp = coût test probe par tranche,

Nc = nombre de candidat par tranche,

θp = Rendement de test sur la tranche (rendement probe) à l'instant considéré.

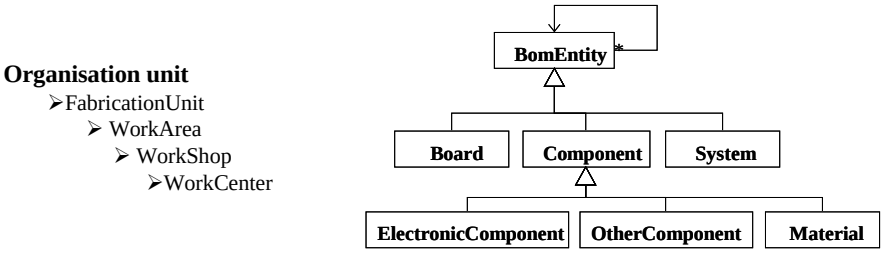


Figure 63 : Typologie d'unité de production et modèle de structure de produits

	Virtual IC Fab	IC Purchaser	Sys Cost	WaCoFo
Domaine d'application	Semi-conducteur	Semi-conducteur	Carte électronique	Semi-conducteur
Méthode d'évaluation	Analytique	Paramétrique	Analytique	Analytique
Echelle du produit	Micro	Micro & Multi	Macro	Micro
Type d'entreprise	Multi produits	Mono produit	Mono produit	Multi produits
Structure des flux	Complexe	Complexe	Linéaire	Complexe

Tableau 10 : Caractéristiques clés des logiciels analysés

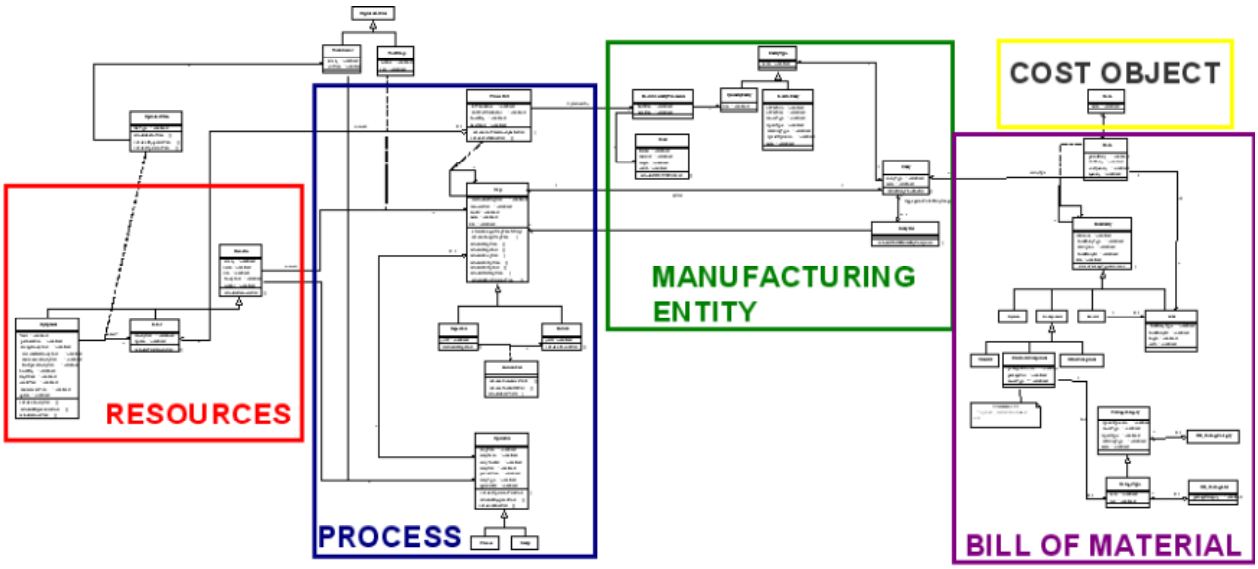


Figure 64 : Exemple de définition d'infrastructure de SysCost

Il en résulte une multiplicité de diagrammes de classes, de règles de calcul, de concepts manipulés, de séquences d'utilisation ainsi que d'hypothèses de modélisation et des calculs. Ces éléments sont passés au crible des axes d'analyse proposés par Candlot pour aider à structurer et à affronter les étapes de justification ou d'intégration des différents modèles. Le Tableau 11 résume les outils utilisés pour les phases correspondantes.

Il est alors possible de commencer à proposer un modèle commun et global que nous avons choisi de systématiquement compléter par des annotations et des explications (règles de calcul, explications des relations ou des d'attributs) en cas de conflit ultérieur ou de justification.

	Phase	Tools
Modélisation	1 Identification	Software applications analysis
	2 Extraction	Scientific community
	3 Structuring	Microsoft Office
	4 Formalisation	UML
Intégration	5 Refinement	Objecteering (UML editor)
	6 Specification	*Not defined*
	7 Diffusion	*Not defined*
	8 Maintenance	*Not defined*

Tableau 11 : Proposition d'outils ou de formalisme par phase d'analyse

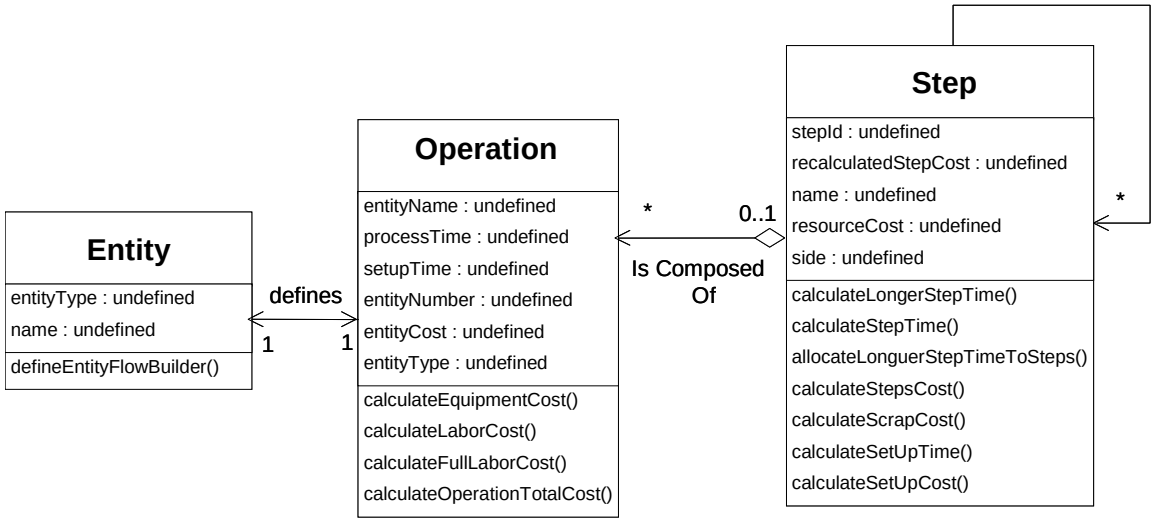


Figure 65 : Enrichissement de la notion d'entité dans SysCost avec les attributs issus de WaCoFo

Malheureusement, cette société ayant déposé le bilan fin 2005, ce travail se poursuit sur fonds propres. Ainsi Magali Mauchand s'est elle ré-orientée vers des aspects beaucoup plus amont dans le cycle de conclusions de ce travail sont :

- L'analyse des processus d'entreprise aide à définir la chaîne de valeur. Cependant, les inducteurs de coûts n'en découlent pas forcément simplement. FBS-PPRE peut aider à supporter la représentation d'une chaîne de valeur unifiée.
- Il faut aider le maintien de la rigueur lors de la représentation du domaine. L'intégration des différents modèles (ici de coûts) ne se fait pas sans itérations et définitions communes de concepts ou règles (de modélisation de processus par exemple).
- Les recouvrements de méthodes (analytiques et paramétriques) posent des problèmes de convergences de résultats.
- Il faut éviter des modèles trop complexes et peu efficaces : les données fiables sont inaccessibles, leur capitalisation est longue à l'inverse des évolutions technologiques.

3.4.2.5. De l'évaluation des coûts à l'évaluation de la valeur

Le travail de Magali Mauchand a évolué. Après avoir détaillé les approches propres à l'évaluation des coûts de production, nous portons nos réflexions sur l'augmentation de l'outillage pour l'ingénieur en phase de conception. En d'autres termes, quels moyens mettre au service du concepteur en conception préliminaire pour évaluer et valider le coût et la valeur d'un produit ? Et ensuite, comment utiliser le retour d'expérience pour enrichir les modèles utilisés ?

Il ressort que l'évaluation de la valeur (concept qui inclut les coûts) est plus pertinente au regard du besoin de chaque partie bénéficiaire (voir Figure 66).

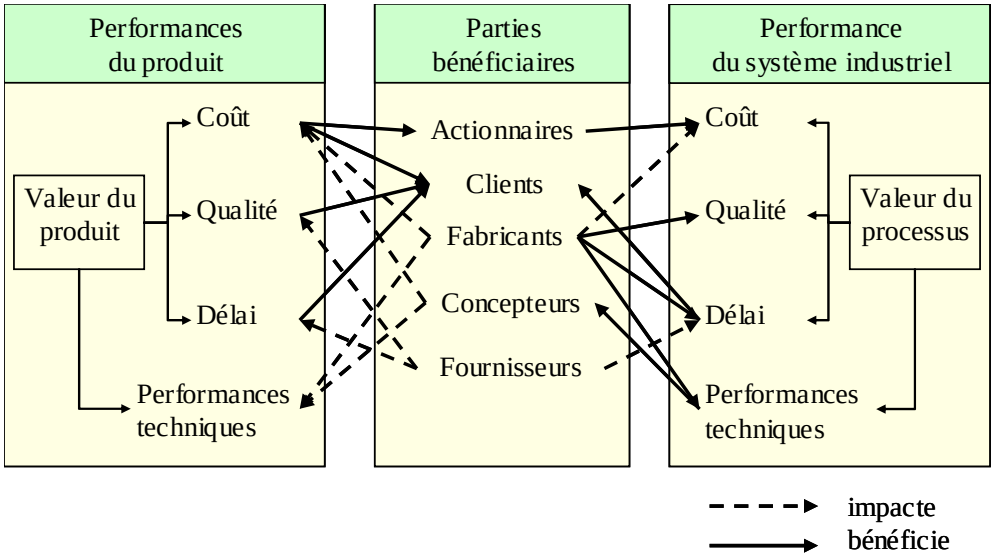


Figure 66 : Intérêt des parties bénéficiaires vis-à-vis de la valeur produite [D.2007.7]

Ainsi ce travail propose une définition étendue du concept de valeur (Figure 67 et Figure 68), de son rôle et de sa place dans la modélisation de chaîne de valeur (Figure 69). Il devient alors possible de modéliser et simuler diverses alternatives de valeurs et chaînes de valeur (qui correspondent à des solutions techniques différentes). Ce travail a choisi de se concentrer sur les phase de développement et production du produit, en écartant délibérément, dans un premier temps, la vie et fin de vie du produit.

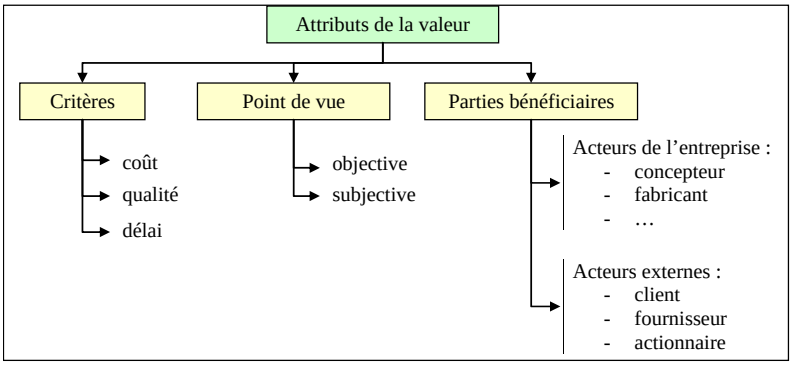


Figure 67 : Attributs de la valeur

Ainsi le cadre de l'étude concernera l'évaluation de grandeurs quantifiables (les aspects flous liés à l'estime ou au perceptif ne sont pas abordés) en s'intéressant au système de production (aux variation de valeur en son sein : chaîne de valeur) plus qu'à la valeur intrinsèque du produit. Des indicateurs de performances sont associés aux activités du processus pour traduire et mesurer les inducteurs d'activités.

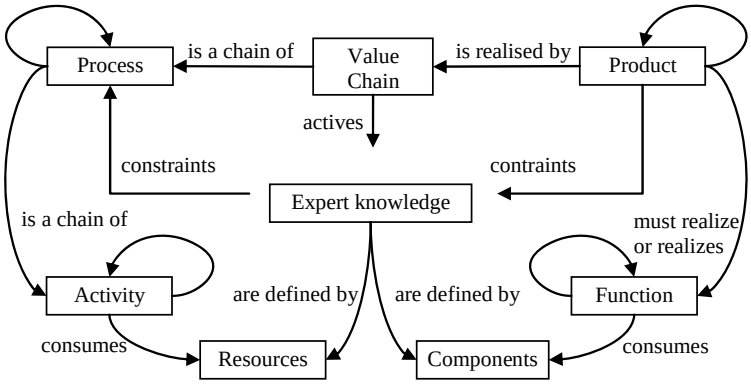


Figure 68 : Proposition de définition de chaîne de valeur [D.2007.6]

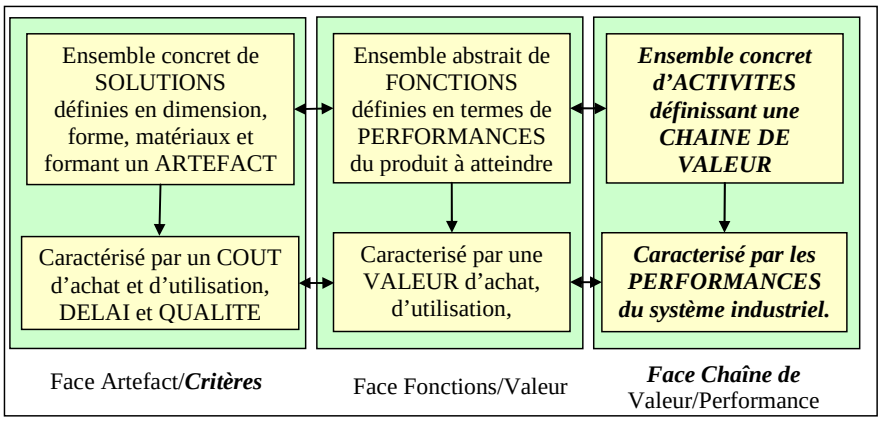


Figure 69 : Les trois faces d'un produit industriel

Couplé à des outils de simulation de processus (Arena© dans ce cas), il devient alors possible de simuler les changement des valeurs à chaque étape du processus et donc d'évaluer au final la chaîne de valeur complète du système industriel modélisé. On peut alors assister la prise de décision en simulant des alternatives de solutions, et comparer les différentes alternatives. Il importe donc de faire une part importante aux relations qu'il y a entre les coûts, la valeur et les risques tout en gardant comme objectif la volonté d'apporter une réponse pertinente au problème de choix de solutions techniques pour le concepteur.

Cette démarche repose sur une approche de modélisation de produit / processus, enrichis de sémantique coût et valeur. Ainsi il importe d'assister les futurs utilisateurs sur l'identification des paramètres pertinents au sens de l'évaluation de la valeur et de la performance économique, qui vont aider aux recherches de compromis technico-économiques.

Ce travail se fait en collaboration avec A. Siadat en reprenant les éléments proposés par H'Mida (entité coûts [H'Mid 02] Figure 70) et progresse vers la définition d'une ontologie commune produit - process - coût enrichi de la notion de valeur.

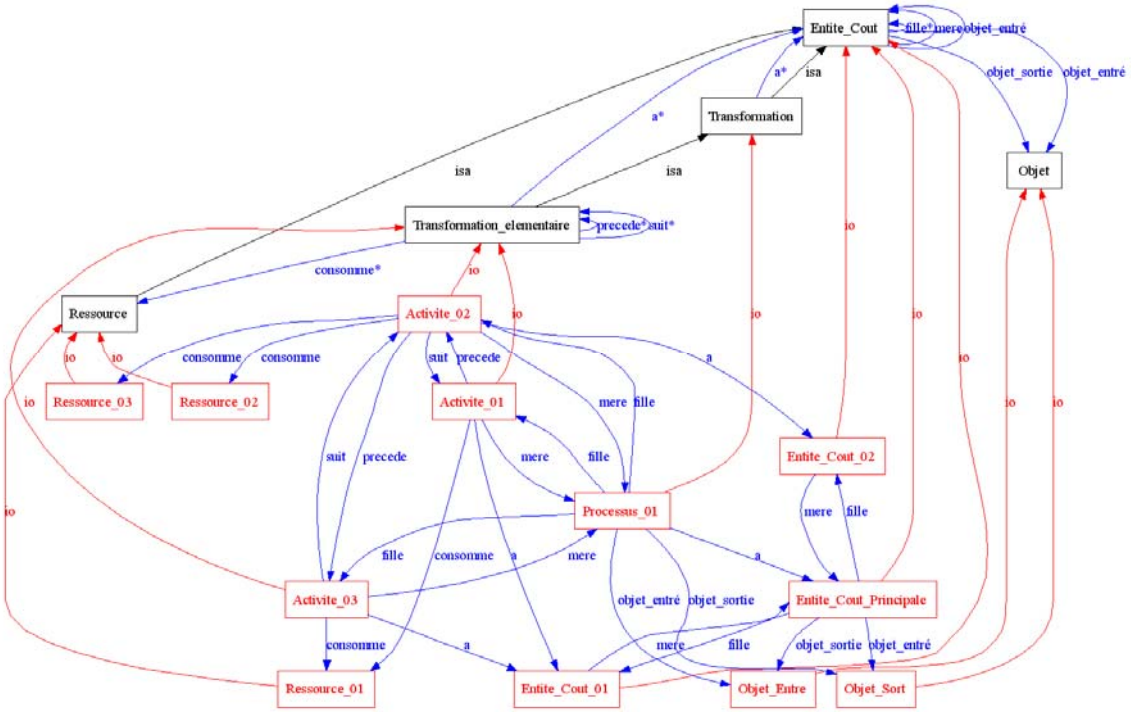


Figure 70 : Ontologie du concept entité coûts [H'Mid 02]

Ce travail a été renforcé par le Master Recherche de Hongyang, dont l'objectif était de raffiner les choix des méthodes d'évaluation économique en fonction de l'avancement dans le cycle de vie produit. Cette étude, bien qu'incomplète pose les premières bases nécessaires au suivi et à l'évaluation des coûts et de la valeur durant le cycle de vie d'un produit [Hon 05].

3.4.2.6. Conclusions sur les apports relatifs à l'évaluation économique

Ces approches illustrent des facettes d'intégration et de raffinement de connaissances pour aider les ingénieurs à prendre des décisions en maîtrisant l'ensemble des impacts économiques de leur choix. Nous avons montré qu'il est possible de coupler des approches de déploiement de solutions industrielles en parallèle d'outils de pilotage économique et que la mise en cohérence des deux systèmes permet d'affronter des situations industrielles très risquées (thèse de Delplace).

Malgré tout, la complexité des modèles de coûts déployés n'était pas trop importante, alors que dans d'autres domaines (liés à des technologies très en pointe et en rapide évolution) un nombre très important de paramètres historiques sont à capitaliser pour avoir une évaluation du coût ou du prix . Cette complexité sur les règles de calcul se retranscrit dans la difficulté d'intégration ou d'interopérabilité des différentes applications. Le travail de Mauchand chez SystemPlus a initié une intégration et une mise en cohérence d'un ensemble d'outils dont les objets à évaluer différent. Ces démarches d'approche commune, déjà abordée au cours de son DEA, se sont largement inspirées, et ont enrichi, les réflexions de Candlot et Ammar-Khodja, créant une interaction entre des demandes pragmatiques et opérationnelles et des retours d'expérience pour valider des approches conceptuelles.

Ces deux exemples se sont majoritairement intéressés aux aspects de production. Il importe de remonter ces potentialités au plus tôt dans la chaîne de décision et de conception pour pourvoir

librement envisager des solutions techniquement différentes pour des réponses en coûts plus performantes. L'équilibre technique / économique devient alors paramétrable on peut imaginer que les concepteurs ne subiront plus les coûts résultant mais piloteront avec cette cible à atteindre. C'est l'objet de la réorientation des travaux de Mauchand en collaboration avec A. Siadat.

Ce thème d'évaluation économique est prolongé dans le cadre du travail de thèse de V. Vergara (bourse Franco – Mexicaine débutée en Avril 2006) sur les aspects d'impact des structures organisationnelles sur les coûts des produits. L'évaluation de l'intégration verticale appliquée aux structures de production dans le domaine de la mécanique permet d'aider à répondre aux questions de faire ou d'acheter. Ce travail s'appuie sur des expériences fortes dans le cadre de sous-traitance automobile. L'évaluation économique se fait alors sur une maille beaucoup plus grosse qui cible les relations dans le cadre des nébuleuses d'entreprise.

Le rayonnement scientifique de ce travail s'est fait au travers de :

7 revues internationales [A.2007.3] [A.2007.8] [A.2006.1] [A.2006.4] [A.2003.1] [A.2003.2] [A.2003.3],
1 revue nationale [B.2003.1],
4 contributions à des ouvrages collectifs [C.2006.2] [C.2005.2] [C.2004.1] [C.2003.1],
15 présentations en conférences internationales [D.2007.6] [D.2007.7] [D.2006.1] [D.2006.2] [D.2006.3] [D.2005.4] [D.2005.5] [D.2005.6] [D.2004.1] [D.2004.2] [D.2004.2] [D.2003.2] [D.2003.3] [D.2003.4] [D.2002.1]
1 présentation en conférence nationale [D.2002.2]

3.5. Conclusions des activités de recherche

En conclusions, mes activités d'encadrement et de recherche ont contribué à proposer d'une part, un cadre méthodologique, conceptuel et des outils pour assurer la préparation, la mise en œuvre et le pilotage de projet de modélisation et d'intégration de connaissances dans un environnement d'ingénierie numérique. Ces propositions ont portées sur :

- la formalisation, la modélisation et la structuration des connaissances,
- la spécification et le suivi de déploiement des environnements à base de connaissances,
- la préparation, le suivi et la capitalisation de projets d'intégration des connaissances.

Ce thème a donné lieu au des valorisations et échanges dans le cadre des deux réseaux d'excellence INTEROP et VRL-KCiP, ainsi qu'à des échanges soutenus avec le Global Competitiveness Center, équipe Intergrated Enterprise Engineering de l'université de Stellenbosch (Afrique du Sud).

Ces démarches de mise à disposition d'environnements à base de connaissances accélèrent les processus d'ingénierie et d'innovation. Ainsi, les temps de développement de produits sont raccourcis, et/ou les produits sont plus innovants. Cependant, l'évaluation des solutions reste encore limitée essentiellement aux fonctionnalités techniques.

Ainsi, la seconde partie des apports a adressé la problématique d'évaluation de la performance économique. Nos réflexions sur les besoins des ingénieurs nous ont fait évoluer vers l'évaluation de la valeur et donc la chaîne de valeur. Nous avons ainsi proposé :

- une architecture de solution qui relie devis et système de production, validé dans un environnement intégré d'industrialisation et de production de produits piloté par le devis (structuré à partir des processus d'entreprise), appliqué dans le cadre d'une fonderie sable,
- une proposition de modèle de coût unifié et étendu à la définition de valeur et chaîne de valeur (extension vers un modèle Produit / Process / Organisation / Valeur),
- un simulateur de chaîne de valeur orienté évaluation de processus ou systèmes industriels.

Ce deuxième thème a donné lieu à des rapprochements avec la communauté des sciences de gestion par l'intermédiaire de P.Mévellec entre autre.

Globalement, ces recherches débordent du simple domaine de la conception ou production mécanique, et font appel à des expertises issues du monde de l'intelligence artificielle, de la modélisation d'entreprise et des sciences de gestion. Dans chaque cas, nous avons cherché à utiliser les meilleures techniques et méthodes propres à chaque domaine. L'intégration se fait donc aussi dans chaque action de partage et d'échange avec des domaines, collègues, experts différents.

La Figure 71 présente thématiquement les publications réalisées en fonction des deux axes de recherche présentés ci-avant.

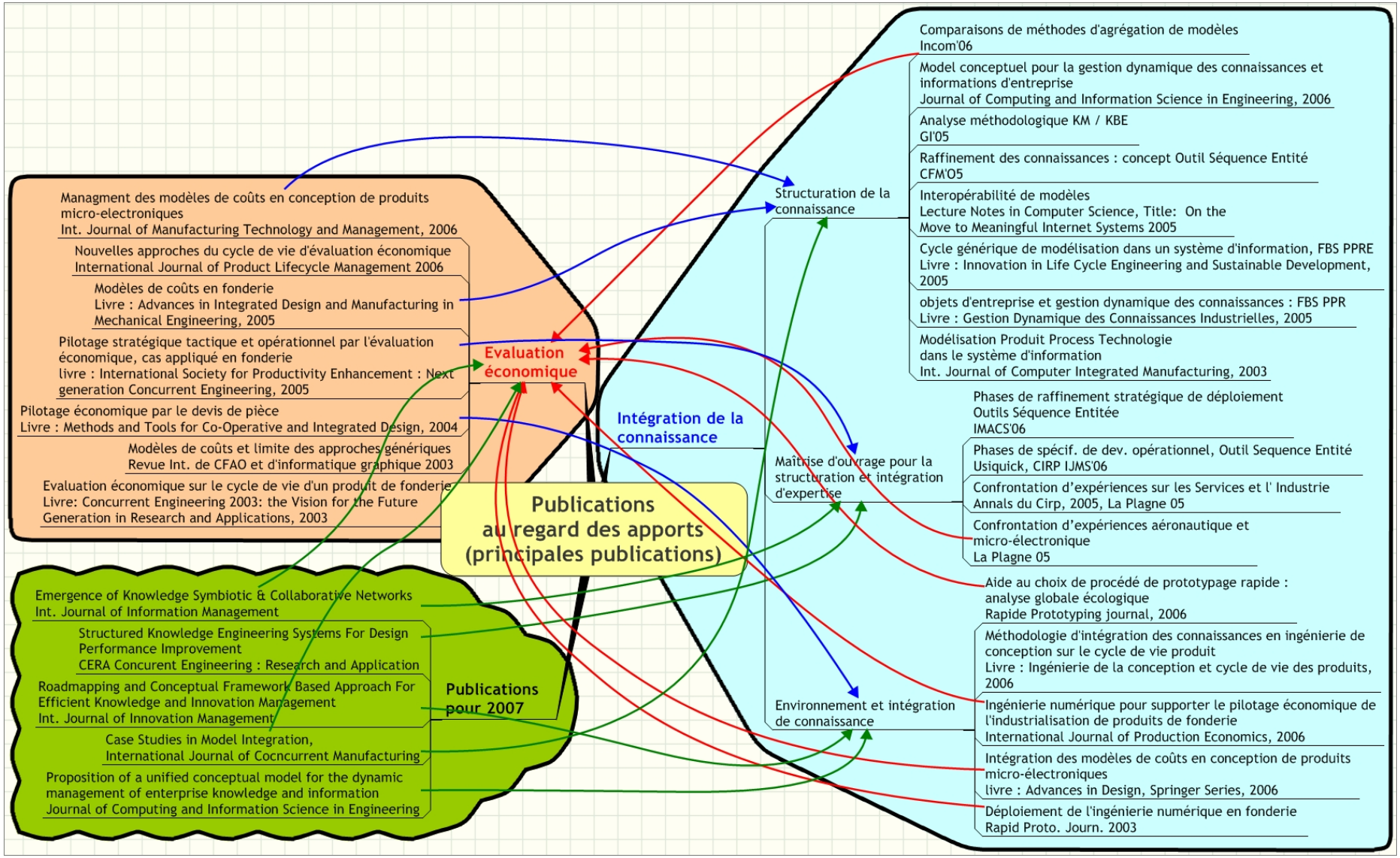


Figure 71 : Synthèse des apports des principales publications (revues et chapitres de livres pour l'essentiel)

4. Perspectives

Pédagogiquement parlant, la démarche de formalisation et diffusion des connaissances (expertes) est en phase avec les activités d'enseignement que je pratique depuis presque dix années. La principale différence avec ce qui a été proposé réside dans le mode de transmission des connaissances, qui, dans le cas de l'enseignement, est interactif à souhait et adaptable au comportement des utilisateurs, et ne passe pas par toutes les étapes de création de base de connaissances, bien que tous les savoirs sont structurés et hiérarchisés par le cerveau.

En effet, l'être humain a cette aptitude d'adaptation aux problèmes et questions rencontrés. Ainsi, les alternatives de transmissions et de justifications sont plus nombreuses que face à un ordinateur. Par la pratique, les chemins de création des connaissances peuvent être re-parcourus avec les étudiants. Les approches pédagogiques partant de constatations implicites sont le point de départ pour accompagner vers une démarche d'explicitation, avec les concepts propres des étudiants, pour amener ensuite vers des propositions formelles en accord avec les ontologies de référence des domaines abordés. La pratique du soudage est une illustration probante de l'adaptation que l'on peut avoir pour introduire et formaliser des connaissances liées aux sciences des matériaux, à la physique de la matière, à l'énergétique, aux sciences de la mécanique et de la conception de produits.

En revanche, nos facultés restent limitées aux bases de connaissances acquises et intégrées à force d'étude et de pratique : une simple connexion dans un environnement virtuel ne permet pas encore d'acquérir l'ensemble des connaissances souhaitées (là encore les écrivains ou réalisateurs d'œuvres d'anticipation glissent vers ces propositions comme dans Matrix par exemple).

Cette approche d'intégration des connaissances apporte donc une aide à la structuration de certaines démarches d'enseignement, ainsi que des réflexions sur les outils et méthodes à mettre en œuvre pour passer des messages pédagogiques.

Pour revenir aux perspectives de recherche, la progression des travaux que j'ai menés et encadrés a montré la nécessité de rendre accessible les expertises au sein de nouveau réseaux ou écosystèmes aux contours flous et en perpétuelles évolutions. Ces expertises, correctement formalisées pour être partagées, deviennent source d'amélioration des performances industrielles (tant sur les produits que sur les organisations et ce, à toutes les étapes du cycle de vie produit). Il importe donc de faciliter la démarche d'intégration dans un environnement métier qui accompagne l'utilisateur dans son travail quotidien et facilite l'interconnexion avec les différents savoirs. Ainsi, que ce soit sur le fond même du métier ou bien, sur les méthodes de travail, les partages des connaissances et des bonnes pratiques vont favoriser l'innovation et surtout la création de valeurs.

Cette notion de valeur devient un concept clé dans la mise en perspective des efforts de capitalisation, de diffusion et de mise en relation des flux d'informations. Il est donc nécessaire de les évaluer pour rétribuer, à leur juste contribution, les acteurs qui participent à l'instauration des nouveaux réseaux symbiotiques et des environnements capables de les faire vivre. A ce titre, les propositions de prise en compte des évaluations d'entropie d'informations permettent

d'envisager un moyen de mesure et donc un moyen objectif d'évaluation (théorie de l'entropie de Shannon[97] ou de Rényi) [Sha 48] [Ave 03].

D'autre part, la place privilégiée que tient la notion de valeur entre le client, le concepteur et le fabriquant, pousse au développement de méthodes qui aident à évaluer pertinemment et au plus tôt les coûts au long du cycle de vie produit.

Ainsi, pour intituler ce mémoire, j'ai opté pour l'abus de langage d'« industrialisation de connaissances » et pour une proposition finale d'***Industrialisation des connaissances, vers une intégration pour une utilisation optimale en ingénierie*** après avoir longuement hésité entre :

- *Intégration des connaissances pour l'industrialisation optimale des produits et des processus* : qui focalise sur les aspects de mise à disposition d'expertises pour l'utilisateur,
- *Amélioration de la performance industrielle par la maîtrise des connaissances : évaluation de la valeur des savoirs et des produits* : qui fait la part belle à la notion de valeur, évidemment incontournable, mais encore difficilement quantifiable et dont les contours restent flous,
- *Intégration des connaissances et aide au pilotage agile de projet à base de connaissances : application au pilotage économique en ingénierie* : qui rappelle l'aspect fluctuant de l'environnement et la nécessaire habilité à faire face à ces évolutions,
- *Pilotage agile de projet à base de connaissances : knowledge based management - de la donnée au système à base de connaissances, application en évaluation économique* : qui introduit les propositions d'assistance à la préparation et au suivi de projets d'intégration de connaissances en migrant de l'information brute et multiple vers une structuration et une contextualisation qui permet la ré appropriation des connaissances transcrites.

Les aspects d'industrialisation, comme je l'ai déjà indiqué, reflètent les efforts de confrontation face au flux important de l'environnement en pleine mutation (avec une dynamique accélérée) et la démarche de rigueur nécessaire à la restitution optimale pour les futurs clients que sont les experts ou les ingénieurs en quête d'une assistance à la prise de décision. De plus, l'industrialisation nécessite d'envisager au plus tôt la vie et la fin de vie du produit, ici le système à base de connaissances.

Actuellement, les seuls environnements supportant cette intégration des connaissances sont des systèmes d'informations et des logiciels qu'il faut configurer en fonction des modes et méthodes de travail des ingénieurs (qu'ils soient sur un plateau projet, un bureau isolé ou sur le terrain).

Il sera ainsi nécessaire d'assurer une complète configuration du logiciel au métier qu'il doit aider, ainsi qu'au système d'information dans lequel il doit inter-opérer. Il doit être adapté au(x) profil(s) de(s) l'utilisateur(s) ainsi qu'au(x) type(s) de travaux qu'il doit mener. Tout les liens, au long du cycle de vie produit (ou projet), seront alors renseignés et connectés vers les sources d'expertises les plus pertinentes. Les technologies RSS-feed ou de syndication permettent alors

[97] http://fr.wikipedia.org/wiki/Entropie_de_Shannon

d'assurer en une veille automatisée et de fournir à l'utilisateur de nouvelles sources ou des mises à jours des données utiles à son activité.

D'autre part, les moyens d'interactions, avec ces environnements à base de connaissances, doivent s'adapter aux méthodes du domaine et du métier, pour que les utilisateurs (ingénieurs ou techniciens) retrouvent les repères qui structurent leur démarche de travail et facilite ainsi leur appropriation. On peut alors envisager que la réalité virtuelle (ou réalité augmentée) soit un des périphériques standards d'utilisation. D'autre part, la navigation ou les requêtes se feront sur un mode d'échange et d'interaction dynamique avec l'utilisateur, le tout en langage naturel. Enfin, il importe d'assurer la portabilité de ces environnements pour pouvoir à tout moment justifier les prises de décision (retrouver le raisonnement et les sources d'information) et fournir l'ensemble des éléments pour aider à prendre une décision. Enfin, il faut pouvoir enrichir (ou commenter) les bases de connaissances suite aux utilisations ou à de nouvelles connexions entre savoirs.

Ainsi, interopérabilité (avec les utilisateurs et le système d'information existant) et configuration (par rapport au métier et aux exigences utilisateur) jouent donc un rôle crucial pour l'adhésion de ces solutions dans le travail journalier, ainsi que dans la confiance portée aux réponses proposées.

Dans cette perspective, je vais décliner, à plus court terme les évolutions que j'envisage pour les deux aspects de recherche que j'ai traité dans ce manuscrit : l'industrialisation des connaissances et l'évaluation économique.

4.1. Industrialisation de connaissances

Comme je l'ai identifié précédemment, les aspects de configuration et d'interopérabilité des environnements à base de connaissances, bien que primordiaux, n'ont pas été abordés dans nos travaux. Les travaux qui prolongeraient ceux d'Ammar-Khodja et Candlot s'orienteraient vers la prise en compte de ces deux aspects et du lien entre le système à base de connaissances et le système d'information.

Les aspects de configuration touchent :

- les métiers au sens des utilisateurs (processus, environnements et outils) ainsi que les connaissances expertes à implémenter,
- le système qui va accueillir la solution logiciel finale, et qui va maintenir la vie et l'enrichissement de la solution développée.

Ainsi les connaissances métiers exprimées augmentent les potentiels d'interopérabilité d'une entreprise (en interne ou en externe). Les connaissances sont au coeur des problématiques d'interopérabilité car nécessaire pour le métier d'architecte de systèmes d'information. L'urbanisation de ces systèmes d'information a d'ailleurs favorisé cette prise de conscience, et maintenant identifie la qualité des connaissances métier comme un facteur clé de succès. Ces problématiques se retrouvent autant dans les systèmes de type PDM/PLM/SGDT que pour les ERP, ainsi que dans les liens maintenant nécessaires entre les ERP et les outils de PDM.

En ce sens, ce travail va chercher à proposer des démarches qui facilitent (et accélèrent) les phases de configuration des systèmes d'information (existant ou en développement). Ce travail sera complémentaire à l'étude menée par Candlot qui assiste à la préparation des projets à base de connaissances du point de vue des aspects de modélisation et intégration des connaissances. Ainsi, il s'appuiera sur l'utilisation, et le développement, de méthodes et d'outils pour le

développement d'ontologies partielles (tant pour les systèmes d'information que des connaissances des organisations). Les ontologies partielles sont spécifiques à un domaine d'activité particulier et sont support pour le développement d'ontologies spécifiques à une organisation plus générale (configuration des systèmes, réseaux de connaissances, …) et pour réaliser leur alignement (interopérabilité des différents systèmes).

Les démarche de certification (ISO 9000[98] par exemple), qui sont antérieures à celles liées au management des connaissances, ont largement contribué à la mise à plat des processus d'entreprise et ont donc largement aidé à la structuration et à l'éclaircissement des systèmes d'information. Elles sont, de plus, très largement acceptées et mises en œuvre dans le milieu industriel. Pour autant, de telles démarches ne sont pas systématiquement une garantie d'amélioration des performances industrielles [Sun 00] [Kan 03]. C'est en utilisant ces approches qu'il est possible d'une part de faire ressortir les éléments propres aux connaissances du domaine mais aussi des organisations.

De plus, le recul est maintenant suffisant pour analyser les facteurs de réussite influents ou non du TQM[99] pour améliorer les performances industrielles [Gon 05] [Tay 03] [Tar 06]. Deux niveaux d'analyse ressortent, l'un correspondant aux approches techniques mises en œuvre pour appliquer les démarches de progrès, l'autre reflétant les orientations culturelles et les aspects humains entrant en jeu dans les entreprises.

Il serait donc intéressant d'analyser les parallèles entre les démarches de management de la qualité et de gestion des connaissances, et de voir comment ils peuvent aider à se supporter l'un et l'autre [Jai 05]. Ainsi, il est envisageable d'en déduire des orientations pour faciliter l'intégration et l'interopérabilité des outils à base de connaissances qui doivent être intégrés dans le réseau.

En effet, dans le cadre des approches de management de la qualité, toutes les formalisations, toutes les traces de connaissances retranscrites dans les différentes définitions, les procédures, etc., doivent être partagées par tous les acteurs. Elles doivent, de plus, être remises à jour, améliorées voir complètement modifiées sans en perdre le sens ni les orientations stratégiques. Cette démarche est identique dans le cadre de la gestion des connaissances au détail près que certains réseaux d'utilisateurs dépassent largement du cadre des structures d'entreprises.

Ces quelques idées font l'objet d'une partie des propositions du projet EPICE (Exploitation, Pour l'Interopérabilité, des Connaissances d'Entreprises) construit avec les acteurs du Pôle Grand Sud Ouest du Laboratoire Virtuel d'Interop. Il a été déposé à l'appel RNT de l'ANR (Mars 2007) et a déjà reçu la labellisation du Pôle de Compétitivité EMC2 pour son axe Processus et Systèmes Complexes. Ce projet focalise particulièrement sur les aspects de configuration (semi automatique) d'ERP en fonction d'un domaine et d'un métier donné, en automatisant l'expérience d'années de développement et de configuration d'un éditeur d'ERP.

Je n'irai pas plus loin dans la description d'un tel sujet qui garde des contours encore largement flous. Mais il y a une nécessaire interopérabilité avec le système qui accueille la solution à base de connaissances tout simplement pour permettre de capter les informations (connaissances) ou

[98] http://www.iso.org/

[99] Total Quality Management = management de la qualité : ensemble des activités de la fonction générale de management qui déterminent la politique qualité, les objectifs et les responsabilités, ainsi que leur mise en œuvre.

de les retransmettre efficacement. Toute démarche de projet (dont l'analyse et la préparation ont été proposées par Candlot) se trouve avec la nécessité de s'adapter aux canaux existants.

Plus généralement, les perspectives de travail sur ce thème de structuration et d'intégration des connaissances sont :

- Travailler sur les aspects interaction homme/système d'aide à la prise de décision. Il faut identifier les interactions minimales mais nécessaires à la compréhension du contexte, la proposition et la justification des réponses apportées et même l'automatique proposition d'éléments (en fonction du profil utilisateur). De plus, il faut faciliter l'intégration automatique des nouvelles connaissances par l'expert dans les environnements en facilitant la dématérialisation et la restitution des savoirs tout en assurant la cohérence et la pertinence.

  Ce point mérite certainement de **se rapprocher des spécialistes des sciences cognitives** pour la conception des interfaces et l'optimisation des scénarii d'utilisation. Il mérite surtout aussi de **prendre en compte les contextes de travail des utilisateurs et donc de faire adhérer des experts métiers aux démarches de définition et spécification des outils à développer.**

- Valoriser les efforts de mise en réseaux des connaissances et des experts, indépendamment des structures organisationnelles. Les méthodes de management et de rétribution des acteurs doivent prendre en compte ces nouveaux modes de travail, les favoriser et les récompenser.

  La connaissance (dont le propriétaire n'est pas dépossédé après diffusion) s'enrichit par le partage. Cette prise de conscience doit donner lieu à **l'établissement de relations gagnant - gagnant entre les acteurs et les réseaux informels de travail**. Elle doit aussi proposer des évolutions de gestion des organisations associées. Les approches d'ingénierie concourante et collaborative, qui font l'objet de nombreux travaux d'intégration de la connaissance dans nos domaines, doivent approfondir ces aspects et surtout laisser l'ouverture structurelle et technologique pour ces modes de travail vers les nouveaux écosystèmes et réseaux d'experts.

- Compléter les outils de pilotage des liens entre les éléments de connaissances plus que sur la connaissance elle même. En effet, la difficulté réside principalement dans l'identification et le suivi de *qui peut délivrer quoi*, tout en mesurant la pertinence et de la validité de cette mise à disposition d'informations.

  Les outils de recherche web (de type Google©) font une recherche par mots clés, ce qui revient à un balisage statique des références. Mais la valeur et **les enjeux sont dans l'aptitude à maintenir ces liaisons** (le RSS-feed en est un exemple), à les analyser pour connaître l'état d'avancement ou de complétude des connaissances.

  Pragmatiquement, en cours de déploiement, telle spécification, décrite dans un format, répondant à un besoin est implémentée (complètement, partiellement, pas du tout). L'analyse croisée de tous ces éléments permet de donner une vue d'ensemble de la progression du projet. D'autre part, l'introduction d'un nouvel élément (entité, attribut, règle ou plus généralement une nouvelle trace de connaissance) peut alors être suivie et tracée pour voir l'impact sur la structure déjà existante.

  Les outils et méthodes, comme PC-Pack pour Moka, proposent des interfaces d'extraction et de croisement des données, mais ne disposent pas de fonctionnalités de navigation aisées dans

ces réseaux conceptuels soit pour y placer des annotations ou simplement pour suivre les liens entre concepts.

- Supporter ces méthodes de travail : il faut développer des plates-formes facilitant ces échanges d'expertise et de gestion des flux d'information. A notre niveau, nous pouvons spécifier des fonctionnalités ou rester en veille face aux évolutions des technologies pour en tirer le meilleur profit et proposer des directions d'amélioration. Nous pouvons déjà indiquer que ces plates-formes devront :
  - Être auto-adaptatives aux besoins et aux variations du nombre d'acteurs, assurant en même temps sa propre stabilité et le « recyclage » des éléments inutiles,
  - Permettre l'évolution des acteurs et l'entrée de nouveaux types d'acteurs non prévus (groupe, organisation…) en garantissant le maintien d'un niveau de service,
  - Favoriser l'identification de synergie entre les acteurs par la réorganisation et la distribution de son contenu, en capturant les objectifs et les intentions des utilisateurs et en proposant des contextes de coopération, de coordination, d'organisation ou de négociation,
  - S'adapter aux variations d'environnements d'utilisation,
  - Favoriser la réutilisation ou la recombinaison d'éléments d'expertise présents dans le réseau,
  - Utiliser de nouveaux standards de valeurs pour permettre de créer de la confiance dans ce nouvel environnement.

Il est donc important de se rapprocher encore plus des experts du métier à capitaliser pour partager en tirant un profit maximal des évolutions des technologies de l'information et de la communication. Sans vouloir révolutionner les modes de travail et les métiers que l'on souhaite accompagner, il faut présenter les opportunités technologiques à disposition pour que les utilisateurs puissent sereinement envisager leurs utilisations et susciter chez eux des besoins sur les intégrations et restitutions de connaissances. Ces préconisations s'appliquent tant au niveau des métiers (espace domaine) que des organisations (espace projet).

Mais là aussi, l'adhésion et le développement de telles démarches ne se feront que par un retour sur ceux qui les mettent en œuvre ou les utilisent. Il importe donc de trouver de nouveaux modes de management d'hommes et d'organisations qui prennent en compte la création de valeur d'entreprise. Ainsi, la valeur d'une action, d'une décision ou d'une connaissance reste problématique à quantifier, mais sera la clé d'un déploiement et d'une appropriation complète de l'ensemble des partenaires de l'entreprise.

4.2. Evaluation économique en ingénierie, vers le pilotage de la performance industrielle

Concernant les aspects d'évaluation économique, les travaux engagés buttent toujours vers l'appréhension globale des coûts de produits. Un certain nombre de points sont donc à améliorer ou à compléter :

- **Etendre les phases de modélisation de la chaîne de valeur** d'entreprise proposée. Ce point est majeur dans cette démarche puisqu'une fois configurée, cette chaîne de valeur permettrait

d'évaluer les coûts et la valeur des différents produits, mais aussi de pointer les fonctions, services ou ressources qu'il faut améliorer pour maintenir un niveau de performance optimal (démarche de type lean manufacturing). Il faut donc pouvoir proposer des approches sur le cycle complet de la vie du produit et principalement anticiper l'usage et le recyclage. Les approches de chaîne de valeur doivent déjà intégrer le cycle complet au risque de se faire surprendre par des coûts de fin de vie qui peuvent devenir prépondérants dans un environnement social et industriel qui impose fort heureusement de plus en plus de contraintes écologiques. Ceci implique :

- d'envisager les phases de vie et de fin de vie de produit qui impactent de plus en plus les choix de solutions techniques sur le produit ou son processus de production,
- de proposer des démarches d'extraction des inducteurs de coûts dans l'entreprise, d'installer les outils capables de suivre et mesurer ces inducteurs et de proposer des modèles d'agrégation de ces inducteurs (modèles de coûts, modèles de valeur),
- de structurer le système d'information pour qu'automatiquement, ces indicateurs soient reconnus, renseignés et évalués,
- de développer des interfaces intégrées dans les environnements des ingénieurs pour que les modifications ou alternatives proposées puissent être directement évaluées.

- **Affiner les méthodes de conception en parallèle du produit et de son processus** :
  - en intégrant la valorisation des phases de recherche et développement,
  - en s'appuyant sur des structures de processus préexistantes (retour d'expérience des projets déjà réalisés et comparaison des coûts estimés et des coûts réellement induits),
  - en maîtrisant la maturité des informations utilisées (complétude, validité) : ceci permet de laisser ouvertes certaines options alternatives si l'ensemble des informations nécessaires pour prendre la décision n'est pas complètement connu,
  - en fournissant un cadre de valorisation multi-niveau des performances.

  Un travail important sur l'agrégation de ces indicateurs doit être fait. Actuellement la somme de l'ensemble des éléments constitue la valeur finale. Cette règle d'agrégation doit pouvoir être dépendante de la partie bénéficiaire considérée, tout en assurant une base tangible de communication et d'échange entre ces différentes parties.

Dans cette perspective, voici une ébauche de proposition de travail de thèse qui pourrait être mené dans cette thématique. Ce travail s'articulerait dans un premier temps sur la définition des chaînes de valeur d'entreprise proposée par Mauchand, et son utilisation pour structurer les démarches d'évaluation économique. Un environnement configurable, reprenant les éléments proposés par Labrousse (FBS-PPRE) [Lab 04], permettrait alors de définir les flux de valeurs des entreprises. Il serait alors intéressant de se questionner sur les corrélations existantes entre les approches ISO 9000 de formalisation des processus d'entreprise et la méthode d'identification et d'extraction de la chaîne de valeur. En effet, Al-Mudimigh fait remarquer que le management de la chaîne de valeur offre l'opportunité aux entreprises d'identifier et de définir leur cœur de compétences. Ce positionnement permet alors d'améliorer le positionnement stratégique face au marché et aide à déployer les démarches de management de la qualité [Mud 04].

Un second niveau d'analyse consisterait à extraire les indicateurs principaux de la performance. Dans ce cas, on va chercher à maximiser la valeur ajoutée à chaque étape du processus. Un travail sur les indicateurs de performances est alors nécessaire, en fonction des objectifs de mesure et de

pilotage à obtenir [Cli 04]. En fonction des phases du cycle de vie produit, différentes possibilités pour évaluer la performance s'offrent à nous [Tah 03]. Berrah voit la performance globale de l'entreprise comme la somme des performances internes et externes [Ber 02a]. Pour Lorino, elle apparaît comme un ratio, pas toujours mesurable, entre la valeur des richesses produites (produit ou service) et la valeur des ressources détruites [Lor 01]. On évaluera ainsi la performance d'une entreprise en mesurant les niveaux de mise en œuvre des résultats ; on s'intéresse alors à l'efficacité (les objectifs obtenus sont-ils conformes aux résultats prévus ?), l'efficience (les moyens mis en œuvre sont-ils suffisants pour le résultat souhaité ?), la pertinence (les moyens alloués sont-ils adaptés aux objectifs fixés ?) et la cohérence (l'action menée répond-elle au problème initialement posé ?).

Il importerait alors de faire la synthèse entre :

- les identifications et les représentations de la chaîne de valeur,
- les méthodes d'évaluation économique, fonction du cycle de vie des produits (ou processus ou services), en améliorant principalement les phases de conception [Tre 01],
- les indicateurs de calcul des coûts et de pilotage de la performance.

Ceci vise à fournir un ensemble complet, sur le cycle de vie du projet, pour mesurer, évaluer, améliorer ou anticiper les gisements de valeurs et donc facteurs de performance [Loh 04].

Ce puzzle d'éléments devrait évidemment être accompagné d'une démarche réfléchie de déploiement, s'inspirant ou s'enrichissant des approches issues de la qualité et de l'analyse de la valeur. L'environnement proposerait d'offrir une plate-forme d'évaluation des performances tant techniques qu'organisationnelles (le produit tout comme la structure qui supporte son développement ou sa production peuvent être analysés en cohérence selon des points de vue différents). Alors que les outillages de suivi de développement ou de revue de projets existent pour garantir le suivi technique et fonctionnel attendu, j'espère ainsi ouvrir la possibilité de compléter et de croiser les exigences qui divergent en fonction des acteurs.

On voit bien que l'étendue des tâches à réaliser est telle que l'on ne sait par quelle direction commencer. Il est certain qu'avec nos seules compétences d'ingénieurs, nous ne réussirons pas à affronter ce challenge, il faut donc continuer à croiser les relations et les projets avec nos collègues en sciences de gestion.

La performance industrielle comme nous souhaitons la promouvoir regroupe d'un côté la performance économique d'une entreprise, garant de sa bonne santé ou de la lucidité des prises de décision au regard des risques financiers encourus, d'autre part, la performance des acteurs et de l'organisation pour fournir un système de production réactif et adaptable aux nouveaux enjeux industriels mondiaux.

La maîtrise de l'intégration des connaissances est pour nous une arme dans cette course, il nous importera d'insister maintenant sur la mise en place de l'ensemble des éléments qui aident à mesurer et à piloter cette performance industrielle.

Enfin, comme je l'ai déjà indiqué précédemment, je pense qu'il est bon de replonger par moments dans des problèmes techniques et/ou technologiques qui sont, à mon sens, le ciment du domaine dans lequel je me plais à chercher et à enseigner.

Ces sujets, ainsi que les orientations plus lointaines des recherches que je souhaite mener, doivent s'accorder avec les nouvelles priorités et défis que le monde industriel doit affronter :

- **enraciner les préoccupations environnementales au plus profond des cultures industrielles**, tout en se questionnant sur les possibilités d'alternatives énergétiques et leurs impacts sur le système global,
- **proposer des modèles industriels en adéquation avec les évolutions de la société** ; la fin de la course à la consommation ou la chasse aux différents gaspillages énergétiques par exemple,
- **assurer un soutien aux industries émergentes** tout en restant vigilant par rapport aux puissances industrielles potentielles de celles qui sont en pleine expansion. Pour ce faire, il importe de garder une place respectable dans la course au leadership industriel, en jouant sur nos capacités d'innovation et de développement de produits techniques et spécifiques.

D'un point de vue général, il faut continuer à centrer le système industriel autour de ces acteurs, hommes et femmes doués de connaissances, de savoir, de savoir faire, qu'il va falloir mettre à contribution, indépendamment de leur position hiérarchique, pour trouver des solutions innovantes aux défis des évolutions (pour ne pas dire révolution) accélérées par les outils modernes de l'information et de la communication, mais aussi et surtout par des évolutions du contexte industriel mondial.

J'espère, dans la mesure des actions que je mènerai, œuvrer en ce sens.

Références bibliographiques

[Abe 97] Abecker A. (1997), Towards a Well-Founded Technology for Organizational Memories, AAAI Spring Symposium on Artificial Intelligence in Knowledge Management, pp 1-7.
[Alb 04] Alberti P. (2004), Capitalisation des compétences et des connaissances favorisant l'innovation, thèse de doctorat, Ecole Centrale de Paris, juin.
[Alc 97] Alcouffe C., Bes M.P. (1997), Standardisation et évaluation des activités de conception dans le secteur aérospatial, Deuxième Congrès International Franco-Québécois de Génie Industriel - ALBI 1997.
[Am 03] Amara H. (2003), Contribution à la génération de gammes d'usinage : intégration de l'homme et approche multi-agents, thèse de doctorat de l'Ecole Centrale de Nantes.
[Ami 03] Amidon D. M, (2003), The Innovation Super Highway: Harnessing Intellectual Capital for Sustainable Collaborative Advantage, published by Butterworth Heinemann, Elsevier Science, ISBN: 0-7506-7592-6.
[Ami 01] Amidon D. M, (2001), In: Innovation Strategy for the Knowledge Economy- The Ken Awakening, published by Butterworth Heinemann, Elsevier, ISBN 0750698411.
[Ami 98] Amidon D. M (1998), Collaborative Innovation and the Knowledge Economy, published by the Society of Management Accountants of Canada, ISBN 1-890-491-42-6.
[Amm 05a] Ammar-Khodja S., A. Candlot et A. Bernard (2005), Confrontation de la méthodologie MOKA à une expérience de développement d'outil KBE dans l'industrie aéronautique, 6eme congrès international de Génie Industriel, Besançon, Juin.
[Amm 05b] Ammar-Khodja S., A. Bernard (2005), Déploiement d'une démarche de Knowledge Management dans le cadre d'un projet de spécification d'un outil KBE, Conception et Production Intégrée : CPI'2005, Casablanca, Maroc.
[Amm 04] Ammar-Khodja S., Vue sur le Knowledge Management (2004), rapport interne équipe.
[Ans 97] Ansari, S.L., Bell, J.E. and The CAM-I Target Cost Core Group (1997), Target Costing, The Next Frontier in Strategic Cost Management, Irwin.
[And 99] Andrade M.C., Pessanha Filho R.C., Espozel A.M., Maia L.O.A., Qassim R.Y. (1999), Activity-based costing for production learning, Int.J. Production Economics, ISSN 0925-5273, vol 62, n°3, p.175-180.
[Asi 98] Asiedu Y. (1998), Product life cycle cost analysis: state of the art review, Int. J. of Prod. Research, ISSN 0020-7543, vol.36, n°4, p.883-908.
[Ave 03] Avery J. (2003), Information Theory and Evolution, World Scientific, ISBN 9812384006.
[Avo 97] Avoine B.E. (1998), La pratique des coûts dans les projets industriels : Le cost Control de l'estimation à la détermination du contrat – AFNOR - nov., ISBN 2-12-475020-8.
[Bac 94] Bachelet, R. (1994), DESI: Méthode d'évaluation de l'impact économique des choix techniques, http://www.ig2i.fr/rb/recherche/Communication_AFC_94/afc_cout.html.
[Bac 04] Bachimont B. (2004), Arts et sciences du numérique : Ingénierie des connaissances et critique de la raison computationnelle, Mémoire d'habilitation à diriger des recherces, UTC.
[Bac 02] Bachimont B., A. Isaac A. and R. Troncy R. (2002): Semantic Commitment for Designing Ontologies: A Tool Proposal, 13th International Conference on Knowledge Engineering and Knowledge Management (EKAW'2002).
[Bac 96] Bachimont B. (1996), Herméneutique matérielle et Artéfacture : des machines qui pensent aux machines qui donnent à penser, Thèse de Doctorat, Spécialité Epistemologie, Ecole Polytechnique.
[Bak 99] Bakema F. (1999), A review of literature on knowledge management, ISMICK'99, IIIA, J.F. Schreinemakers (Ed), ISBN 2-913-923-02-X.
[Bar 03] Barthelme-Trapp F. (2003), Une approche constructiviste des connaissances : contribution à la gestion dynamique des connaissances. Thèse, Université des Sciences Sociales, Toulouse, France.

[Bar 01] Barthelme-Trapp F, Vincent B. (2001), Analyse comparée de méthodes de gestion des connaissances pour une approche managériale, Xième Conférence de l'Association Internationale de Management Stratégique, Laval, Quebec, 2001.
[Bas 04] Bassetto S., S. Hubac A. Siadat, P. Martin (2004), Méthode outillée employant les connaissances d'experts, 2nd Colloque du GT CE2I : Intégration des Connaissances et Compétences en vue de l'amélioration de la performance industrielle, Nancy, Décembre.
[Bau 97] Baumann S., Malburg M., Meyer Auf'm Hofe H., Wenzel C. (1997), From Paper to a Corporate Memory – A First Step, 21st Annual German Conference on AI : KI'97, Freiburg September 1997.
[Bec 00a] Beckett A.J., C.E.R. Wainwright, D. Bance (2000), Knowledge management: strategy or software? Management and Decision Journal, ISSN: 0025-1747 Vol. 38, n° 9, p. 601 – 606.
[Bec 00b] Beckett A.J., C.E.R. Wainwright, D. Bance (2000), Implementing an industrial continuous improvement system: a knowledge management case study, Industrial Management & Data Systems Journal, ISSN: 0263-5577, vol 100, n°7, p. 330 – 338.
[Bel 05] Belkadi F., E. Bonjour, M. Dulmet (2005), Modelling framework of a traceability system to improve knowledge sharing and collaborative design. Computer Supported Cooperative Work in Design II, Lecture Notes in Computer Science, vol. 3865.
[Bel 04] Belkadi F., E. Bonjour, M. Dulmet (2004), Démarche de modélisation d'une situation de conception collaborative. Document numérique, vol. 8, n° 1, pp.93-106, 2004.
[Bel 02] Bellut S. (2002), Estimer le coût d'un projet, Saint Denis de La Plaine: AFNOR Gestion.
[Ben 94] Ben Younes J. (1994), Modélisation des Ressources en Fabrication mécanique, Application au Choix des Outils Coupants dans un Environnement orienté Objet, Thèse de doctorat, École Centrale Paris, 1994.
[Ber 02a] Berrah L. (2002), L'indicateur de performance, Cépaduès Editions, ISBN : 2.85428.567.0.
[Ber 02b] Bernard A., M. Labrousse, P. Véron (2002), Numerical reference system for motorcycle development: proposition of a base conceptual model, CIRP Design Seminar, Hong Kong.
[Ber 01] Bernard A., Brissaud D. (2001), Improvement of design efficiency by using fabricability criteria through e-design cognitive agents, CIRP Design Seminar, Stockolm, juin.
[Ber 88] Berliner C. and Brimson, J.A. (1988), Cost management for Today's Advanced Manufacturing, the CAM-I Conceptual Design, Harvard Business School Press.
[Ber 96] Bernard A. (1996), Contribution à la modélisation des produits et à l'intégration des technologies productrices dans un environnement multi acteurs, Mémoire d'habilitation à diriger des recherches, LPL, Ecole Centrale Paris, 1996.
[Bes 00] Bescos P.-L., Cauvin E. (2000), L'ABC/ABM : où en est on actuellement ? Echanges, juillet, n°168, pp.23-26.
[Bes 99] Bes M.P. (1999), Comment Gérer la Capitalisation des Connaissances ?, Actes du 3ème Congrès International de Génie Industriel CIGI'99, Vol I. pp471-481, Montréal, Québec , Canada, 25-28 Mai 1999.
[Big 05a] Bigand M. (2005), Intégration de modèles pour l'ingénièrie des systèmes de conception, Mémoire d'habilitation à diriger des recherches, LGIL, Ecole centrale de Lille.
[Big 05b] Bigand M., M. Mekhilef, H. Ben Sta, J.P. Bourey (2005), Traçabilité des justifications des décisions en conception de produit, 6ème Congrès International de Génie Industriel, France, Besançon, Juin.
[Big 03] Bigand M., O. Korbaa, J. Bourey (2003), Patrons de conception UML appliqués aux modèles d'ordonnancement des systèmes automatisés de production, JESA, Vol.37 N° 7-8, pp.975-997, ISSN 1269-6935.
[Big 99] Bigand M., D. N'Diaye, D. Corbeel, J.P. Bourey (1999), Contribution to viewpoint modeling using an object approach in an information system for production engineering, in: Proceedings of Second World Manufacturing Congress ISMS. Durham, pp. 246-251.
[Bla 78] Blanchard, B.S, (1978), Design and Manage to Life Cycle Cost, M/A Press Oregon.
[Bod 98] Bode J. And Fung R. (1998), Cost engineering with QFD, Computers and Industrial Engineering., Vol.35, p.587-590.

[Bol 02] Boly V., J. Renaud, V. Rault-Jacquot, C. Guidat (2002), Intégration de la variable organisationnelle en gestion de projets innovants et en ingénierie concourant, Revue Internationale de Gestion et de Management de Projets.
[Bou 04] Boudjlida N., M. Missikoff, F .D'Antonio, M. Jeusfeld, P. Johannesson & Interop WP8 members (2004), Interop Delivrable 8.1 : State of the art and state of the practice including initial possible research orientations, Nov.
[Bou 06] Boudouh T., Anghel D., Garro O. (2006), Design iterations in a geographically distributed design process, in Advances in Design, Edited by H. ElMaraghy and W. ElMaraghy, Springer Verlag, pp. 377-386, jan. 2006. ISBN : 1-84628-004-4.
[Bou 00] Bouin X., Simon F-X. (2000), « Les nouveaux visages du contrôle de gestion », Approches Techniques et Comportementales - Paris: DUNOD, ISBN 2 10004887 2.
[Bou 97] Bourne, C. (1997), Catégorisation et formalisation des connaissances industrielles, dans Connaissances et Savoir-faire en entreprise, ed. Hermes, p 179-197.
[Boz 04] Bozon C., Decreuse C., Maranzana R., Garro O. (2004), Manufacturing knowledge integration in a CAD-CAM context, (IDMME 2004),Bath, UK, April.
[Brin 00] Brinke E., Lutters D., Streppel A.H. and Kals H.J.J. (2002), Variant cost estimation based on information management, 15th Int. Conf. Prod: Res:, 1383-1386.
[Bri 01] Brissaud D., S. Tichkiewitch (2001), Product models for life-cycle, Annals of the CIRP, 50/1:105-108.
[Bris 00] Brissaud D., S. Tichkiewitch (2000), Innovation and manufacturability analysis in an integrated design context, Computers in Industry, ISSN: 0166-3615, p.111-121.
[Bri 99] Brissaud, D. and Paris, H. (1999), Co-operation in design: indicators as supports for the discussion between product and process engineers, in Kals, H., Van Houten, F. (Ed.): Integration of process knowledge into design support systems, Kluwer academic publishers, Dordrecht, Boston, and London, pp.181-188.
[Bri 90] Brissaud D. (1990), Conception Automatique de Gamme d'Usinage: Point de vue Expertise, Gamme Automatique d'Usinage, Hermes, Paris, 1990.
[Bro 90] Brodier J.P. (1990), La dictature des prix de revient, Harvard - L'Expansion, 1990, www.directva.com/PDF/Dicta2.pdf.
[Brin 04] Brinke E.T, E. Lutters, T. Streppel, H. Kals (2004), Cost estimation architecture for integrated cost control based on information management, International Journal of Computer Integrated Manufacturing, Vol 17, n°6, pp534 – 545.
[Bri 02] E. ten Brinke. Costing Support and Cost Control in Manufacturing: A Cost Estimation Tool Applied in the Sheet Metal, PhD Thesis, University of Twente, Enschede, ISBN 90-365-1726-5, http://doc.utwente.nl/40351.
[Bus 04] Busch H., C. Frank, M. Gardoni (2004), Partage de documents au sein d'une équipe a partir d'une caractérisation de leurs contenus selon des points de vues multiples, 2nd Colloque IPI - IPI, Autrans, France.
[Cai 03] Caillaud E. et B. Duprieu (2003), Ingénierie des connaissances pour l'ingénierie intégrée : application à la conception d'outillages, Revue Internationale d'Ingénierie des Systèmes de Production Mécanique. Vol. 7 pp. 60-66.
[Cal 98] Callot M., Oldham K., Stokes M., Godwin N., Brimble R., Klein R., Sellini F., Merceron F., Danino D. (1998), Methodology and tools oriented to knowledge based engineering applications. Rapport public 2.0.
[Can 06] Candlot A. (2006), Principes d'assistance à la maîtrise d'ouvrage pour la consolidation et l'intégration d'expertise, Thèse de doctorat, Ecole Centrale de Nantes, Univ de Nantes, Sept.
[Can 04] Candlot A., N. Du Preez, A. Bernard (2004), Synergy and Knowledge in an Innovative Project between Academia and Industry, COMA'04, International Conference on Competitive Manufacturing, Stellenbosch, South Africa, p. 457-461, ISBN 0-7972-1018-0.
[Can 97] Cantzler O. (1997), Une architecture conceptuelle pour la pérennisation d'historiques globaux de conception de produits industriels complexes, thèse de doctorat, Ecole Centrale de Paris, avril.

[Cap 05] Capponi V. (2005), Les interactions homme-machine dans la génération assistée de gammes d'usinage – Application aux pièces aéronautiques de structure, Thèse de Doctorat, Université Joseph Fourier, Grenoble 1.
[Cas 04] Cassin B. (2004), Vocabulaire Européen des Philosophies, 2004, ISBN 2-85-036-580-7, ISBN 2-02-030730.
[Car 00] Le Cardinal J. (2000), Etude des dysfonctionnements dans la prise de décision. Application au choix d'acteur, Thèse de doctorat, Ecole Centrale de Paris.
[Cau 99] Caussanel J., Chouraqui E. (1999), Information et Connaissances : quelles implications pour les projets de Capitalisation des Connaissances, in: Revue Document numérique - Gestion des documents et Gestion des connaissances, vol. 3-4, pp. 101-119, 1999. Numéro spécial.
[Clau 91] Clautrier M. (1991), Difficultés de nouvelles approches de conception dans le spatial, séminaire GSIP, Méthodes et outils pour la conduite de projet, Grenoble, 1991.
[Cli 04] Cliville V. (2004), Approche systémique et méthode multicritères pour la définition d'un système d'indicateurs de performance, Thèse de doctorat, Université de Savoie, Septembre.
[Che 03] Cherif M. (2003), Modélisation générique des efforts de coupe en fraisage pour la CFAO et la surveillance d'usinage ", Thèse de Doctorat, Ecole Centrale de Nantes.
[Che 03] Chwen S., M.H. Chen & Stacy Kovar (2003), 'Integrating ABC and TOC for better manufacturing decision making', Integrated Manufacturing Systems, 14:5, pp. 433-441.
[Coo 97] Cooper R. and Slagmulder, R. (1997), Target Costing and Value Engineering, Institute of Management Accountants, Productivity Press Portland Or.
[Crin 99] Club CRIN (1999), « Entreprise et Compétences : le sens des évolutions », Evolution du travail face aux mutations technologiques,ISBN 2-912154-05-07.
[Cue 98] Cuesta E., J.Rico, S. Mateos, M. Suarez, (1998), Times and costs analysis for sheet metal cutting processes in an integrated CAD/CAM system; Int. J. prod. Research, vol,36, n.6, 1733-1747.
[Cul 05] Culley S.J., McMahon C.A. (2005), Perspectives on Knowledge management in Design, In Engineering Design - Theory and Practice, ISBN 0-9545243-1-4.
[Czy 91] Czyzewski A.B. and Hull, R.P. (1991), Improving profitability With Life Cycle Costing, Journal of Cost management, Ed. C. & J. STENZEL, Summer, pp.20-27.
[D'Acu 99] D'Acunto A., J. Lebrun, P. martin and M. Gueury (1999), Integrated Design and Manufacturing in Mechanical Engineering '98: IDMME Book, ISBN: 0792360249, Springer, chap 6, p.405-411.
[Das 00] Dassisti M. & Galantucci L. M. (2000). Product cost estimating and uncertainties in production management: an unified framework. Proceedings of The 33rd CIRP Int. seminar on manufacturing systems, pp. 346-401.
[Das 98] M. Dassisti, L.M. Galantucci, F. Faccio, A. Indelli (1998). Design Criteria for implementing a Decision Support System for Cost Estimation, Proceedings of IPSERA 7th International Annual Conference 'Supply Strategies: Concepts and practice at the leading edge.'– April 5-7, London.
[Dea 99] Dean E.B. (1999), Parametric Cost Deployment, http://akao.larc.nasa.gov/dfc/
[Dea 90] Dean E. B. (1990), The Design-To-Cost Manifold, International Academy of Astronautics Symposium on Space Systems Cost Methodologies and Applications San Diego California U.S.A., May 10-11.
[Del 91] Delafollie G. (1991), Analyse de la Valeur, Paris: Hachette Technique, 1991, ISBN 2010171519.
[Del 04] Delplace J.C. (2004), L'Ingénierie numérique pour l'amélioration des processus décisionnels et opérationnels en fonderie, thèse de Doctorat de l'Université et de l'Ecole Centrale de Nantes, soutenue publiquement le 29 octobre 2004.
[Den 02] Deneux D., Senechal O., Tomala F., Lawson M. (2002). Towards a methodology for estimating the global impacts of innovative design scenarii. In U. Cugini & M. Wozny (Ed.), From Knowledge intensive CAD to knowledge intensive engineering, Kluwer Academic Publishers, Boston, pp. 237-248.
[Der 05] Derigent W. (2005), Méthodologie de passage d'un modèle CAO vers un modèle FAO pour des pièces aéronautiques : Prototype logiciel dans le cadre du projet USIQUISK. Doctorat de l'Université Henri Poincaré.

[Der 04] Derigent W., Harik R., Lombard M., Ris G. (2004), Intégration conception/génération automatique de gammes en conception intégrée à partir de connaissances métiers, 2ème Colloque du groupe de travail C2EI : Modélisation et pilotage de systèmes de Connaissances et de Compétences dans les Entreprises Industrielles :« Intégration des Connaissances et Compétences en vue de l'amélioration de la performance industrielle », Nancy, France, décembre.
[Die 00] Dieng R., O. Corby, A. Giboin, J. Golebiowska, N. Matta, M. Ribiére (2000), Méthodes et outils pour la gestion des connaissances, Dunod : Série Stratégies et systémes d'information, ISBN 2100045741.
[Die 98] Dieng R. & Al. (1998), Methods and Tools for Corporate Knowledge Management, proceedings KAW'98, Banff, Canada.
[Dou 96] Doumeingts G., Girard P., Eynard B. (1996), GIM/GRAI integrated methodology for product development, Design for X, Concurrent engineering imperatives, Chapman & Hall, Londres.
[Dra 00] Dragoi G., D. Brissaud (2000), A Methodology for Cost and Quality Optimisation in a design system by linking quality methods, Integrated Design and Manufacturing in Mechanical Engineering: Proceedings of the 3rd IDMME Conference Held in Montreal, Canada, May, ISBN: 1402009798 - Springer, p.3339-345.
[Dra 98] Dragoi G., D. Brissaud, S.Tichkiewitch (1998), Analyse of the manufacturability cost and quality at the product design stage, Revisa romana de mecanica fina si otpica, vol 2, n°2, p.543-547.
[Duc 05] Ducq Y., B. Vallespir (2005), Definition and aggregation of a performance measurement system in three aeronautical workshops using the ECOGRAI method, Int Journal of Production Planning & Control, Vol 16, n° 2 / March, p.163-177, ISSN : 0953-7287.
[Dug 02] Dugas A. (2002), CFAO et UGV - Simulation d'usinage de formes complexes, thèse de doctorat, Ecole Centrale de Nantes.
[Dup 99] Dupouy, P., Girard, Ph., Eynard, B., Merle C. (1999), Proposition pour un système d'évaluation de la performance technico-économique en ingénierie des produits. Proceedings of the 3rd International industrial conference. Montréal, Canada, May, 26-28.
[Edw 95] Edwin, B.D. (1995), NASA, Parametric cost deployment, World Wide Web, http://akao.larc.nasa.gov/dfc/.
[Elh 05]M. Elhamdi (2005), Modélisation et simulation de chaînes de valeurs en entreprise : une approche dynamique des systèmes et aide à la décision : SimulValor, Thèse de doctorat, spécialité Génie Industriel, Ecole Centrale de Paris.
[Erm 03] Ermine J.L. (2003), La gestion des connaissances, Hermes ed, ISBN: 2-7462-0660-1.
[Erm 01] Ermine J.L. (2001), Les processus de la gestion des connaissances, Extraction et gestion des connaissances, H. Briand, F. Guillet (éd.), Hermès.
[Erm 96] Ermine, J.L., Chaillot, M., Bigeon, Ph., Charreton, B., Malacieille, D., (1996). MKSM : Méthode pour la gestion des connaissances, Ingénierie des systèmes d'information, AFCET-Hermès, 1996, Vol.4, pp. 541-575.
[Esa 03] Esawi A.M.K., M.F. Ashby (2003), Cost estimates to guide pre-selection of processes, Materials & Design n°24, pp. 605-616. ISSN: 0261-3069, Elsevier.
[Esa 00] Esawi A.M.K., M.F. Ashby (2000), Cost-based ranking for manufacturing process selection. in Integrated Design and Manufacturing in Mechanical Engineering, ISBN : 1-4020-0979-8 Kluwer Academic Publishers, January.
[Esa 99] Esawi A.M.K. & Ashby M.F. (1999), 'Cost estimation for process selection' in ASME Design for Manufacture Conference (DETC99), Las Vegas, Nevada, USA.
[Eyn 04] Eynard B., M. Lombard, N. Matta, J. Renaud (2004), Gestion dynamique des connaissances industrielles (Traité IC2, série Informatique et systèmes d'information), Hermes ed°, ISBN 2746209527.
[Fab 91] Fabrycky W.J., B.S. Blanchard (1991), Life-Cycle Cost and Economic Analysis, Prentice Hall Publisher, ISBN 0135383234.
[Far 01] Farineau T., B. Rabenasolo , J.M. Castelain, Y. Meyer, P. Duverlie (2001), Use of Parametric Models in an Economic Evaluation Step During the Design Phase, International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Vol 17, n°2, Springer London ISSN 0268-3768, pp.79.86.

[Fir 00] Firestone J. M. (2000), Enterprise Knowledge Portals: What They Are and What They Do, Knowledge and Innovation : Journal of the KMCI, vol. 1, no. 1.
[Fra 03] Frank C. (2003), Développement de modèles spécifiques de gestion des connaissances dans les services de recherche Thèse en Génie Industriel, INPG, Univ. de Grenoble.
[Fur 05] Furet B. (2005), Optimisation, préparation, mise en oeuvre et surveillance automatique de l'Usinage à Grandes Vitesses des métaux et des matériaux composites, Mémoire d'habilitation à diriger des recherches, IRCCyN, Ecole Centrale de Nantes.
[Gau 00] Gautier F, Giard V., Vers une meilleure maîtrise des coûts engagés sur le cycle de vie, lors de la conception de produits nouveaux, Comptabilité Contrôle Audit, tome 6 Vol. 2, p. 43-75, 2000.
[Gar 99] Gardoni, M. (1999). Maîtrise de l'information non structurée et capitalisation de savoir et savoir-faire en Ingénierie Intégrée, Cas d'étude Aérospatiale, thèse de doctorat, Univ de Metz.
[Gei 06] Geiskopf F., V. Goepp, F. Kiefer, E. Caillaud (2006), Conception préliminaire de systèmes de production : cycle d'abstraction et vue problème. Application aux systèmes d'information de production et aux systèmes usinant, Ingénierie de la conception et cycle de vie des produits, pp. 257-274, Hermes Lavoisier, ISBN: 2-7462-1214-5.
[Gil 06] Gillot F. (2006), Elaboration d'une méthodologie de fabrication d'outillages prototypes", Thèse de doctorat, Ecole Centrale de Nantes.
[Gia 03a] Giannopoulos N., Roy R., Taratoukhine V., Sarasua-Echeverria A. (2003), Embedded systems software cost estimating within the concurrent engineering environment, CE03: the Vision for the Future Generation in Research and Applications, ISBN 90 5809 623 8, p.352-357.
[Gia 03b] Giannopoulos N., V. Taratoukhine, R. Roy (2003), Advances In Manufacturing Technology XVII, p 461-466, Editor:Y. Qin & N.P. Juster, ISBN: 1-86058-412-8.
[Gia 05] Giard V. (2005), chap. Ingénierie des services, dans La chaîne de valeur : un concept démodé ?, sous la direction de Pierre Baranger, Presses Universitaires de Rennes, ISBN : 2-7535-0002-9.
[Gia 00a] Giard V., F. Gautier (2000), Vers une meilleure maîtrise des coûts engagés sur le cycle de vie, lors de la conception de produits nouveaux, publié dans Comptabilité, Contrôle, Audit, revue de l'Association Francophone de Comptabilité, tome VI, Vol. 2, p. 43-75.
[Gia 00b] Giard V. (2001), Economical analysis of product standardization, IFAC/IFIP/IEEE 2nd Conf on Management and Control of Production and Logistic, Grenoble.
[Gia 93a] Giard V. (1993), Les bases d'une évaluation économique de l'ordonnancement en ateliers spécialisés, Revue Française de Gestion industrielle, n° 4, p. 73-93.
[Gia 93b] Giard V., C. Fray (1993), Le pilotage économique des projets, Revue internationale en gestion et management de projets, n° 2.
[Gia 91] Girard V. (1991), Gestion de projets, Economica ed.
[Gia 88] Giard V. (1988), Gestion de production: évaluation économique et prise de décision, Revue Française de Gestion, Janvier-Février 1988, n° 67, p. 13-28.
[Gir 04] Girard P. (2004), Contribution à la conduite de conception, Mémoire d'habilitation à diriger des recherches, LAPS, Université de Bordeaux 1.
[Gir 01] Girard P. (2001), Analyse des décisions en conception, Techniques de l'ingénieur, n°AG2220, pp.1-12, ISSN 1282-9072.
[Gon 05] González-Benito J. (2005), A study of the effect of manufacturing proactivity on business performance, International Journal of Operations & Production Management, ISSN: 0144-3577, Vol. 25, n° 3, pp. 222-241.
[Gos 03a] Gosselin M., Mévellec P. (2003), Plaidoyer pour la prise en compte des paramètres de conception dans la recherche sur les innovations en comptabilité de gestion, 24ème Congrès de l'Association Francophone de Comptabilité, Louvain.
[Gos 03b] Gosselin, M. and P. Mévellec (2003), Development of a cladogram of cost management systems, 6th Manufacturing Accounting Research conference, Twente, The Netherlands.
[Gra 00] Gratton L. (2000), Living Strategy: Putting People at the Heart of Corporate Strategy, Editor: Financial Times ISBN 027365015.

[Gru 96] Grundstein, M. (1996), La capitalisation des connaissances de l'entreprise, une problématique de management, actes des 5ème Rencontres du programme MCX, Complexité : la stratégie de la reliance, Aix-en-Provence, 4-5 juillet.
[Gru 94] Grundstein M. (1994), Développer un système à base de connaissance: un effort de cooperation pour construire en commun un objet inconn", Actes de la journée Innovation pour le travail en groupe, CP2I.
[Gru 95] Gruber T. R. (1995), Toward Principles for the Design of Ontologies Used for Knowledge Sharing, International Workshop on Ontology, Padova, Italy, March.
[Gru 93] Gruber T.R. (1993), A Translation Approach to Portable Ontology Specification. Knowledge Acquisition, 5(2), p.199-220.
[Gru 92] Gruber T.R. (1992), Ontolingua: A Mechanism to Support Portable Ontologies. Knowledge Systems Laboratory Technical Report, Stanford, California, USA.
[Gza 04] Gzara Yesilbas L. M. Lombard (2004), Towards a knowledge repository for collaborative design process: focus on conflict management, Computers in Industry, vol. 55, n°3, Special issue: Object-oriented modelling in design and production, pp.335 – 350, ISSN: 0166-3615.
[Gza 03] Gzara Yesilbas L., Lombard M (2003), Conception coopérative de produits mécaniques : aide à la gestion de conflits. Ingénierie des Systèmes d'Information, vol. 8(2), pp. 113-129, ISSN 1633-1311, octobre.
[Har 05] Harik R., Derigent W., Lombard M., Ris G. (2005), Product model adjustment methodology so as to support its PLM cycle, 4ème Conférence Internationale de Conception et Production Intégrées (CPI'2005), Casablanca, Maroc, November.
[Hil 01] Hilmola O.-P., (2001), Theory of constraints and outsourcing decisions, International Journal of Manufacturing Technology and Management, 3:6, pp. 517-527.
[Hil 04] Hilmola O.-P., (2004), Enhancing system-wide profitability with new product introduction and throughput accounting, International Journal of Innovation and Technology Management, Vol. 11, No. 3, pp. 289-306.
[Hil 05] Hilmola O.-P., Helo, P. & Holweg, M., (2005), On the outsourcing dynamics in the electronics sector: The evolving role of the original design manufacturer, University of Cambridge, Working Paper Series, n° 04.
[Hol 04] Holsapple C. W, Jones K (2004), Exploring primary activities of the knowledge chain, Knowledge and Process Management journal, Vol 11, Issue 3, pp155 – 174.
[Hol 01] Holsapple C. W., Sing M. (2001), The knowledge chain model: activities for competitiveness Int Journal of Expert Systems with Applications, Vol 20, Issue 1, pp.77-98 ISSN: 0957-4174.
[Hon 05] Hongyang C. (2005), Les Approches de Costing au long du Cycle de Vie Produit, Master recherche Mécanique Appliquée, Ecole Centrale de Nantes, ED MTGC.
[Hoo 91] Hoover C. W., Jones J.B. et al. (1991), Improving Engineering Design: Designing for Competitive Advantage, Washington D.C.: National Academy Press.
[H'Mid 02] H'Mida F. (2002), Contribution à l'estimation des coûts en production mécanique : l'approche entité-coût appliquée dans un contexte d'ingénierie intégrée, Doctorat de l'Université de Metz, 20 mars 2002, spécialité génie industriel.
[Inn 00] Innes J., Mitchell F., Sinclair D. (2000), Activity-Based Costing in the UKs Largest Companies: A Comparison of 1994 and 1999 Survey Results, Management Accounting Research, Vol.11, pp.349-362.
[Jae 04] Jae-Hyeon A., Suk-Gwon C. (2004), Assessing the contribution of knowledge to business performance: the KP3 methodology, Decision Support Systems journal, Vol 36 , Issue 4, Special issue: Knowledge management technique, pp.403 – 416, ISSN:0167-9236, Elsevier Science Publishers.
[Jai 05] Jaime A. (2005), De la gestion de la qualité à la gestion des connaissances dans les projets de recherche : Une approche par la gestion du contenu pour la recherche bibliographique, thèse de doctorat, docteur de L'INPG.
[Jha 96] Jha N.K., (1996), Probabilistic cost estimation in advance of production in a computerised manufacturing system through stochastic geometric programming, Comp. In. Industrial Engineering, Vol.30, n.4, 809-821.

[Kad 04] Kadj-Hamou K.; M. Aldanondo et E. Caillaud (2004), Configuration de produits et capitalisation de connaissances, Gestion dynamique des connaissances industrielles, pp. 335-351 Traité IC2, Hermes Lavoisier, ISBN : 2-7462-0952-7, 2004.
[Kap 04] Kaplinsky R. (2004), Spreading the Gains from Globalization: What Can Be Learned from Value-Chain Analysis? Problems of Economic Transition, Vol 47, n°2, pp. 74 – 115.
[Kap 02] Kaplinsky R., Morris M. (2002), A Handbook for Value Chain Research, IDRC, http://www.ids.ac.uk/ids/global/pdfs/VchNov01.pdf
[Kan 03] Kaynak H. (2003), The relationship between total quality management practices and their effects on firm performance, Journal of Operations Management, ISSN 0272-6963, Vol. 21, n°4, July 2003, pp. 405-435.
[Ker 06] Keraron Y., A. Bernard, B. Bachimont (2006), Digital Document Structures to enable Information Sharing along the Product Life Cycle, CIRP Design Seminar, Alberta, Canada.
[Ker 05] Keraron Y., A. Bernard (2004), The function of the document in the product life cycle, IDMME'2004 conference, Bath (UK), ISBN 1-85790-1290.
[Ker 04] Keraron Y., A. Bernard, B. Bachimont (2005), Annotation functionalities to enable an improved use of digital technical publication, International Workshop on Annotation for Collaboration, Paris, November, 24-25.
[Kle 00] Klein R. (2000), Knowledge Modelling in Design – the MOKA framework, Proceedings of the International AI en Design, J.S.Gero (éd.), Kluwer, Worcester, MA, June.
[Kri 98] Kiritsis D., P. Xirouchakis, (1998), An Icremental Part Manufacturing Cost Estimation Algorithm Using Petri Nets, ASME DECT'98, Atlanta; September.
[Kuw 97] Kuwata Y. (1997), Managing Knowledge using a Semantic-Network, proceedings of AAAI Spring Symposium on Artificial Intelligence in Knowledge Management, pp 94-98.
[Lab 04a] Labrousse M. (2004), Proposition d'un modèle conceptuel unifié pour la gestion dynamique des connaissances d'entreprise, thèse de Doctorat de l'Université et de l'Ecole Centrale de Nantes.
[Lab 04b] Labrousse M., A. Bernard, P. Véron (2004), Generic FBS concept for Process / Product / Resource integration, in Tools and Methods of Competitive Engineering, Edited by Horwvath, Xirouchakis, Vol1, pp.384-394, Millpress Rotterdam Netherlands, ISBN 90-5966-018-8.
[Lab 03a] Labrousse M., A. Bernard (2003), Modèle FBS enrichi pour la modélisation des processus d'entreprise, 3ème Colloque International, Conception et Production Intégrées, Meknes, Maroc.
[Lab 03b] Labrousse M., A. Bernard, P. Véron (2003), Enterprise processes traceability based on a FBS approach, 5e Congrès International de Génie Industriel, Québec, Canada.
[Lab 03c] Labrousse M., A. Bernard, P. Véron (2003), Contribution à la traçabilité des processus d'entreprise par une approche FBS, Congrès Français de Mécanique, Nice, France.
[Lab 02] Labrousse M., A. Bernard, P. Véron (2002), Référentiel numérique "moto" : proposition d'un modèle conceptuel de base, IDMME 2002, Clermont-Ferrand, France.
[Lar 06] Laroche F., A. Bernard, M. Cotte, S. Deniaud (2006), A new methodology for a new life of old technical machines, CIRP Design Seminar, Alberta, Canada.
[Lay 02] Layer A., E. Ten Brinke, F. Van Houten, H. Kals , S. Haasis (2002), Recent and future trends in cost estimation, International Journal of Computer Integrated Manufacturing, vol 15, n°6, Oct., p.499-510, ISSN: 0951-192x.
[Lem 90] Lemoigne J-L., La modélisation des systèmes complexes, Dunod, 1990. ISBN : 210004382X.
[Les 05] Lesprier T. (2005), Réalisation hybride de prototypes complexes à fonctionnalités évolutives, thèse de doctorat, Ecole Centrale de Nantes.
[Lev 06] Lévy M, Jouyet J.P. (2006), L'économie de l'immatériel - La croissance de demain, http://immateriel.minefi.gouv.fr/images/stories/immateriel.pdf, rapport de la Commission sur l'Economie de l'Immatériel,
[Liu 04] Liu Y., Basson A.H. (2004), 'Case Study Using COM (OLE) to Link CAD and Manufacturing Cost Estimation Software', COMA'04, International Conference on Competitive Manufacturing, Stellenbosch, South Africa, ISBN 0-7972-1018-0, pp. 168-174.

[Loh 04] Lohman C., Fortuin L., Wouters M. (2004), Designing a performance measurement system: A case study, European Journal of Operational Research, n°156, pp.267–286, ISSN: 0377-2217.
[Lom 06] Lombard M., L. Gzara Yesilbas (2006), Towards a framework to manage formalised exchanges during collaborative design, Mathematics and Computers in Simulation, vol. 70, n°5, February, Special issue: Computational engineering in systems applications (CESA 2003), pp.343 – 357, ISSN: 0378-4754.
[Lon 02] Lonchampt P., G. Prudhomme, D. Brissaud (2002), Assessment of mechanical products during the conceptual design stage using value criteria, 4d International Conf. on Integrated Design and Manufacturing in Mechanical Engineering IDMME'2002.
[Lop 06] Lopez R. (2006), Améliorer l'efficacité des systèmes de management de la qualité en capitalisant les connaissances, Thèse en Génie Industriel Université de Grenoble.
[Lor 01] Lorino P. (2001), Le Balanced ScoreCard revisité : dynamique et pilotage de performance, Actes du 22ième Congrès de l'Association Francophone de Comptabilité, Metz, http://www.afc-cca.com/docs_congres/congres2001/textespdf/Lorino.pdf
[Lor 94] Lorino P. (1994), Target Costing ou gestion par coût-cible, Revue Française de Comptabilité, April, n° 255 pp 35-46 and May N°256 pp 48-61.
[Lor 91] Lorino, P. (1991), Le contrôle de gestion stratégique: La gestion par les activités, Paris: DUNOD, 1991, ISBN – 2-10-000089-6.
[Mah 05] McMahon C.A., Giess M.D.,Culley S.J. (2005), Information management for through life product support: the curation of digital engineering data, Int. Journal of Product Lifecycle Management, vol.1, n°1, pp.26-42, ISSN 1743-5110.
[Mar 06] A. DeMarco, R. Green, J. Marino (2006), Integrated Design-to-cost - Empowering Engineers to Meet Affordability Goals, Cirp Design Seminar, Alberta, Canada.
[Mar 05a] Maropoulos P. G., B. C. Rogers, P. Chapman, C. D. W. Lomas, D. Zhang, D. G. Bramall, Digital Enterprise Technology in Spacecraft Design and Manufacture, CIRP Journal of Manufacturing Systems, vol.34, n°5, ISSN 0176-3377.
[Mar 05b] Maropoulos P. G., D. G. Bramall, P. Chapman, W. M. Cheung, K. R. McKay and B. C. Rogers (2005), Digital enterprise technology in production networks, Int. Journal of Advanced Manufacturing Technology, ISSN 0268-3768, pp.1-6.
[Mar 03] Martin P. and A. D'Acunto (2003), Design of a production system: an application of integration product-process, Tnt. Journal of Computer Integrated Manufacturing, Volume 16, n°7-8, p.509 – 516.
[Mar 02] F.O. Martin (2002), Les Technologies de l'Information et de la Communication en conception collaborative multi-site, Thèse de Doctorat de l'Université de Nantes.
[Mat 05] Mathelin S., J.-F. Boujut, M. Tollenaere (2005), Improving collaborative design tools in automotive industry: a case study, 15th International Conference on Engineering Design - ICED, Melbourne, Australia.
[Mat 99] Matta N., Corby O., Ribiere M. (1999), Méthodes de capitalisation de mémoire de projet, Rapport de recherche Interaction : Homme Machine, Images, Données et Connaissances, N° 3819 INRIA.
[Mat 95] Matta N. (1995) Méthodes de résolution de problèmes : leur explicitation et leur représentation dans MACAO-II. Thèse de doctorat, Université Paul Sabatier, octobre 1995.
[Mau 02] Mauchand M. (2003), Conception à coût objectif, modèle générique d'entreprise de fonderie sable – acier ; limite de modélisation », DEA Ecole Centrale de Nantes – ED : Mécanique, Thermique et Génie Civil – SPI.
[Mer 03a] Merlo C. (2003), Modélisation des Connaissances en Conduite de l'Ingénierie : Mise en Œuvre d'un Environnement d'Assistance aux Acteurs, Thèse de l'université de Bordeaux I.
[Mer 03b] Merlo C., Girard P. (2003), GRAI Engineering Method: An Object-oriented Approach for Information System Modeling, Computational Engineering in Systems Applications Multiconferences – CESA, 2003, Lille, France, juillet.
[Mer 07] K.Mertins, I.Finke, R.Orth, .Will (2007), Organisational Knowledge Management: from Strategy to Operational Implementation, p.355-361, ISBN: 0-7972-1164-0.
[Mev 03] Mévellec P. (2003), Les paramètres de conception des systèmes de coûts : étude comparative, Comptabilité, Contrôle, Audit, Tome 9, Vol.1, pp.95-110, mai.

[Mev 01] Mévellec P. (2001), Whole Life Cycle Costs: a new approach, 24th Annual Congress of the European Accounting Association, Athens, Greece, April.
[Mev 00] Mévellec P. (2000), Le coût global, nouvelle frontière du calcul de coût, FINÉCO, volume 10.
[Mev 98] Mévellec, P., Lebas, M. (1998). Managing simultaneously cost and value: the challenge, The Role of Management Accounting in Creating Value, Publication of IFAC, pp 13-25, New York.
[Mev 94] Mévellec P. (1994), Activity-based costing: a call for a French approach, Articles of Merits IFAC.
[Mev 93] Mévellec P. (1993), Systèmes de calcul de coûts de revient et subventionnements croisés, Revue Française de comptabilité.
[Mev 91] Mévellec P. (1991), Outils de gestion, la pertinence retrouvée, Paris: Editions Comptables Malesherbes, ISBN – 2-900-670-80-2.
[Mev 90] Mévellec P. (1990), Éléments fondamentaux de comptabilité, Paris: Librairie Vuilbert, ISBN – 2-7117-7647-6.
[Mic 89] Michaels, J.V. and Wood, W.P. (1989), Design to Cost, 5th Ed.,Wiley & Sons, New York.
[Mid 93] Midler C., « L'Auto qui n'existait pas », InterEditions, ISBN : 2-10-004228-9, 1993.
[Mil 02] Mille A. (2002), Gestion des connaissances : problématiques actuelles, livre Connaissances et coopération dans les systèmes industriels, sous la direction de R. Soenen et J. Perrin, Hermes Science ed°, chapitre 5, p.131-146, ISBN : 2746205289.
[Mis 04] Missikoff M. (2004), Ontologies for Interoperability, presentation at INTEROP – EMOI Workshop, June.
[Mis 03] Missikoff M., F. Taglino (2003): SymOntoX: A Web-Ontology Tool for eBusiness Domains. Proceedings Fourth International Conference on Web Information Systems Engineering (WISE'03) December 10 - 12, Roma, Italy, pp. 343.
[Mis 02] Missikoff M., R. Navigli, P. Velardi (2002): Integrated approach to web ontology learning and engineering, IEEE Computer, 2002, ttp://www.dsi.uniroma1.it/~velardi/IEEE_C.pdf.
[Mog 05] Mognol P. (2005), Réalisation de pièces unitaires et petites séries : De l'utilisation performante et raisonnée des process de production, Mémoire d'habilitation à diriger des recherches, Université de Nantes.
[Mok 01] Managing Engineering Knowledge (2001), MOKA: Methodology for Knowledge Based Engineering Application, Edited by Melody Stokes for the MOKA Consortium.
[Mor 03] Morel L, Boly V (2003), Theoretical approach of the interest of technological forecasting tools in the design and optimisation of thermodynamics systems, International Journal on Energy Environment Economics, July.
[Mud 04] Al-Mudimigh A. S., Zairi M., Ahmed A. M. M. (2004), Extending the concept of supply chain: The effective management of value chains. International Journal of Production Economics 87, 309-320.
[Ndi 02] N'Diaye D., M. Bigand, D. Corbel, J.P. Bourey (2002), Information system for production engineering: contribution to maintaining consistency of composite data using an object-oriented approach. International Journal of Computer Integrated Manufacturing Vol 15, p.233-241.
[Ndi 00]. Ndiaye D. (2000), Apport des technologies orientées objet dans l'étude et la mise en place d'un référentiel de conception pour les systèmes automatisés de production, thèse de doctorat de l'université de Lille 1.
[Ndl 01] Ndlela L.T., Du Toit A.S.A. (2001), Establishing a knowledge management programme for competitive advantage in an entreprise, International Journal of Information Management, vol.21, p.151-165.
[Ngu 06] Nguyen Van T. (2006), Gestion du déploiement de la maquette numérique et des données techniques en avant-projet aéronautique. Thèse de doctorat, Ecole Centrale Paris, 2006.
[Non 94] Nonaka, I. (1994), A Dynamic Theory of Organizational Knowledge Creation, Organization Science, Vol. 5, No. 1, , pp. 14-37.
[Non 97] Nonaka I., H. Takeuchi (1997), La connaissance créatrice, la dynamique de l'entreprise apprenante, Editions DeBoeck Universités.

[Non 00] Nonaka, I., Toyama, R., Konno N. (2000), SECI, Ba and Leadership: a Unified Model of Knowledge Creation, California Management Review, Vol. 33, pp. 5-34.
[Nor 03] Norman, R. and Ramirez, R. (1993), From value chain to value constellation: designing interactive strategy, Harvard Business Review, July-August.
[Per 96] Perrin J. (1996), Cohérence, pertinence et évaluation économique des activités de conception, in Cohérence, Pertinence et Evaluation, ECOSIP, Economica.
[Per 63] Perrin G. (1963), Prix de revient et contrôle de gestion par la méthode GP, Dunod.
[Pet 04a] Petiot J.F. (2004), Conception intégrée orientée client, Processus, méthodes et outils, Mémoire d'habilitation à diriger des recherches, IRCCyN, Ecole Centrale de Nantes.
[Pet 04b] Petiot J-F., B. Yannou (2004), Measuring consumer perceptions for a better comprehension, specification and assessment of product semantics. International Journal of Industrial Ergonomics. vol. 33, p.507-525.
[Pet 91] Petitdemange C. (1991), La maîtrise de la valeur: La gestion de projet et l'ingénierie simultanée – Paris-La Défense: Afnor Gestion , ISBN – 2-12-475021-6.
[Pet 90] Petitdemange C. (1990), La compétitivité par la maîtrise des coûts : Conception à coût objectif et analyse de la valeur - Afnor Gestion.
[Pic 04] D. Le Picard (2004), Impact environnemental en Prototypage Rapide, DEA Ecole Centrale de Nantes - ED : Mécanique, Thermique et Génie Civil – SPI.
[Ple 05] Du Plessis M. (2005). Drivers of knowledge management in the corporate environment, International Journal of Information Management, Volume 25, Issue 3, ISSN: 0268-4012, June, pp.193-202.
[Poi 95] Poitou J.P. (1995), Documentation is Knowledge : An Anthropological Approach to Corporate Knowledge Management", Proceedings of ISMICK'95, pp91-103, Compiègne, France.
[Por 98] Porter M. (1998), Competitive Advantage: creating and sustaining superior performance, Harvard Business Review, ISBN 0-684-84146-0.
[Por 96] Porter M. (1996), What is strategy?, Harvard Business Review, November-December, pp 61-78.
[Pre 04a] Du Preez N., Katz B. (2004), A Methodology for the Integration of General Knowledge Management Principles into Project Driven Business Processes. International Conference on Competitive Manufacturing (COMA 2004), Stellenbosch, South Africa, ISBN 0-7972-1018-0.
[Pre 04b] Du Preez N, Louw L. (2004), A Roadmap Approach to Implementing theory of Constraints in Manufacturing Organisations. International Conference on Competitive Manufacturing (COMA 2004), Stellenbosch, South Africa, ISBN 0-7972-1018-0.
[Pre 04c] Du Preez N, Uys J.W. (2004), The Application of Descriptive taxonomies to Facilitate Automatic Keyword Suggestion. International Conference on Competitive Manufacturing (COMA 2004), Stellenbosch , South Africa, ISBN 0-7972-1018-0.
[Rab 03] Rabeau S. (2003), Utilisation d'un outil d'aide a la décision pour la prédiction du risque suicidaire par les médecins généralistes, DEA Ecole Centrale de Nantes - ED : Mécanique, Thermique et Génie Civil – SPI.
[Ram 99] Ramirez, R. (1999), Value co-production: intellectual origins and implications for practice and research, Strategic Management Journal, No. 20, pp.49-66, ISSN: 01432095.
[Ras 06] Rasovska I. (2006), Contribution à une méthodologie de capitalisation des connaissances basée sur le raisonnement à partir de cas : Application au diagnostic dans une plate-forme d'e-maintenance, thèse de doctorat, Université de Franche-Comté.
[Rav 98] Raviart D., Senechal O., Tahon C. (1998). Methodology for a physico-economic product evaluation, starting in the design phase. Control Engineering practices, vol 6, pp. 489-498.
[Reh 98] Rehman S., M. Guenov, (1998), A methodology for modelling manufacturing costs at conceptual design, Computer in Industial Engineering, Vol.35, n.3/4, 623-626.
[Rei 97] Reimer U. (1997), Knowledge Integration for Building Organisational Memories, proceedings of KI'97, Workshop : Knowledge-Based Systems for Knowledge Management in Enterprises, Freiburg, October.

[Rob 05] Robin V. (2005), Evaluation de la performance des systèmes de conception pour la conduite de l'ingénierie des produits, prototype logiciel d'aide aux acteurs, thèse de doctorat, Université Bordeaux I.
[Rob 04] Robin V., P. Girard, D. Barandiaran (2004), Gestion d'Environnements de Conception pour l'Aide à la Conduite de la Conception Collaborative, Colloque IPIAutrans, 22-23 janvier.
[Ros 04] Rose B (2004), Proposition d'un référentiel support à la conception collaborative : CO²MED (COllaborative COnflict Management in Engineering Design), prototype logiciel dans le cadre du projet IPPOP. Doctorat de l'Université Henri Poincaré, décembre.
[Ros 02] Rose B., L. Gzara, M. Lombard, L. Lossent et G. Ris (2002), Vers un référentiel commun pour les connaissances collaboratives dans l'activité de conception de produits, 1er Colloque de Gestion des Compétences et des Connaissances en Génie Industriel, Nantes, 12-13 décembre.
[Rou 06] Roucoules L., B.Yannou et B.Eynard (2006), Ingénierie de la conception et cycle de vie des produits, traité IC2 – série Productique, Hermès Science Publication, ISBN 2-7462-1214-5, 420p.
[Roy 00] Roy R., Forsberg S., Kelvesjo S., and Rush C. (2000), Risk analysis of parametric cost estimates within a concurrent engineering environment, 7th ISPE International Conference on Concurrent Engineering: Research and Applications, Lyon, France.
[Rui 05] Ruiz-Dominguez G. A., Boujut J.-F. (2005), « Analyse Comparative de deux Expériences de Conception Collaboratives du Point de Vue Macroscopique », 9ème Colloque National AIP PRIMECA, La Plagne.
[Rus 00] Rush C., R. Roy (2000), Analysis of cost estimating processes used within a concurrent engineering environment throughout a product life cycle, 7th ISPE International Conference on Concurrent Engineering: Research and Applications, Lyon, France, July 17th - 20th, Technomic Inc., Pennsylvania USA, pp. 58-67.
[Rus 01a] Rush C., Roy R. (2001). Expert judgement in cost estimating: Modelling the reasoning process. Concurrent Engineering: Research and Applications (CERA), Journal, vol°9 n°4, December.
[Rus 01b] Rush C., and Roy R. (2001). 'Knowledge in Cost Modelling.' The Cost Engineer: The Journal of the Association of Cost Engineers, 39(1), pp. 10-12.
[Saa 77] Saaty T.L. (1977), A scaling method for priorities in hierarchical structures, Journal of Mathematical Psychology, Elsiever, Vol. 15, pp. 229-241, ISSN: 0022-2496.
[Saa 80] Saaty T.L. (1980), The analytic hierarchy processNew York, Mc Graw-Hill.
[Sav 91] Savage C., Fifth Generation Management, Co-creating through Virtual Enterprising, Dynamic Teaming and Knowledge Networking, Butterworth Heinemann, 1991, ISBN 0-7506-9701-6.
[Sch 04] Schmid, K.K. and John, I. (2004), A customizable approach to full lifecycle variability management, Science of Computer Programming, Vol. 53, No. 3, pp.259-284, December.
[Sch 99] Schreiber G. H Akkermans (1999), Knowledge Engineering and Management - The Common KADS Methodology, The MIT Press, Cambridge, Massachusetts; London, England.
[Sea 05] Searle J.R. (2005), Mind: A Brief Introduction, Oxford University Press, ISBN: 0195157346.
[Sea 02] Searle J.R. (2002), Consciousness and Language, Cambridge University Press, ISBN: 0521597447.
[Sea 80] Searle J.R. (1980), Minds, Brains, and Programs, The Behavioral and Brain Sciences, vol. 3. Copyright 1980 Cambridge University Press.
[Seg 01] Seguela P. (2001), Construction de modèles de connaissances par analyse linguistique de relations lexicales dans les documents techniques, Thèse de doctorat de l'université Paul Sabatier Toulouse 3, école doctorale Informatique et Télécommunications.
[Sen 04] Senechal O. (2004), Pilotage des systèmes de production vers la performance globale, Mémoire d'habilitation à diriger des recherches, l'Université de Valenciennes et du Hainaut Cambrésis
[Sen 98] Senechal O., Tahon C. (1998). A methodology for integrating economic criteria in design and production management decisions. International Journal of Production Economics, 56, pp. 557-574.
[Sen 97] Senechal O., Tahon C. (1997). A modelling approach for production costing and continuous improvement of manufacturing processes. Production Planning and Control, 8, pp. 731-742.

[Sen 96] Senechal O. (1996). Proposition d'une méthodologie pour l'aide à l'estimation des performances physico-économiques des systèmes de production dans une approche concourante. Mémoire de Doctorat, Université de Valenciennes et du Hainaut-Cambrésis.
[Sha 48] Shannon C.E. (1948), A mathematical theory of communication, Bell System Technical Journal, Vol. 27, July pp. 379-423 and October pp.623-656, http://pespmc1.vub.ac.be/books/Shannon-TheoryComm.pdf
[Shi 91] Shields, M. and Young, S.M. (1991), Managing product life cycle cost: an organizational model, Journal of Cost Management, Ed. C. & J. STENZEL, Winter, pp.15-22.
[Sim 97] Simon, G. (1997). Modèles et méthodes pour la conception des mémoires d'entreprise. Le système DOLMEN : une application en métallurgie. PhD Thesis, Université Henri Poincaré, Nancy I.
[Smi 03] Smialek M., L. Balcerek (2003), The knowledge-based content management application design methodology, Icons : Intelligent Content Management System, IST-2001-32429.
[Soe 01] Soenen R. (2001), Rapport d'activité du projet METACOG: Méthodologique d'Aide à la Conception pour un Coût Objectif Global, programme CNRS PROSPER, Janvier.
[Sun 00] Sun H. (2000), Total quality management, ISO 9000 certification and performance improvement, International Journal of Quality & Reliability Management, vol. 17, n°2, ISSN: 0265-671X, pp. 168-179
[Tar 06] Tarí J.J., Sabater V. (2006), Human aspects in a quality management context and their effects on performance, International Journal of Human Resource Management, ISSN 0958-5192, Vol 17, n° 3, pp. 484-503
[Tay 03] Taylor W.A.; Wright G.H. (2003), A longitudinal study of TQM implementation: factors influencing success and failure, Omega International Journal, ISSN 0305-0483, Vol. 31, n°2, April 2003, pp. 97-111.
[Tah 03] Tahon C. (2003), Evaluation des performances des systèmes de production, Hermes, Traité IC2 - Série Productique, ISBN : 2-7462-0634-X.
[Ter 05] Terrier M (2005), Optimisation du processus de fabrication en usinage à grande vitesse sur machines-outils à structure parallèle, thèse de doctorat, Ecole Centrale de Nantes.
[Tix 01] Tixier B. (2001), La problématique de la gestion des connaissances, Ingénierie des Connaissances, rapport de recherche N° 01.9, www.sciences.univ-nantes.fr/irin/Vie/RR/indexGB.html
[Thi 04] Thibault A., P. Litzler, A. Siadat, J.Y. Dantan et P. Martin (2004), Systèmes de gestion de connaissances : acquisition de connaissances dans un système à base de cas et aide à l'estimation du coût, IC'2004, Lyon.
[Tom 04] Tomala F., Senechal O (2004), Innovation Management : academic and industrial point of view. International Journal of Project Management (IJPM), 22/4, pp. 281-287.
[Tom 03a] Tomala F., Senechal O (2003). Évaluation prospective de la performance des systèmes de Production - Considérations économiques. In Christian Tahon (Ed.), Evaluation des performances des systèmes de production, Hermes - Traité IC2, Série Productique, ISBN : 2-7462-0634-X, pp. 115-136.
[Tom 03b] Tomala F., Senechal O. (2003). Proposition d'application de méthodes d'analyse de données pour le calcul du coût d'utilisation d'un produit. CPI2003 : 3ème Conférence International de Conception et Production Intégrées, Meknès, Maroc, Octobre.
[Tom 02] Tomala F. (2002). Proposition de modèles et méthodes pour l'aide à l'évaluation de la performance globale d'une innovation dès sa conception. Mémoire de Doctorat, Université de Valenciennes et du Hainaut-Cambrésis.
[Tre 01] Trebucq B. (2001), Evaluation et Amélioration des processus de conception dans les filières métiers, IP/Savings, PCO Technologies.
[Tsa 88] Tsang J.P. (1988), The PORPEL Process Planner, Proceedings of 19th CIRP Seminar on Manufacturing Systems, vol. 17 N°2, p115-123.
[Ume 90] Umeda, Y., Tomiyama, T., Yoshikawa, H. (1990), Function, Behavior and Structure », in J.S. Gero (ed.): Applications of Artificial Intelligence in Engineering V, Vol 1: Design, Proceedings of the Fifth International Conference, Boston, USA, July 17-20, Computational Mechanics Publications, Southampton, Boston, Springer-Verlag, Berlin, pp. 177-193.

[Val 93] Vallespir B., C. Merle, G. Doumeingts (1993), GIM: A technico-economic methodology to design manufacturing systems, CEP, vol. 1, n°6.
[Van 07] F.J.A.M. Van Houten (2007), Design in the Era of Mass Customisation, Int. Conf on Competitive Manufacturing 2007: The Challenge of Digital Manufacturing, p.81-99, ISBN: 0-7972-1164-0.
[Van 91] F.J.A.M. Van Houten (1991), PART : A Computer aided Process Planning System, Proefschrift Enschede Ed, ISBN 90-9004127-3.
[Vin 01] Vincent B. (2001), Analyse comparée de méthodes de gestion des connaissances pour une approche managériale, Xième Conférence de l'Association Internationale de Management Stratégique, 13-14-15 juin.
[Wain 01] Wainwright C. (2001), Knowledge Management: Aspects of knowledge, Management Services, Vol. 45, nº 11, Novembro de 2001, pp. 16-19.
[Wal 96] Wallace G., P. Sackett (1996), Integrated design for low production volume, large, complex products, Integrated Manufacturing Systems, Volume 7, Number 3, March, pp. 5-16.
[Wes 03] Westkämper E. (2003), Assembly and Disassembly Processes in Product Life Cycle Perspectives, CIRP Annals, Keynote Paper, STC A, p.579.
[Whi 88] Whitney D.E. (1988), Manufacturing by design, Harward Business Review, Vol. 66, No. 4, pp.83-91, July-August 1988.
[Wie 92] Wielinga B. (1992), "KADS modeling approch to knowledge engineering ", academic press, London UK,.
[Xir 02] Xirouchakis P. and Sprumont, F. (2002), Towards a knowledge-based model for the computer aided design process, Concurrent Engineering-Research and Applications, Vol 10, n°2, p.129-142.
[Xir 99] Xirouchakis, P., Kiritsis, D., Neuendorf, K.P. (1999), A Petri net system for Process Planning Cost Estimation. Int Journal in Advances in Engineering Software, vol 30, n°6, p.357-387, ISSN: 0965-9978.
[Xir 98] Xirouchakis P., D. Kiritsis, J.G. Persson (1998), Petri net technique for process planning cost estimation; CIRP GA 98, Athens, Greece.
[Yac 04a] Yacoub M. (2004), Conception des systèmes: calculs technico-économiques et aide à la décision dans la conduite d'un projet "recherche", Doctorat, Université Paul Sabatier, Toulouse, Juillet.
[Yac 04b] Yacoub M., D. Esteve (2004), Technico-economic optimization real time control of projects of research-development, IPMA World Congress on Project Management, Budapest (Hongrie), 19-20 Juin.
[Yan 04] Yannou B., Petiot J.-F., (2004), From Non-Explicit Need to Product Assessment: a New Four-Spaces Design Model. International Journal of Design Sciences and Technology, vol. 12, p. 13-25.
[Yan 02a] B. Yannou, J-F. Petiot (2002), Needs, Perceptions, Functions and Products : highlight on promising design methods linking them, 4d International Conf. on Integrated Design and Manufacturing in Mechanical Engineering IDMME'02.
[Yan 02b] Yannou B., F. Limayem S. Hajsalem (2002), Comparaison des apports de l'analyse de la valeur et de la méthode spec pour l'aide à la conception préliminaire de produits, Mécanique et Industries Vol 3, n°2, p.189-200.
[Yos 03] Yoshimura, M., Izui K. and Fujimi, Y. (2003), Optimising the decision-making process for large-scale design problems according to criteria interrelationships, Int. J. Production Research, June, Vol. 9, No. 41, pp. 1987-2002.
[Zac 01] Zacklad M., M. Grundstein (2001), Ingéniérie et capitalisation des connaissances (Traité IC2 série informatique et systèmes d'information), ed° Hermes Science, ISBN 2-7462-0234-4.
[Zac 99] Zacklad M. (2000), La théorie des transactions intellectuelles : une approche gestionnaire et cognitive pour le traitement du COS, Intellectica, numéro spécial sur le COS, n°30-2000/1, p.195-222, ISSN n° 0769-4113
[Zir 05] Zirmi O., H. Paris (2005), Modélisation de l'usinabilité des pièces aéronautiques dans un contexte de conception de gamme d'usinage, 9ème Colloque National AIPPRIMECA, La Plagne, 5-6 avril.
[Zun 01] Zuniga G.L. (2001), Ontology: Its Transformation From Philosophy to Information Systems, FOIS'01, Ogunquit, Maine, USA, October.

[@COR] http://www.cordis.lu/ist/fet/uie.htm
[@EVEN1] http://even.tchpc.tcd.ie/
[@EVEN2] http://www.irccyn.ec-nantes.fr/even et http://www.irccyn.ec-nantes.fr/even/programme.html
[@GDT] http://www.granddictionnaire.com
[@IND] http://www.indutech.co.za/
[@Inter] http://interop-noe.org
[@KM] KM Actu http://www.kmactu.com/sections.php
[@Met] http://www.univ-valenciennes.fr/PROSPER/serveur/doc/lyon/METACOG.doc
[@MOK] http://www.kbe.cov.ac.uk/moka/
[@UEML] www.ueml.org
[@USI] http://www.usiquick.com/
[@VCES] http://euproject.v-ces.com/events.html
[@VRL] http://www.vrl-kcip.org/
[@WIK] http://fr.wikipedia.org/wiki/Accueil

Références sur le soudage ATIG

[Bur 86] Burgardt P., Heiple C.R. (1986), Interaction between Impurities and Welding Variables in Determining GTA Weld Shape, Welding Research Supplement, June, p.150-155.
[Cho 91] Choo R.T., J.Szekely (1991), The Effect of Gas Shear Stress on Marangoni Flows in Arc Welding, Welding Research Supplement, September, p.223s-233s.
[Deb 96] Debuigne A. (1996), Caractéristique de l'électrode de tungstène en soudage TIG, Soudage et Techniques Connexes, Vol.50 - N° 11/12, Nov./Dec., p.9-32.
[Ela 90] Elahouel A., Contribution au soudage du titane et de son alliage TA6V - Etude technologique et métallurgique, Thèse de Doctorat, Université de Nantes, Décembre.
[Ero 79] Erokhin A.A. (1979), The Force Exerted by the arc on a Metal Being Melted, Avt. Svarka, N°9, p.21-26.
[GTA 91] Gas Tungsten Arc Welding (1991), American Welding Society, Welding Handbook, 8th Edition, Volume 2, ISBN : 0-87171-354-3, p.73-107.
[Hei 85] Heiple C.R., J.R. Roper (1985), Effect of SO2 Shielding Gas Addition on GTA Weld Shape Welding, Welding Research Supplement, p.159-162.
[Key 93] Key J.F. (1993), Arc Physics of Gas Tungsten Arc Welding, ASM Handbook, vol 6, Welding Brazing and Soldering, ISBN 0-87170-382-3, pp 30-35.
[Lee 96] Lee S.Y., S.J.Na (1996), A Numerical Analysis of a Stationary, Gas Tungsten Welding Arc Considering Various Electrode Angles, Welding Research Supplement, September, p.269s-279s.
[Mar 96] Marya S. (1996), Effect of minor chemistry elements on GTA weld fusion zone characteristics of a commercial titanium, Scripta Metallurgica et Materialia, Vol 34, N°11.
[Men 98] Mendez P.F., T. Eagar (1998), Modeling Penetration and Free Surface Depression during High Current Arc Welding, Massachusetts Institute of Technology, ASM 98, Trends in Welding Research, Proc. Conf., June, p.13-18.
[Mil 84] Mills K.C., B.J. Keene, R.F. Brooks, A. Olusanya (1984), The Surface Tension of 304 and 316 Type Stainless Steel and their Effect on Weld Penetration, Proc. Centenary conference metallurgy department, University of Strachclyde, Glasgow, June.
[Mil 90] Mills K.C., B.J. Keen (1990), Factor Affecting Variable Penetration, Intrenationals Material Reviews, vol.35, n°4, p.185-216.
[Saf 94] SAF (1994), Les procédés de soudage, Centre de formation du soudage, N°1515-9406.
[Sav 94] Savage W., S. Strunck, Y. Ishikawa (1994), The Effect of Electrode Geometry on Gas Tungsten Arc Welding, Welding Journal Research Supplement, November, p.489s-496s.
[Tsa 83] Tsai K. (1983), Heat Distribution and Weld Bead Geometry in Arc Welding, PhD, Massachusetts Institut of Technologie, Cambridge.

Troisième Partie

Copie des publications personnelles

Sommaire des tirés à part

Perry N., Candlot A. (2007), Emergence of Knowledge Symbiotic & Collaborative Networks: how to reach the future work Standards? Int. Journal on Decision Support Systems, Elsiever Ed°, ISSN: 0167-9236, Vol. 43, issue n°4,pp41-51.

Perry N., Bernard A., Delplace J.-C. (2007), Concurrent Cost Engineering for decisional and operational process enhancement in a foundry, International Journal of Production Economics, Issue on Concurrent Cost Engineering, Edited by R. Roy, Elsiever, ISSN 0925-5273, Vol 109, n°1-2, pp2-11.

Perry N., S. Ammar-Khodja, A. Candlot, A. Bernard (2006), Approche méthodologique pour la maîtrise du cycle de vie des connaissances – Application aux outils de KBE, Chp. 18 de Ingénierie de la conception et cycle de vie des produits, Hermès Science Publication, ISBN 2-7462-1214-5.

Mevellec P., **N. Perry** (2006), Whole Life Cycle Cost: a new approach, International Journal of Product Lifecycle Management, Vol 1, n°4, 2006, ISSN 1743-5110.

Mauchand M., **N. Perry**, A. Bernard (2006), Specification management for the cost constraint optimisation in micro-electronic design, International Journal of Manufacturing Technology and Management, Inderscience Publisher, ISSN (Online): 1741-5195 - ISSN (Print): 1368-2148

Du Preez N., **Perry** N., Candlot, A., Bernard A., Uys W., and Louw L. (2005), Customised high-value document generation, CIRP Annals, Vol. 54/1/2005, Edition Colibri Publishers, ISBN 3-905 277-43-3, pp.123-126.

Bernard A., N. **Perry**, J.C. Delplace, S. Gabriel (2004), Quotation for the value added assessment during product development and production processes, Methods and Tools for Co-Operative and Integrated Design, Springer, editor: S. Tichkiewitch, D. Brissaud, ISBN 1402018894, pp.35-43.

Perry N., A. Bernard (2003), Cost objective PLM and CE, Concurrent Engineering 2003: the Vision for the Future Generation in Research and Applications, ISBN 90 5809 623 8, p.817-822. Title Volume 1 - Enhanced interoperable systems, J. Cha et al. (eds) © 2003 Swets & Zeitlinger, Lisse.

Perry N., S. Marya, E. Soutif, (2000), Enhanced Weld Penetrations in Titanium during GTA and Laser Welding through Flux Applications, "Titanium'99: Science and Technology", CRISM publishing, ISBN 5-900791-09-2, Vol. III, p 1746-1753. IIW IX 2040-02 Copenhage discussion