

Journée AIP - PRIMECA de GRENOBLE

Mardi 22 mai 2001

**Dynamique des connaissances en  
conception : acquisition,  
capitalisation et réutilisation**



# **Dynamique des connaissances en conception : acquisition, capitalisation et réutilisation**

## **Sommaire**

<i>Introduction</i>	page 1
<i>Une expérience de capitalisation et de déploiement de la connaissance pour la maintenance des machines de tri de la poste</i>	page 3
<b>Fabrice GUILLET, Dominique FOLLUT, Pascal VANDEKERCKHOVE, Jacques PHILIPPE</b> Ecole Polytechnique de l'Université de Nantes rue C. Pauc 44087 Nantes Cedex 03 PERFORMANSE -Atlantpôle - La Fleuriaye BP703 44481 Carquefou DOMI - LA POSTE - 58 rue de Reverdy 28033 Chartres	
<i>Gestion des connaissances et conception mécanique</i>	page 9
<b>Nada MATTA et Jean-Louis ERMINE</b> Laboratoire Tech-CICO, Université de Technologie de Troyes, BP 2060, 10010 Troyes cedex	
<i>Capitalisation des connaissances dans un contexte d'ingénierie coopérante pour la gestion de données de coupe</i>	page 15
<b>Laurent DESHAYES et Jean-François RIGAL</b> Laboratoire CASM, INSA de Lyon, Domaine Scientifique de la Doua, 69621 Villeurbanne cedex	
<i>Prise en compte des connaissances, savoir et savoir-faire dans la conception de produits mécanique : application à la conception d'une liaison pivot</i>	page 23
<b>Philippe BELLOY, Emmanuel FOUCARD, Benoît EYNARD, Pascal LAFFON, Lionel ROUCOULES</b> LASMIS, Université de Technologie de Troyes, BP 2060, 10010 Troyes cedex	
<i>Représentation des connaissances à base de contraintes en ingénierie mécanique</i>	page 29
<b>Pierre-Alain YVARS</b> ISMCM-CESTI, GRIIEM, 3 rue F. Hainaut, 93407 Saint-Ouen cedex	
<i>Modélisation des connaissances pour la conduite de la conception</i>	page 36
<b>Philippe GIRARD, Benoît EYNARD et Christophe MERLO</b> LAP, Université de Bordeaux 1, 351 cours de la Libération 33405 Talence LASMIS, Université de Technologie de Troyes, BP 2060, 10010 Troyes cedex LIPSI-ESTIA, Technopôle Izarbel, 64210 Bidart	

- Un exemple concret de gestion des connaissances à AIRBUS* page 43  
**René PELTIER**  
AIRBUS
- Portails à base d'agents pour la capitalisation des connaissances dans les projets de R&D* page 51  
**Jean-Paul BARTHES et César TACLA**  
Laboratoire HEUDIASYC, UTC, BP 20529, 60205 Compiègne cedex
- Propositions d'actualisation de la technologie structurale pour créer et utiliser des documentations technologiques* page 59  
**Yves CARTONNET**  
ENS de Cachan, 61 avenue du président Wilson, 94230 Cachan
- Intégration de l'environnement en conception par apprentissage : proposition d'un outil de pilotage* page 63  
**Loïc JACQUESON, Dominique MILLET, Stéphanie MINEL, Améziane AOUSSAT**  
FAURECIA R&D, route d'Étampes, Brières-les-Scellés BP 89, 91152 Étampes cedex  
Laboratoire CPNI ENSAM Paris, 151 Boulevard de l'Hôpital, 75013 Paris
- Capitaliser les savoirs et innover dans les projets : deux démarches antinomiques ?* page 73  
**Henri TIGER et Benoît WEIL**  
Institut de la Production et des organisations Industrielles  
Laboratoire CRISTO, CNRS UMR 5061, UPMF BP47- 38040 Grenoble CEDEX 9)  
CGS, ENMP 75272 Paris CEDEX 06

# **Dynamique des connaissances en conception : acquisition, capitalisation et réutilisation**

## ***Introduction***

Dans un contexte industriel fortement concurrentiel, les entreprises sont contraintes de rationaliser leur modes de fonctionnements et par la même leur processus de conception. Certains observateurs décrivent la conception comme un processus de création de connaissances qu'il convient de gérer, d'organiser et d'instrumenter pour en rationaliser le fonctionnement.

L'amélioration des techniques de conception repose donc sur la gestion des connaissances au travers de leur création, de leur acquisition, de leur capitalisation et de leur réutilisation. Il s'agit d'un processus continu qui s'appuie sur des ressources humaines, informatiques ou autres, et qui s'inscrit dans une organisation et un contexte socio-économique.

L'objectif de cette journée thématique AIP-Primeca est d'ouvrir une réflexion sur les problèmes de gestion de connaissances en conception par l'analyse de leur nature, acquisition, capitalisation et réutilisation.

La journée a été organisée autour de deux thèmes majeurs. La matinée est essentiellement consacrée à des expériences d'outils de mise à disposition de savoir constitués. Ces outils instrumentent souvent des processus routiniers et font l'hypothèse que les savoirs ont été capitalisés efficacement et seront applicables dans des contextes similaires. Les connaissances sont notamment formalisées sous forme de règles et la conception est alors vue comme un processus de prise de décisions.

L'après-midi se focalise plus particulièrement sur la constitution du savoir ainsi que sur les méthodes et outils qui lui sont associés. La capitalisation nécessite un processus d'apprentissage individuel et collectif qui se détermine en partie dans l'action même de conception. Ainsi, cette approche laisse plus facilement la place à de nouveaux processus ou méthodes dédiés à des conceptions innovantes.

Ainsi cette journée sera l'occasion de s'interroger sur la tension qui opère aujourd'hui dans les entreprises entre la logique projet tournée vers l'efficacité et la réduction des risques, et des logiques d'innovation tournées vers la confrontation et la constitution de nouveaux savoirs.

*Frédéric Noël, Franck Pourroy, pôle CI du laboratoire 3S*



# UNE EXPÉRIENCE DE CAPITALISATION ET DE DÉPLOIEMENT DE LA CONNAISSANCE POUR LA MAINTENANCE DES MACHINES DE TRI DE LA POSTE

Fabrice Guillet<sup>1</sup> , Dominique Follut<sup>2</sup> , Pascal Vandekerckhove<sup>3</sup> , Jacques Philippé<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Ecole Polytechnique de l'Université de Nantes rue C. Pauc 44087 Nantes Cedex 03

<sup>2</sup>PERFORMANSE -Atlantpôle - La Fleuriaye BP703 44481 Carquefou

<sup>3</sup>DOMI - LA POSTE - 58 rue de Reverdy 28033 Chartres

## 1- La problématique

La direction de l'organisation de la maintenance industrielle DOMI est en charge au sein de La POSTE de la maintenance des installations techniques et en particulier de la maintenance des *machines de tri* pour tous les formats de courrier existants . Une telle machine est un assemblage très complexe faisant intervenir un ensemble de technologies : la mécanique de précision ,la reconnaissance optique , l'informatique... .En dehors de la fonction de maintenance pure la DOMI se doit en outre de *capitaliser et de diffuser* les connaissances concernant cette maintenance . Le cahier des charges soumis au laboratoire CID peut se résumer ainsi :

- rechercher la connaissance
  - dans les bases de données d'incidents
  - auprès des experts
- formaliser la connaissance extraite
- mémoriser la connaissance extraite
- déployer la connaissance
- faire évoluer la connaissance
- former de nouveaux experts en maintenance

Ce cahier des charges contient donc tous les composants de base liés aux problèmes de mémoire d'entreprise , de capitalisation des connaissances ,et plus généralement de gestion des connaissances.

## 2- La recherche et la formalisation des connaissances

Deux sources peuvent être utilisées :

- une base de données d'incidents
- la connaissance détenue par les experts

### 2.1- La base de données d'incidents

Le problème posé est caractéristique du domaine *KDD* (Knowledge Data Discovery) encore désigné par ce que l'on appelle *Datamining* .Nous avons basé notre recherche sur la découverte de règles d'association à partir des attributs présents dans les champs de la base de données . Pour ce faire nous avons utilisé

- pour la phase de datamining ( fouille des données) l'outil **Mineset** de Silicon Graphics afin de sélectionner les attributs les plus significatifs et effectuer les transformations nécessaires dans une phase de focus pour réaliser ensuite une recherche de règles

- pour la recherche de règles d'associations nous avons mis en œuvre un atelier d'extractions de connaissances **FIABLE-FELIX** conçu dans le cadre d'un partenariat entre la société PERFORMANSE SA de Nantes et le laboratoire CID (Connaissances Informations Données) avec le soutien de l'ANVAR des Pays de LOIRE . Cet atelier permet notamment la découverte de règles du type :

**SI** *attribut<sub>1</sub> et .....et attribut<sub>n</sub>* **ALORS** *attribut<sub>x</sub> et .....et attribut<sub>y</sub>*

Où s'il existe une classification conceptuelle où issue de l'analyse de données

**SI** *attribut<sub>1</sub> et .....et attribut<sub>n</sub>* **ALORS** *classe<sub>x</sub>*

Ces règles sont caractérisées par des indices de qualité permettant de sélectionner les plus *sûres* où les plus *caractéristiques* :

Intensité d'implication  
Probabilité conditionnelle  
Support

L'algorithme utilisé pour parcourir la base de données est basé sur *a-priori* développé par Agrawal. Les règles découvertes sont directement utilisables dans un système d'aide à la décision basé sur des règles de production.

*Les connaissances découvertes se sont avérées trop générales en raison de la nature même de la base de données. Cette base est en cours de reconstruction à partir des observations réalisées dans le cadre de l'utilisation de SAMANTA et dans le cadre de la mise en place d'un service de hotline enregistrant les interventions dans une base de données ACCESS*

## 2.2- Le transfert de connaissances

Un groupe de cinq experts du service DOMI a permis de réaliser un transfert de connaissances encadré par la méthode KADS . Ce transfert a permis de formaliser l'ensemble des démarches de diagnostic par des logigrammes .Cette représentation a autorisé la réalisation d'un module de modification avec pour objectif de faire évoluer la base de connaissance en fonction : des modifications apportées aux machines de tri , de la découverte de nouvelles pannes , de la mise en service de nouvelles machines de tri.....

## 3- Le serveur de connaissances

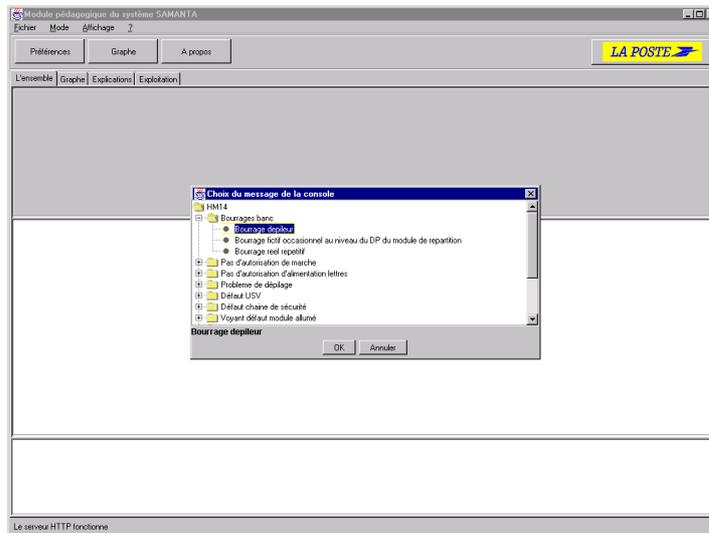
Le serveur a été conçu de façon à pouvoir évoluer indépendamment de tout support i.e. quelque soit l'ordinateur et son système d'exploitation . D'autre part une évolution vers un déploiement en réseau est prévisible .En conséquence la réalisation est de type intranet .Elle intègre un serveur APACHE permettant un fonctionnement client-serveur immédiat .

Le serveur est conçu de façon entièrement modulaire pour permettre une évolution par adjonction de modules. .

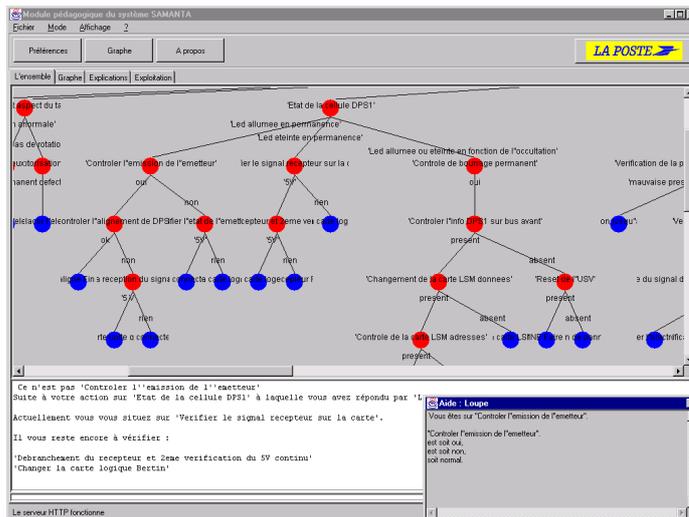
Il comporte :

- Un module de diagnostic
- Un tableau noir

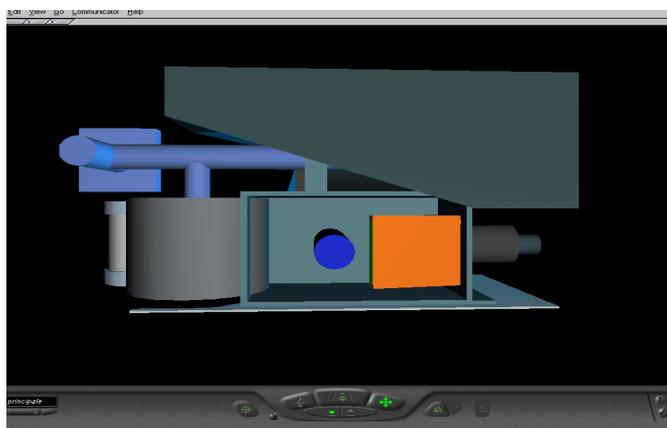
- Un module pédagogique



- Un module de mise à jour de la base de connaissance



- Un module de représentation en réalité virtuelle de la machine

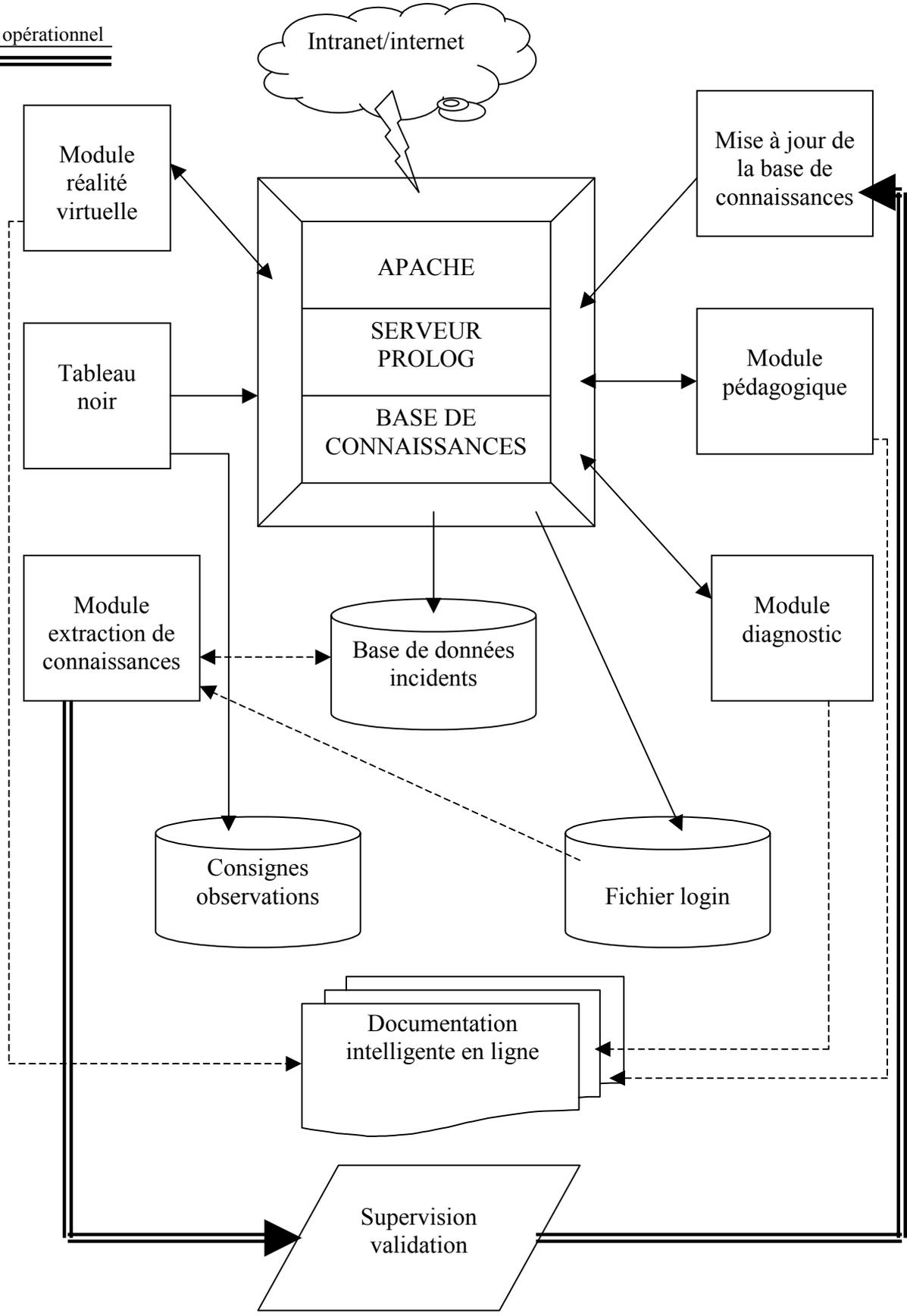


Il comportera :

- Un module d'extraction de connaissances opérant sur la base de données incidents le fichier des login utilisateurs
- Un module documentation intelligente en ligne

En cours de réalisation

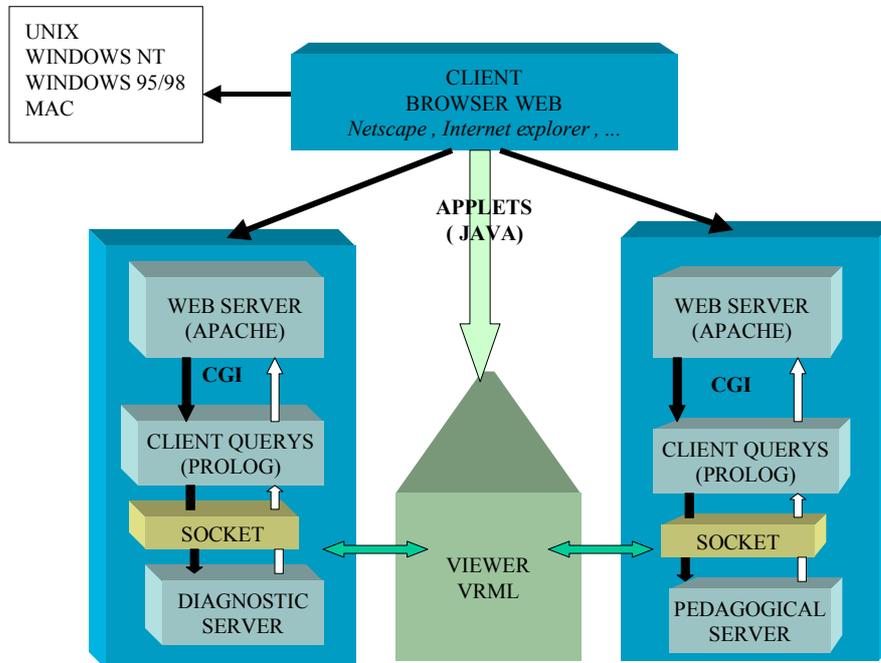
opérationnel



Chaque module possède sa propre interface-utilisateur.

Le choix de PROLOG a permis de gérer la connaissance actuelle sous forme de logigrammes et permet également de généraliser le serveur à d'autres types de connaissances : réseaux sémantiques , objet avec héritage , logique des prédicats , ....

Le choix intranet/APACHE permet de déployer la connaissance sur un réseau d'entreprise et d'en gérer et observer les accès et les utilisations



Le module de représentation en réalité virtuelle utilise le langage VRML adapté au monde internet.

#### 4- La mise en œuvre et les fonctionnalités

##### 4.1 Mode expert *opérationnel*

L'interface permet de soumettre au serveur les faits observés sur un incident de fonctionnement .Celui-ci parcourt alors le logigramme en suggérant des modes opératoires permettant d'affiner le diagnostic jusqu'à correction du défaut .

A tout moment de la procédure de diagnostic l'expert a la possibilité de consulter le modèle en réalité virtuelle qui se positionnera sur le module ou le composant en cause par un ensemble de caméras VRML est couplées aux règles aux règles de diagnostic.

A tout moment du diagnostic l'expert peut visualiser le logigramme et son positionnement dans l'arbre de diagnostic.

*La base de données d'incidents mémorise tous les événements*

Le travail de maintenance s'opère par brigades sur les différents sites . La brigade descendante peut transmettre des informations à la brigade montante par le moyen du *tableau noir* . Ces informations de type texte sont mémorisées dans une base de données .

##### **En cours**

L'accès à une documentation en ligne

- De façon autonome
- A partir du diagnostic

- A partir du modèle en réalité virtuelle

#### 4.2 Mode pédagogique

##### *opérationnel*

L'interface peut soumettre des cas de dysfonctionnement depuis éventuellement la base de données d'incidents

L'accès direct au module en réalité virtuelle permet de naviguer dans la machine sans mobiliser une machine réelle ce qui minimise les coûts de formation

##### *En cours*

Des modules d'exercices guidés et progressifs

#### 4.3 Mode supervision

##### *opérationnel*

La mise à jour de la base de connaissance par une interface permettant d'intervenir directement sur le logigramme graphique ; le système de règles est automatiquement modifié.

L'accès à ces fonctionnalités est sécurisé et seulement accessible à l'administrateur du système

Les opérations de validation de la connaissance à ajouter ou à modifier nécessitent la mise en place d'un comité d'experts

##### *En cours*

Ce comité aura accès au module d'extraction de connaissances adapté aux bases de données générées par le système pour :

- Découvrir de nouveaux types d'incidents à partir de la base de données incidents
- Analyser la base de données texte consignes/observations ( textmining )
- Découvrir les comportements de diagnostic sur le fichier de login ( analyse de séquences )
- Découvrir les comportements d'utilisation de la documentation ( analyse de séquences )

#### 5- Conclusions

Les perspectives d'évolution du système sont très importantes . Le déploiement est en cours ; il s'appuie sur un matériel spécifique étudié par la POSTE pour supporté SAMANTA , la documentation numérisée intelligente pilotée par SAMANTA , des connexions directes sur les machines de tri . Il s'agit d'un portable sous Windows NT ou 98 .A titre indicatif une documentation complète d'une telle machine représente en moyenne 25 classeurs de 200 pages textes et schémas minimum par classeur .

Les bases de données de tous les portables seront périodiquement agrégées pour découvrir et pérenniser de nouvelles connaissances . L'ensemble de cette démarche s'inscrit parfaitement dans un contexte KM (Knowledge Management)

Nous envisageons actuellement la généralisation de la démarche et de son support technique à d'autres problématiques recelant de la connaissance : démarche de bureau d'étude , système d'information , processus industriels de production .

[fguillet@ireste.fr](mailto:fguillet@ireste.fr) ,

[dominique.follut@performanse.fr](mailto:dominique.follut@performanse.fr) ,

[pascal.vandekerckhove@smip.laposte.telepost.fr](mailto:pascal.vandekerckhove@smip.laposte.telepost.fr)

[jacques.philippe@performanse.fr](mailto:jacques.philippe@performanse.fr)

# Gestion de connaissances et conception mécanique

**Nada Matta, Jean Louis Ermine**

Laboratoire Tech-CICO

Université de Technologie de Troyes

12 rue Marie Curie BP. 2060 10010 Troyes Cedex, France

E-mail: {nada.matta, jean-louis.ermine}@utt.fr

## Résumé

Nous présentons dans ce papier un rapide aperçu sur la gestion des connaissances en décrivant l'apport de la méthode MASK dans la capitalisation des connaissances.

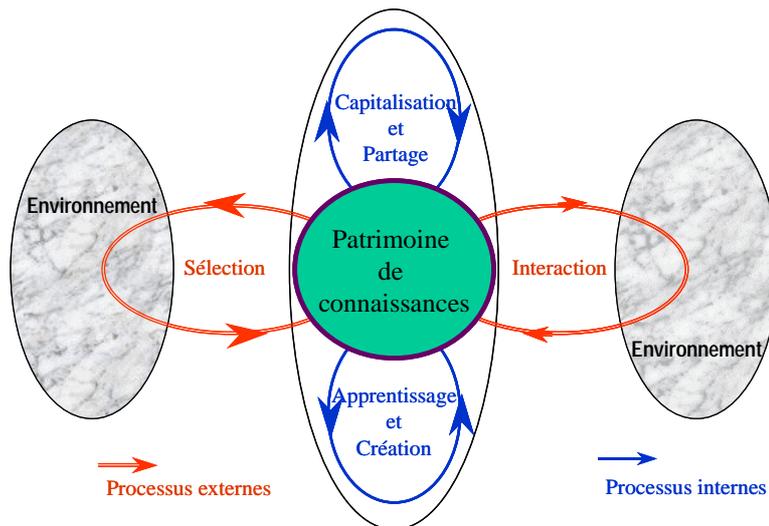
## Abstract

We present in this paper a global view of knowledge management and how the MASK method can contribute in knowledge capitalization.

## 1 Introduction

La connaissance devient de plus en plus un capital important dans une entreprise. Elle est considérée actuellement comme un facteur de stratégie et de productivité surtout vis à vis la concurrence. La gestion des connaissances offre des techniques permettant de rendre explicite cette connaissance et de la valoriser dans l'entreprise. Il s'agit essentiellement de capitaliser la connaissance, de la faire partager et de la faire fructifier. Le patrimoine de connaissances ainsi défini est en constante interaction avec son environnement à partir duquel, de nouvelles connaissances sont choisies pour faire évoluer le patrimoine de connaissances (Figure 1.) [3].

Dans le domaine de conception mécanique comme dans d'autres domaines, la gestion des connaissances devient de plus en plus un besoin surtout face à la concurrence actuelle. En fait, vu la mobilité des experts et le time-to-market, les entreprises de conception ressentent de plus en plus la nécessité de valoriser leur connaissance au sein de l'entreprise. Cette valorisation permet surtout une reconnaissance du patrimoine intellectuel qui est un élément important vers l'innovation et la créativité.



**Figure 1.** La gestion de connaissances vue comme un modèle de marguerite [3]. Deux principales dimensions sont à prendre en compte dans ce processus qui vise à définir un patrimoine de connaissances: 1- la capitalisation et le partage des connaissances, 2- l'apprentissage et la création de nouvelles connaissances. De même, une interaction forte avec l'environnement de l'entreprise et une sélection des connaissances identifiées dans cet environnement permettent de tenir à jour le patrimoine de connaissances.

Nous étudions essentiellement dans ce papier des techniques pour aider à la capitalisation et au partage des connaissances.

## 2 La capitalisation des connaissances

La capitalisation des connaissances consiste essentiellement à une formalisation d'une expérience acquise dans un domaine spécifique. Des techniques d'Ingénierie des connaissances sont essentiellement utilisées dans la capitalisation des connaissances. Ces techniques préconisent généralement : 1- un recueil à partir des documents et en menant des entretiens avec les experts, 2- une modélisation des connaissances recueillies et une formalisation sous forme de mémoire d'entreprise "représentation explicite et persistante des connaissances d'une entreprise [1]".

De méthodes telles que REX, KOD, MKSM [1] fournissent des aides de capitalisation des connaissances. Les mémoires ainsi définies se présentent sous forme de référentiels métiers dans un domaine donné. Nous décrivons dans ce papier, la méthode MASK, une extension de la méthode MKSM, développée au CEA [2].

## 3 La méthode MASK

La méthode MASK [3] préconise essentiellement un ensemble de techniques de modélisation selon plusieurs points de vue. La méthode a été appliquée dans plusieurs domaines (sécurité, conseil, etc.) et surtout dans la conception mécanique.

MASK ne se base pas seulement sur des principes d'analyse cognitive mais aussi sur des retours d'expériences. Elle offre ainsi des outils de modélisation des connaissances permettant de représenter une expertise sous plusieurs points de vue [5]. La méthode préconise également un ensemble d'étapes que nous pouvons décrire essentiellement par :

- Une co-construction : le recueil, la formalisation et la validation sont réalisés d'une manière interactive et simultanée et non plus d'une manière cyclique comme le recommande les techniques d'Ingénierie des connaissances classiques. En effet, l'Ingénieur de connaissance construit d'une façon interactive avec l'expert les modèles à stocker dans la mémoire, considérée dans MASK comme livre de connaissances. Cette co-construction permet une reconnaissance de l'expérience formalisée dans les modèles et par là une validation et

une appropriation des modèles. Cette appropriation pousse également l'expert à enrichir les modèles du fait, qu'il y reconnaît une représentation de son expérience. Nous appelons ce phénomène l'effet-miroir.

- Un consensus : des réunions de consensus sont organisées d'une part avec l'équipe de l'expert auteur du livre de connaissances et d'autre part avec le responsables hiérarchiques. Ces réunions tendent vers une reconnaissance, une appropriation ainsi qu'une approbation du livre de connaissances qui sera considéré comme référentiel du métier dans l'entreprise.

### 3.1 Outils de modélisation

La modélisation des connaissances est un moyen de structurer les connaissances et les rendre par là explicite et partageable. Deux dimensions doivent alors être prises en compte : une représentation cognitive mettant en avant les connaissances profondes d'un expert et une représentation ergonomique valorisant un partage des connaissances au sein de l'équipe, du métier voire l'entreprise.

Dans ce cadre, la méthode MASK recommande de modéliser les connaissances selon trois points de vue : une modélisation du contexte, du savoir-faire et de l'évolution.

#### 3.1.1 Modélisation du contexte

La modélisation du contexte (Figure 2.) est vue comme une explicitation d'une part de l'activité de l'expert et d'autre part des phénomènes jugés important à signaler et/ou produites au cours de ces activités.

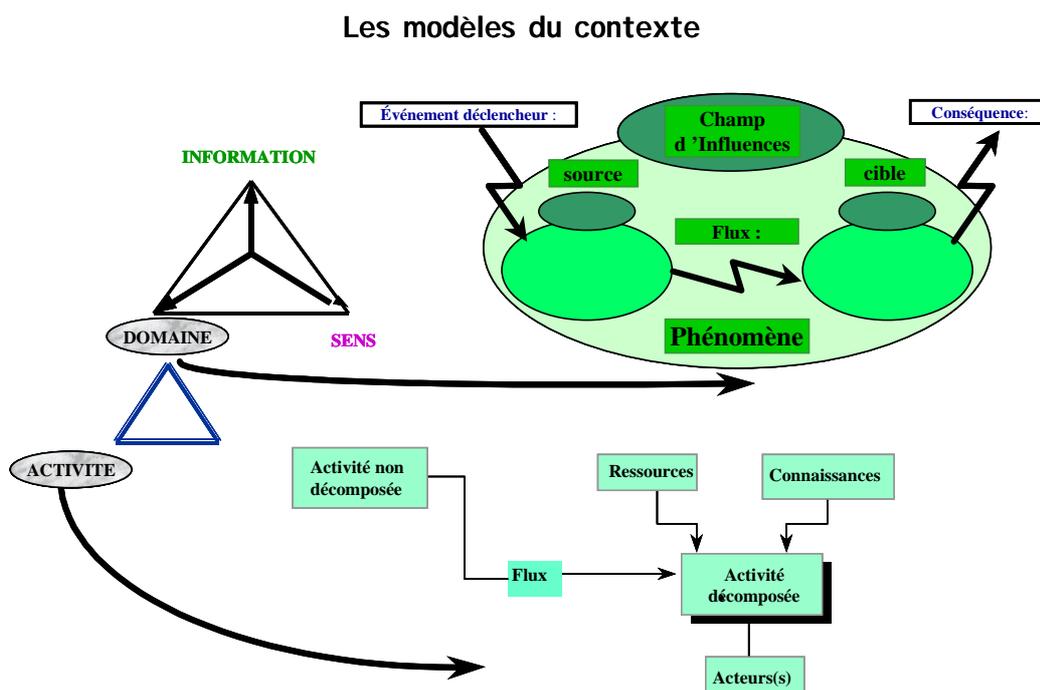


Figure 2. Modélisation du contexte

### 3.1.2 Modélisation du savoir-faire

Il s'agit d'une modélisation cognitive de la tâche de l'expert, son expérience de résolution de problèmes ainsi que de sa propre représentation des concepts qu'ils manipulent. Deux types de modèles peuvent être produits : le modèle de tâches de l'expert et le modèle de concepts (Figure 3.).

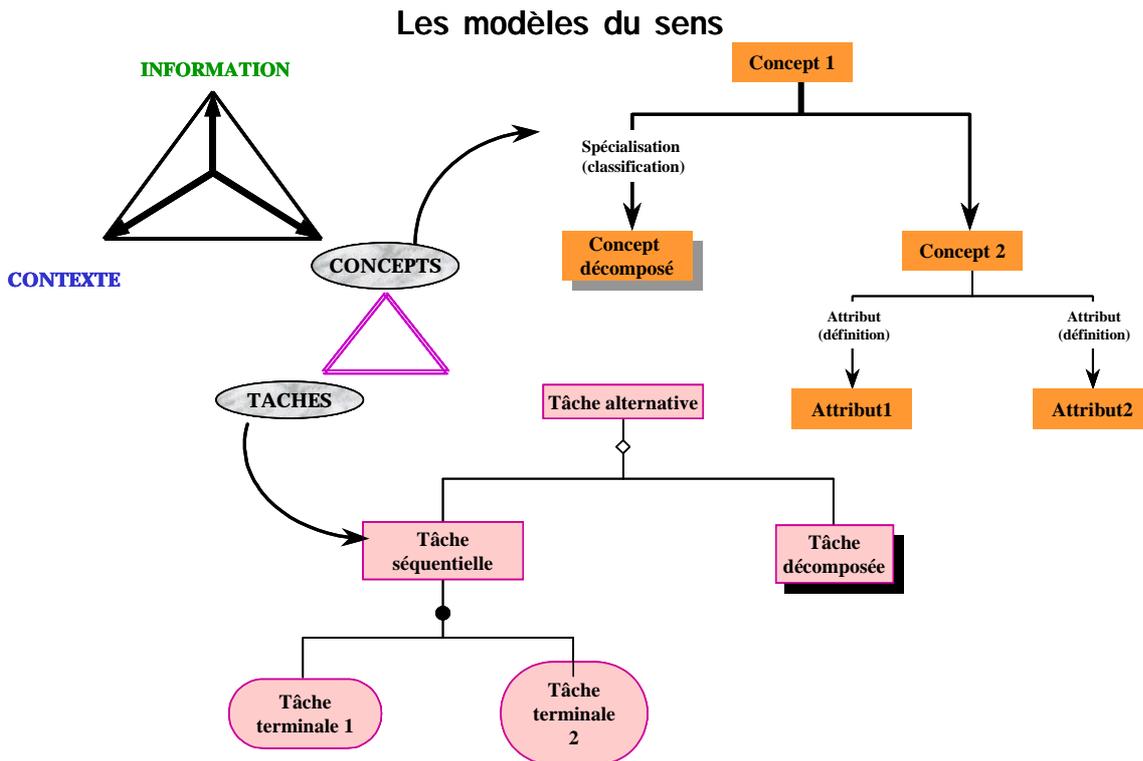


Figure 3. Modélisation du savoir-faire

### 3.1.3 Modélisation de l'évolution

L'évolution des connaissances du métier est un aspect important à prendre en compte dans un projet de capitalisation des connaissances. La modélisation de l'évolution permet d'une part de garder une trace de cette évolution et d'autre part de gagner en maturité vis à vis de la genèse des connaissances dans l'activité.

Mask recommande deux types de modèles pour représenter l'évolution. Il s'agit d'une part de modèles d'historique de l'activité et d'autre part de modèles de lignée où une représentation généalogique des objets du métier est mis en avant (Figure 4.).

## Les modèles d'évolution

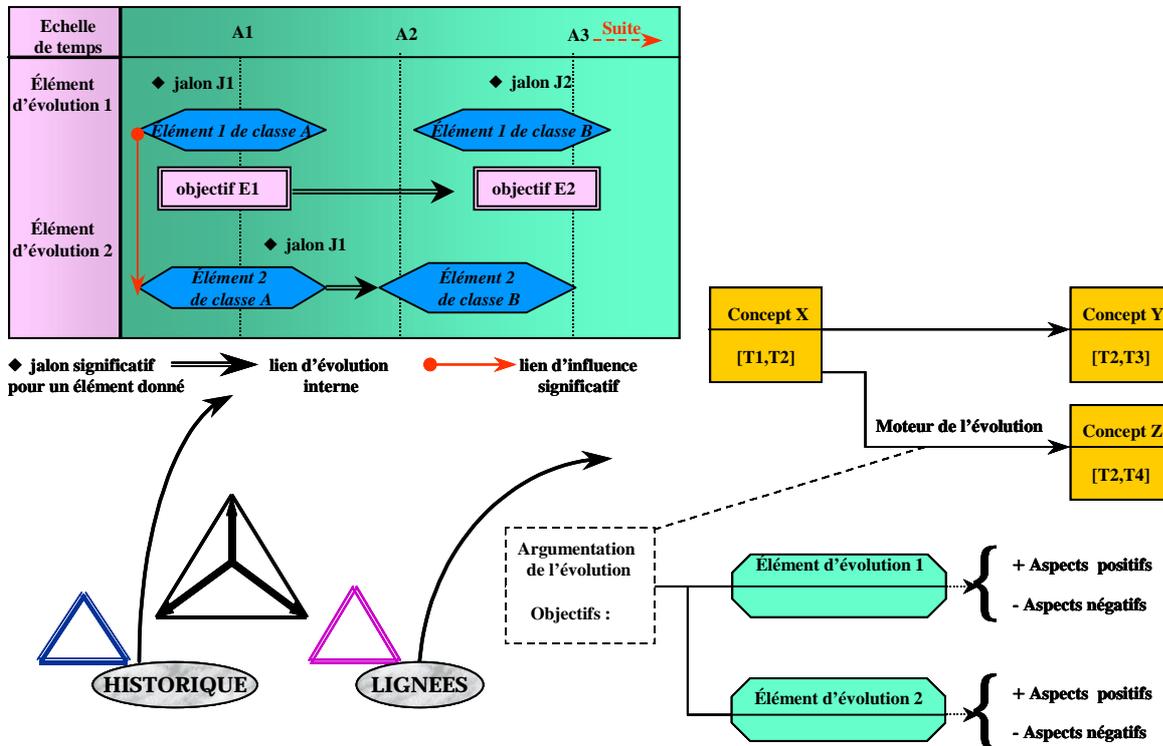


Figure 4. Modélisation de l'évolution

## 4 Conclusion

Nous avons souligné dans ce papier l'importance de la gestion des connaissances dans une entreprise. Nous avons également présenté un aperçu de la capitalisation des connaissances à travers la méthode MASK qui a été appliquée dans plusieurs domaines surtout dans la capitalisation des expertises en conception mécanique. Cette méthode permet de définir un référentiel métier. Ce référentiel peut jouer un rôle important d'une part dans la formation des novices et d'autre part dans l'aide à la résolution de problèmes, en se basant sur les expériences passés. Notons aussi, qu'un tel référentiel permet d'amorcer l'innovation, en fournissant une vue globale sur l'activité et permettant par là une maturité dans le domaine.

D'autres méthodes de capitalisation des connaissances sont définies dans le but de garder une trace « au fil de l'eau » d'une activité. Ces méthodes se basent essentiellement sur des techniques définies pour supporter le travail coopératif comme l'échange de données et d'informations, la coordination de processus et l'aide à la prise de décision coopérative appelée communément la logique de décision (Design-rationale). Nous pouvons en citer les méthodes DRCS, QOC, DIPA. Pour avoir plus de détail sur ces méthodes nous encourageons le lecteur de consulter [1] et [4].

## 5 Références

- [1] Dieng R., Corby O., Giboin A., Golebiwska J., Matta N., Ribière M. — *Méthodes et outils pour la gestion des connaissances*, Dunod., 2000
- [2] Ermine J-L. — *Les systèmes de connaissances*, Edition Hermès, Paris, 2000

- [3] **Ermine J.L.** — Les processus de la gestion des connaissances, *Extraction et gestion des connaissances*, H. Briand, F. Guillet (Eds), Hermès, 2001.
- [4] **Matta, N., Ribière, M., Corby, O.** — Lewkowicz, M., et Zacklad, M. Project Memory in Design, *Industrial Knowledge Management - A Micro Level Approach*. SPRINGER-VERLAG : RAJKUMAR ROY, 2000.
- [5] **Matta N., Ermine J-L., Aubertin G., Trivin J.Y.** — Knowledge Capitalization with a knowledge engineering approach : the MASK method, In proceedings of IJCAI'2001 workshop on Knowledge Management and Organizational Memory 'à paraître).

# Capitalisation des connaissances dans un contexte d'ingénierie coopérante pour la gestion de données de coupe

Laurent DESHAYES, Jean François RIGAL

Laboratoire CASM, INSA de Lyon, Bât. J. JACQUARD  
Domaine scientifique de la Doua  
69621 Villeurbanne Cedex  
Tél. : 04 72 43 82 72  
Email : [rigal@casm.insa-lyon.fr](mailto:rigal@casm.insa-lyon.fr)  
[deshayes@casm.insa-lyon.fr](mailto:deshayes@casm.insa-lyon.fr)

## Résumé

Choisir le bon outil de coupe pour usiner une pièce donnée est un enjeu crucial pour les sociétés de la mécanique. En France, la notion de Couple Outil Matière (COM) est utilisée pour caractériser un outil usinant dans une matière donnée. Un problème important pour les logiciels utilisant le concept de COM est la définition des paramètres des bases de données et leur capitalisation dans un univers vaste et ouvert qui correspond à la réalité industrielle des « usineurs », de leurs donneurs d'ordre et des fournisseurs d'outils. L'objectif de l'article est de présenter une approche permettant la capitalisation de connaissances du COM. Une rigueur scientifique accompagnée d'une démarche d'ingénierie coopérante est nécessaire pour construire une base d'information commune aux différents métiers de la coupe.

**Mots-clés :** Fabrication, Coupe, Ingénierie Coopérante, COM, gestion de données techniques

## Abstract

To choose the good cutting tool to manufacture a given part is a crucial stake for the mechanical companies. In France, the notion of Couple Tool Material (CTM) is used to characterize a tool manufacturing in a given material. An important problem the software using the CTM concept is the parameters definition contained in the data bases and their capitalization in a vast and opened universe which corresponds to the industrial reality of manufacturers, their donors of order and the suppliers of tools. The objective of this article is to present an approach allowing the knowledge capitalization of the CTM. A scientific rigour accompanied with a method of cooperative engineering is necessary to build an information data base, common to the various cutting professions.

**Keywords :** Manufacturing, cutting, Concurrent Engineering, CTM, Date base management

## 1 Introduction

Les diverses tâches pour la production d'objets manufacturés sont actuellement sur la voie d'une profonde intégration par des systèmes informatiques de gestions des données. Le schéma simplifié ci-dessous met en relation ces diverses tâches, classées dans 2 grandes parties.

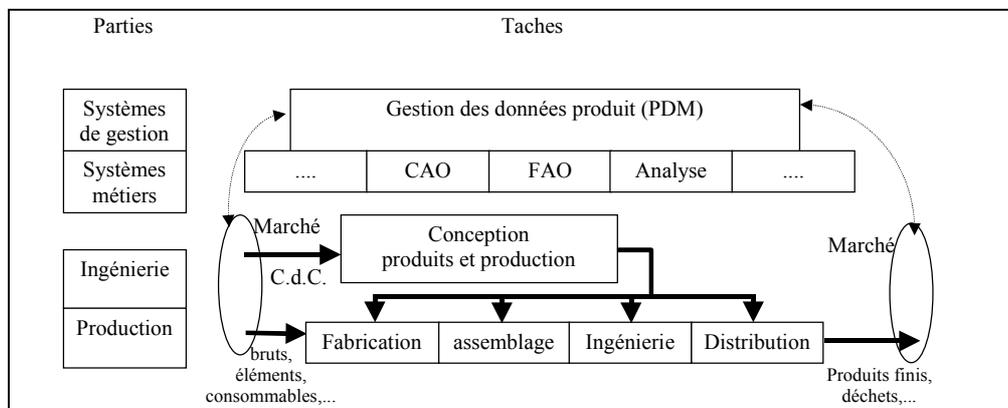


Figure.1 : L'ensemble des tâches de la production

La partie système ou virtuelle inclut deux niveaux : les systèmes de gestion ou PDM (Product Data Management), et les systèmes ou logiciels métiers [5]. La partie production ou réelle inclut également deux niveaux, celui de l'ingénierie et celui de la production ou de la mise en œuvre physique.

L'Ingénierie Simultanée (IS) ou coopérante est une forme de management de la conception qui a pour objectif d'optimiser la chaîne réelle de production au regard des coûts et des délais. Cet objectif est envisagé aujourd'hui via l'exploitation des systèmes de gestion et des systèmes métiers [1] [2].

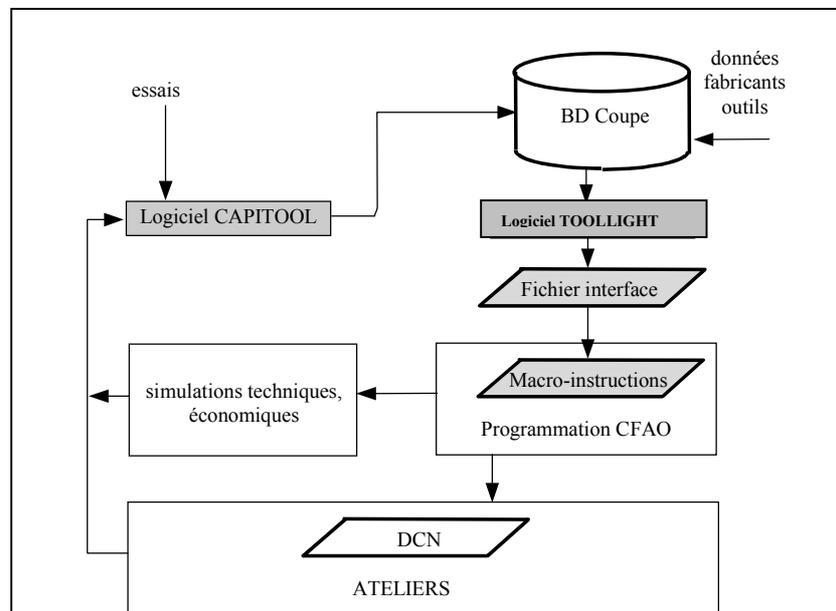


Figure 2 : L'intégration des données de coupe dans la chaîne FAO

Notre réflexion est conduite pour des aspects d'ingénierie en fabrication mécanique et concerne plus spécifiquement la coupe des matériaux. L'étude que nous proposons est centrée sur le concept de Couple Outil (COM) [3]. Le COM est défini pour une géométrie d'outil, une matière usinante et une matière usinée. Actuellement cette caractérisation du COM s'effectue à travers des essais coûteux. Ces essais permettent de compléter d'importantes bases de données de coupe et ainsi de capitaliser l'information. Ces bases de données atteignent des tailles gigantesques. Des algorithmes de modélisation mécanique de la coupe sont nécessaires d'une part pour déterminer les paramètres utiles en pratique et d'autre part pour extrapoler les résultats obtenus et optimiser la taille de bases de données.

La chaîne illustrée sur la figure 2 est conçue pour la capitalisation du savoir et du savoir faire par le retour d'expériences. L'outil informatique TOOL [3] a été spécialement développé pour cette fonction de capitalisation (module Capitoool) qui est essentielle dans le domaine de la coupe des matériaux où seul existe le modèle expérimental. Dans un contexte intégré, la mise en oeuvre pour l'exploitation est actuellement réalisée via des macro-instructions. L'opérateur préparation ne sort pas de l'environnement du logiciel de CFAO. Pour la saisie des entrées, les services des méthodes ont pour charge d'alimenter la BD avec le logiciel Capitoool.

Un problème important pour ces logiciels COM est la définition des paramètres des bases de données et leur capitalisation dans un univers vaste et ouvert qui correspond à la réalité industrielle des « usineurs », de leurs donneurs d'ordre et des fournisseurs d'outils.

Dans le contexte précédent, les logiciels de COM ont pour fonctions principales :

- le choix méthodique d'outils de coupe pour une opération donnée,
- la détermination de conditions de coupes optimales pour cette opération,
- la capitalisation de la « bonne » information permettant d'optimiser les deux fonctions précédentes de manière à intégrer rapidement un nouvel outil du marché.

Dans la deuxième partie nous allons étudier le contexte actuel du COM et son importance au sein du processus de conception. Nous montrerons ensuite comment le concurrent Ingeneering peut être un outil pour l'amélioration du COM à travers la capitalisation de connaissance.

La dernière partie développera le COM expérimental et montrera que mieux capitaliser une information évolutive nécessite une architecture informatique ouverte et dynamique qui sache intégrer les évolutions scientifiques et techniques des outils et des techniques de coupe.

## 2 Le COM et la capitalisation des connaissances dans le domaine de la coupe des métaux

### 2.1 Attentes des experts

Les attentes des experts du domaine de la coupe en terme de gestion et d'optimisation des données se résument en deux points:

- Tout d'abord, étant donnée la quantité et la diversité des informations contenues dans les bases de données coupe des fournisseurs d'outils, le besoin d'intégration de ces données se fait de plus en plus ressentir. Un logiciel de COM tel que le logiciel Tool, exploite des données sur des outils de coupe réels, ces produits ont un cycle de vie économique. Ceci se traduit par la suppression des outils des bases de données lorsqu'ils sont en fin de vie. Un tel système doit maîtriser de manière structurée les informations des fournisseurs. Les aspects dynamiques d'échanges de données ont donc une importance capitale.
- Concernant le point de vue des logiciels de CFAO [9], de fortes attentes se situent aussi au niveau des données géométriques des outils. Pour effectuer les calculs de trajectoires et de surfaces usinées, ces logiciels se basent sur les paramètres géométriques des outils (rayon de bec de la plaquette, longueur de coupe, diamètres...). Les sémantiques sont parfois différentes, mais l'objectif général en CFAO est le même que pour les logiciels de gestion des outils et de choix des conditions de coupe: fiabiliser et optimiser la capitalisation des données liées à la pièce et à l'outil.

D'autre part, l'expertise de la coupe est exploitée dans les logiciels de COM par des modèles algorithmiques qui ont pour fonction d'obtenir les paramètres de coupe optimum. Cette expertise est en constante évolution. Il s'agit donc de déterminer de manière toujours optimale et toujours plus fiable les données du COM. Cette contrainte est imposée par une demande croissante de systèmes d'usinages toujours plus performants où le COM y possède le rôle central.

### 2.2 Chaîne cinématique de fabrication

Le rôle du COM peut être schématisé sur la chaîne cinématique du moyen de production (Machine Outil conventionnelle ou à Commande Numérique). Cette chaîne comprend de nombreux composants et peut être modélisée comme sur la figure 3, où chaque flèche représente une interface entre une paire de composants.

Le COM, ou les paramètres d'usinage, sont donc étroitement liés à la matière usinée et aux caractéristiques de l'outil coupant permettant l'usinage. Le COM peut être introduit dans la représentation de Mathieu [10], comme un composant « virtuel » lié à la fois à la matière usinée et à l'outil coupant. Nous représentons néanmoins ce composant en pointillés, pour le détacher des éléments physiques de la chaîne cinématique. Ce schéma illustre l'impact réciproque que peuvent avoir un Couple Outil Matière et le comportement de l'ensemble du système usinant, ou du POM (ensemble Pièce Outil Machine [6]). Le COM doit pouvoir être interprété par différents métiers. Mais quelles sont les limites de l'obtention du COM actuel qui conduisent à rechercher une meilleure capitalisation de connaissance ?

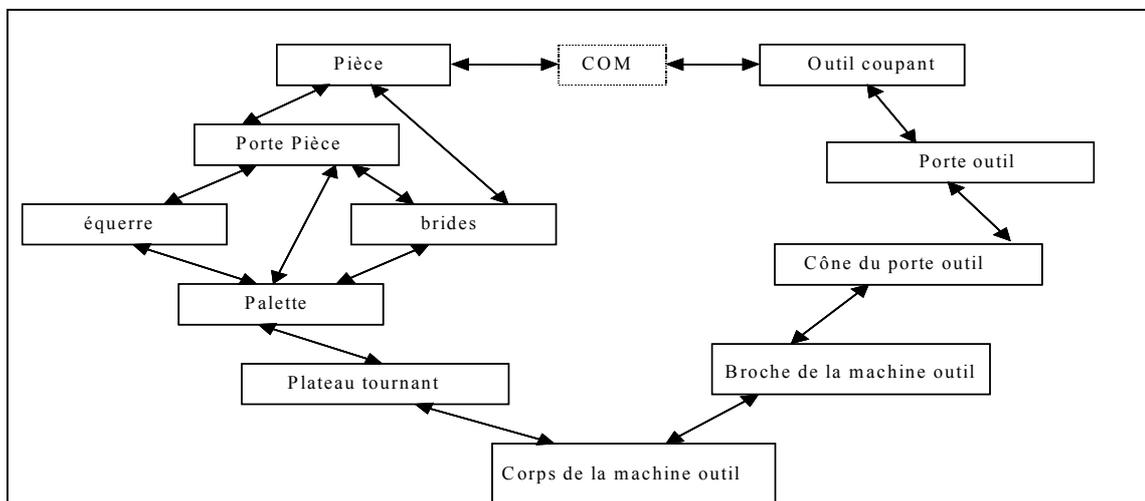


Figure3. Intégration du COM aux composants de la chaîne cinématique

## 2.3 Le COM, un concept qui se veut de plus en plus optimal

Le COM permet l'obtention des paramètres limites du couple outil matière. Ces paramètres limites sont l'effort spécifique de coupe ( $K_c$ ), la vitesse de coupe minimale ( $V_{cmin}$ ), la profondeur de passe maxi et mini, l'avance maxi et mini,....

A titre d'exemple, analysons l'obtention, en pratique et dans le cas du tournage, des deux premiers paramètres :

- le  $K_c$  obtenu au cours d'un COM est l'effort spécifique tangentiel. Autrement dit il n'est représentatif que d'une seule des trois composantes de la force résultante agissant sur l'outil est considérée.
- La vitesse de coupe  $V_c$  est choisie telle qu'elle soit supérieure à une vitesse minimale de coupe. Là encore, la méthode de détermination de la vitesse de coupe est correcte pour un ensemble de plaquettes et de matériaux. Mais cette méthode est loin de se généraliser à l'ensemble des COM. En tournage dur par exemple, la méthode actuelle qui suppose un décrochement du  $K_c$  en fonction de la vitesse de coupe, ne permet pas de déterminer la  $V_{cmin}$  tant nécessaire. Cette observation pratique peut s'expliquer par le manque de connaissances théoriques du phénomène de coupe.

En fraisage, la détermination des paramètres est encore plus difficile à expliquer. Nous voyons là les problèmes actuels de la gestion des outils et des conditions de coupe. Capitaliser l'information en coupe, nécessite un système qui puisse prendre en considération à la fois les évolutions théoriques et technologiques. Pour l'évolution technologique il s'agit de répondre à la question de comment intégrer rapidement un nouvel outil apparaissant sur le marché dont les caractéristiques ne sont pas encore capitalisées. La méthode serait que l'industriel en question puisse réaliser lui même son propre COM, sur une de ses machines, et ainsi, via un module de la MOCN, intégrer ces données au logiciel de capitalisation de connaissance (Correspondant à Capitoool, figure 2), qui assurera la capitalisation des données de coupe et son intégration dans les logiciels de CFAO. Cette capitalisation de connaissance complètement intégrée, bien que pour l'instant utopique, ne peut se réaliser qu'à travers d'améliorations du COM pratique et théorique. L'ensemble devant évoluer dans un contexte d'ingénierie coopérante, où divers points de vues (mécatronique, concepteur, méthode...) doivent inter-agir. La suite propose une démarche dans ce sens.

## 2.4 La notion de point de vue

Le point de vue de chaque expert [5] [12] est important pour la définition d'un COM. Pour un logiciel de gestion de données de coupe, le COM devra fournir les éléments du choix des paramètres d'usinage optimal. Pour un logiciel de CFAO, c'est la précision de la géométrie du COM qui est à priori très importante. Les données communes, mais cachées par une sémantique différente deviennent redondantes entre les systèmes communs pour des experts de métiers différents.

Il est important que chaque expert puisse identifier rapidement, dans son métier, les paramètres utiles à son application. A l'aide de règles de coopérations, la taille des bases de données peut être réduite, permettant d'une part de mieux capitaliser l'information entre experts et d'autre part d'optimiser la recherche d'information.

## 2.5 Modélisation coopérative liée au cycle de vie du produit

L'approche d'intégration des données de coupe ici présentée se place dans le cadre de développement d'un logiciel d'intégration et d'échange des données d'ingénierie. Cette intégration s'effectue à l'aide du standard STEP [11]. Comme le montre la figure 4, cet ensemble que nous nommons « système d'ingénierie coopérante normalisée » supportera les modèles standardisés des différents métiers et notamment, le modèle du COM. Les différents sous schémas seront liés entre eux pour permettre l'échange d'informations. A ce stade des règles de coopérations entre experts seront à définir pour assurer un contexte d'ingénierie coopérante.

La connexion avec des experts extérieurs au système normalisé sera réalisée afin d'assurer une spécialisation de ces modèles vers des points de vues particuliers.

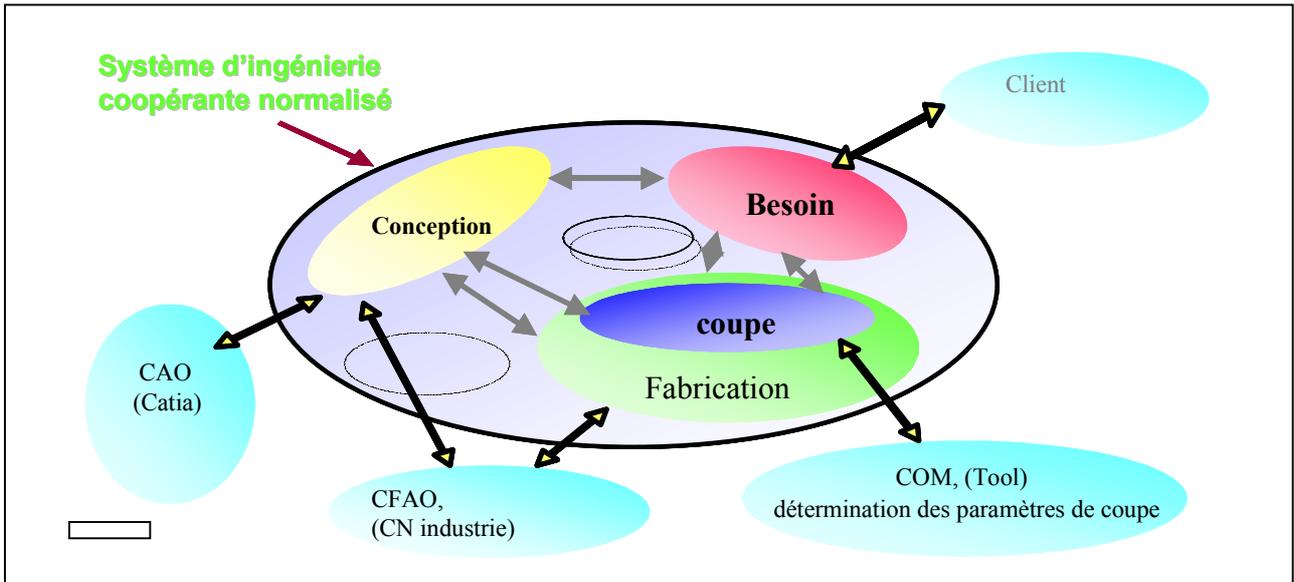


Figure 4 : Architecture de la plate forme d'intégration d'échange et des données d'ingénierie

## 2.6 Développements en cours

Les travaux en cours ont pour objectif de créer une modélisation « générique » du processus de coupe. L'une des caractéristiques de ce système est de l'établir sur des modèles d'échanges normalisés. STEP [12] [13] comporte déjà un certain nombre de modèles (schémas au sens d'EXPRESS [13]) standardisés ainsi que d'entités prédéfinies, tels que le modèle géométrique et le modèle de tolérancement par exemple. Néanmoins il ne faut pas négliger la faiblesse de la norme STEP qui reste statique et peu efficace pour traiter les aspects dynamiques. Pour palier ce genre de difficultés, des modèles doivent intégrer des règles de coopération et des normes d'échanges différentes telles que XML [14]

Un logiciel de gestion d'outils de coupe et un logiciel de CFAO seront connectés sur ce système. La structure de donnée des deux logiciels, (TOOL et Goeland), seront analysées pour déterminer les données communes, et les données spécialisées. Des bases de données réparties seront créées, la capitalisation de connaissances via des experts différents devront permettre une meilleure intégration des données spécialisées, ou communes en déterminant les données minimales nécessaires à la détermination des divers paramètres du COM. Les changements théoriques seront également pris en compte pour fiabiliser la capitalisation de connaissances. La partie suivante revient sur la définition, au niveau des données, du COM. Ce retour vers des notions qui peuvent paraître classiques est nécessaire pour « trier » l'information métier.

## 3 Le concept de COM

La norme française [8] définit le Couple Outil Matière comme étant « l'ensemble des paramètres définissant le domaine de fonctionnement de l'outil dans la matière donnée ». Cette norme est le document le plus complet concernant la normalisation des choix d'outils de coupe. Les théories classiques de la mécanique ne permettent de déduire que partiellement les paramètres de coupe. La norme [8] propose ainsi une méthode expérimentale permettant d'obtenir ces paramètres. Les traitements des données obtenues de manières expérimentales sont réalisés de manière algorithmique. Cette méthode est la plus utilisée pour l'établissement des bases de données de coupe. Dans le paragraphe suivante, nous présentons l'architecture générale de la norme.

### 2.1 Activités et données du COM

La figure 5, montre le diagramme de l'activité expérimentale de l'obtention des paramètres d'un COM. Ce diagramme montre cinq activités principales :

**1/ Identifier un point de qualification** (de bon fonctionnement) de l'outil à étudier. Ce point est déterminé par l'opérateur. La connaissance d'un premier point de fonctionnement (données fournisseur, ou expérience utilisateur) est nécessaire. Un point de fonctionnement correct pour réaliser une essai de COM est défini dans [8] comme stable si une variation de faible amplitude d'un ou de plusieurs des trois paramètres  $V_c$ ,  $f$  ou  $a_p$  du point en question permet de trouver un autre point de fonctionnement acceptable.

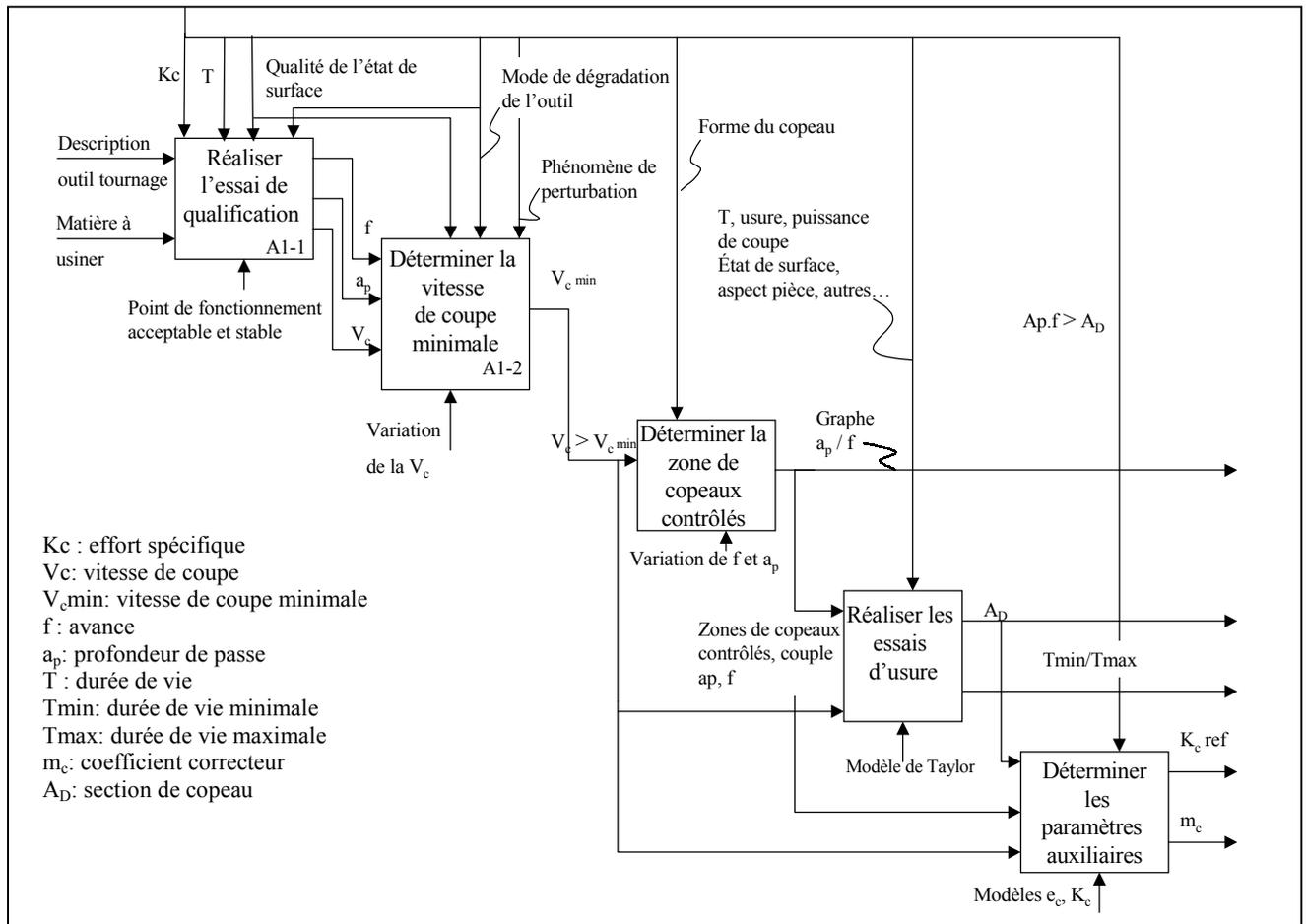


Figure 5 : Processus de détermination du COM en tournage

**2/ réaliser l'essai permettant de déterminer la vitesse de coupe minimale  $V_{c\min}$ .** La courbe  $K_c$  (effort spécifique) /  $V_c$  est réalisée. La norme définit la vitesse de coupe minimale comme étant la valeur de la vitesse qui correspond à un décrochement du  $K_c$  ( $K_c$  Tangentiel). Ceci dit ce décrochement n'est pas facilement identifié pour tous les matériaux entraînant ainsi des problèmes de fiabilité des résultats.

**3/ Détermination de la zone de fragmentation du copeau :** un prélèvement du copeau en fonction de l'avance et de la profondeur de passe est réalisé. Une zone de fragmentation de copeau est considérée comme correcte, si le copeau obtenu est suffisamment fragmenté, et si les paramètres physiques du processus (chaleur,  $K_c$ , vibrations...) sont également corrects (ne nuisent pas à l'outil ou à la pièce). Ces valeurs nécessitent l'œil attentif d'un expert.

**4/ Essais d'usure pour déterminer la durée de vie  $T$  de l'outil et les exposants de Taylor.** Cet essai est le plus long et le plus coûteux. Le modèle mécanique utilisé est celui de Taylor généralisé (néanmoins, la norme permet de choisir d'autres modèles). Les essais consistent à choisir une profondeur de passe et une avance donnée (correspondant à une zone de fragmentation du copeau) puis à usiner la pièce, jusqu'à apparition d'une usure catastrophique de l'outil ou un mauvais état de surface de la pièce. Les critères d'appréciation de cette usure sont divers. Les phénomènes d'usures incidents ne sont pas tous identiques. L'aspect expertise est donc très important pour interpréter les résultats de cet essai.

**5/ Déterminer les paramètres auxiliaires.** Ces paramètres issus d'équations de la mécanique classique, permettent d'obtenir les paramètres  $m_c$  (coefficient correcteur du  $K_c$ ) et  $K_c$  pour calculer les caractéristiques complémentaires aux essais (puissances, couples, efforts tangentiels...), mais aussi les paramètres facilitant l'extrapolation des résultats obtenus pour un outil et des variantes de l'outil (changement de rayon de bec, de brise copeau...)

Nous avons vu les trois niveaux principaux d'un COM, et les expertises « métier » nécessaires à sa bonne réalisation pratique. La première direction de progrès du COM qui est en cours de réalisation est celle de l'analyse des données de la norme [8].

Les données entrantes des activités doivent être communes aux ensembles des experts souhaitant utiliser le concept de COM pour la gestion des outils de coupe. Ces données sont parfois redondantes et possèdent des sémantiques différentes pour des experts de métiers différents. L'analyse des données devra permettre de mieux les intégrer dans un contexte multi métiers. Concernant la spécialisation de ces données vers un utilisateur donné, ce sont les informations opérationnelles qui seront différentes. Par exemple pour l'étude dynamique du système, c'est l'effort en fonction du temps qui nous intéresse. Cette donnée peut être obtenue par des experts de la mécanique. Pour un logiciel de gestion d'outil, actuellement c'est l'effort spécifique tangentiel de coupe qui est une information pertinente, mais demain, cette information pourrait être complétée avec l'effort spécifique axial et radial, permettant ainsi une meilleure fiabilité des résultats. Pour un logiciel de CFAO, ce sont les aspects géométriques qui sont nécessaires, mais demain, les efforts mis en jeu lors de la coupe seront sûrement à intégrer.

La deuxième direction de progrès concerne l'aspect scientifique en mécanique. C'est à dire reprendre l'explication scientifique du phénomène de coupe pour fiabiliser et optimiser l'obtention de paramètres du COM. Cet aspect doit permettre de réduire l'information à capitaliser pour déterminer par voie algorithmique les paramètres complémentaires et ainsi compléter les bases de données existantes. Des approches ont été entamées dans ce sens. Elles sont centrées sur la mise au point de modèles analytiques [7]. Mais les données d'entrées de ces modèles sont complexes à obtenir. Une approche mixte, analytique et expérimentale à partir de données facilement accessibles doit être obtenue pour améliorer le COM actuel.

## 4 Conclusion

Les travaux en cours doivent permettre d'assurer la cohérence des développements avec les métiers de la coupe et de son intégration dans le contexte industriel. Pour cela les évolutions telles que celles décrites dans la partie 3 doivent être prises en compte pour rendre le COM intégré toujours plus fiable et opérationnel. Capitaliser l'information est un enjeu important pour tous les métiers de la coupe. Chaque acteur doit pouvoir identifier l'information disponible. Pour cela, une homogénéité des définitions et des sémantiques est nécessaire. Mais cela ne sera pas sans difficulté car la complexité même du phénomène de la coupe ne facilite pas des définitions trop génériques. Les outils spéciaux, très importants pour la coupe, ne peuvent être décrits en détail par les approches classiques. D'autre part, de nombreux comportements d'outils restent encore inconnus. Dans bien des cas, seul un technicien à l'œil averti peu choisir les bons paramètres d'un COM.

Il faut donc pouvoir capitaliser ces types de données de manières différentes. Des améliorations sur les aspects scientifiques et analytiques du processus de coupe peuvent être une solution. Cette approche doit être complémentaire aux approches expérimentales. Ajouter à cela qu'une approche d'ingénierie coopérante permettra de tenir compte des expertises métiers. Optimiser et organiser la capitalisation de l'information sur la coupe en s'appuyant sur la rigueur scientifique et la coopération entre métiers est l'enjeu des développements en cours.

## Remerciements:

Les auteurs remercient les membres des sociétés TOOL et CN Industries qui collaborent à ces travaux ainsi que l'équipe de Parissa Ghodous du LIGIM (Lyon 1) qui prennent en charge les aspects informatiques des développements.

## Références

- [1] **COLLECTIF**, Concurrent Engineering, Applications et Conception pour la Production, Actes de la Journée Thématique PRIMECA, 26 Mars 1998, INSA Lyon.
- [2] **COLLECTIF**, SGDT, Expériences et choix, Actes de la Journée Thématique PRIMECA, 22 Octobre 1998, ENSGI INPG Grenoble.
- [3] **F. BAGUR** (Société TOOL), Couple Outil Matière, Une Méthode de Conception et de Choix des Outils de Coupe, Colloque Int., L'évolution des outils de coupe, Saint-Etienne, Nov. 1996, Bulletin du Cercle d'Etude des Métaux.

- [5] **P. GHODOUS** *Modélisation Intégrée de Données de Produit et de Processus de Conception* Thèse, université Claude Bernard, Lyon 1. Sept. 1996
- [6] **N. TOUNSI**, Modélisations du système pièce outil machine, du procédé de coupe et de leur interaction, Thèse, ENSAM Centre d'Aix en Provence, 1998 (1998-34), 177 pp
- [7] **P.L.B Oxley**, *The mechanics of machining : An analytical approach to assessing machinability* - Chichester : Ellis Horwood , 1989 . - 242 p. : graph.- , 25 cm
- [8] **NF E 66-520**, Working zones of cutting tools – Couple Tool-material – part1 : general presentation. ISSN 0335-3931. Sept 1997.
- [9] **J.-F. RIGAL**. "La formalisation des procédés de fabrication pour une ingénierie simultanée" 14<sup>ème</sup> congrès de Mécanique, Toulouse, Août 1999.
- [10] **MATHIEU L et WEILL R**, « A model for Machine Tool Setting as a Function of positioning errors », CIRP International Working Seminar, Penn State University, Mai 1991.
- [11] **Laurent DESHAYES, Christel DARTIGUES, Parisa GHODOUS, Jean François RIGAL** Système réparti et normalisé de gestion des données de coupe, Colloque Primeca 2001 Avril 2001, pp 441-448.
- [12] **GHODOUS, P. AND VANDORPE, D.** (1998) 'A systematic Approach for Product and Process Data Modeling Based on the STEP Standard', *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering*, 13, pp 189-205.
- [13] **ISO 10303-11**, STEP Product Data Representation and Exchange (1994) 'Part 11, Description Methods: The EXPRESS Language Reference Manual', International Organization for Standardization, Subcommittee 4, NIST.
- [14] **SIMON SYKMAN, RAM SRIRAM AND J. SENFAUTE**: "The Use of XML to Describe Function and Taxonomies in Computer-based Design," In *Proceedings of the 1999 ASME Design Engineering Technical Conferences (11th International Conference on Design Theory and Methodology)*, Paper No. DETC99/CIE-9025, Las Vegas, Nevada, September 1999.

# **Prise en compte des connaissances, savoir et savoir-faire dans la conception de produits mécaniques : application à la conception d'une liaison pivot**

**Philippe Belloy, Emmanuel Foucard, Benoît Eynard, Pascal Lafon, Lionel Roucoules**

Laboratoire des Systèmes Mécaniques et d'Ingénierie Simultanée

Université de Technologie de Troyes

BP 2060, 10010 Troyes Cedex, France

E-mail: philippe.belloy@univ-troyes.fr

## **Résumé**

Le contexte d'Ingénierie Simultanée oblige les entreprises à concevoir et à produire plus vite des produits répondant à de nombreuses contraintes émanant de métiers différents. Pour cela, les concepteurs doivent avoir accès aux données et aux connaissances expertes des différents métiers. L'intégration des savoir et des savoir-faire dans la conception passe par une phase de modélisation, de capitalisation et par le développement d'outils capables de les exploiter. Nous présentons ici une synthèse de travaux du LASMIS portant sur l'intégration de connaissances de conception et de fabrication ainsi que sur les modèles « supports » retenus pour l'intégration.

## **Abstract**

The Concurrent Engineering context obliges the companies to design and produce quickly. For that, designers must have access to data and expert knowledge of various trades. The knowledge and know-how integration in design requires a modelling and capitalization phase, and some development of tools. We present here a synthesis of the LASMIS research work on knowledge integration in design and the models chosen for this integration.

## **1 Introduction**

L'activité de conception est une démarche complexe et localisée dans le cycle de vie d'un produit. Les connaissances de l'ensemble du cycle de vie du produit (fabrication, recyclage...) doivent être prises en compte pour atteindre les objectifs globaux de réduction de la durée de développement et de réduction des coûts.

Un ensemble de travaux relatifs à la modélisation de l'activité de conception et à la modélisation des procédés de fabrication est actuellement en cours pour comprendre les démarches et les phénomènes mis en jeux.

Les connaissances font aussi l'objet de nombreux travaux de recherche. Elles interviennent dans toutes les étapes de développement d'un produit : conception (choix technologique, assemblage, calcul...), fabrication (mise en position, fixation, estimation des qualités des surfaces, choix des procédés et des outils lors de la fabrication...), utilisation (ergonomie, maintenance...), etc., et sont utiles au concepteur.

Nous présentons ici une approche [1], de modélisation, de capitalisation et de réutilisation de connaissances. Cette approche permet, non seulement, d'aider le concepteur dans les « tâches usuelles » de conception, mais aussi, d'apporter un ensemble de connaissances de fabrication dès les premiers choix technologiques réalisés.

Nous présenterons successivement les travaux portant sur la modélisation du produit, l'optimisation des systèmes mécaniques, l'intégration des connaissances technologiques et de fabrication. Nos travaux s'intègrent dans une logique plus générale d'intégration pour la conception (un des trois axes scientifiques du LASMIS) qui ne sera pas présentée ici.

L'approche proposée sera illustrée par un exemple de conception de liaison pivot par montage de roulement qui fera apparaître plus particulièrement les choix technologiques du concepteur, les contraintes et les connaissances implicites véhiculées [2]. Cet exemple mettra aussi en évidence un ensemble de limites liées au formalisme de certaines données et aux contraintes de la mécanique.

## 2 Modélisation du produit pour la conception

Lors du développement d'un produit mécanique, il est bien admis maintenant par la communauté que le produit ne peut pas être dissocié de son processus de conception [3]. Les recherches menées sur la modélisation du processus de conception et sur le lien entre modèle de produit et de processus étant décrites plus longuement dans [4], nous présentons dans cette communication uniquement les travaux s'intéressant à la modélisation du produit.

De nombreuses références ont traité de la modélisation du produit [5], [6] ou [7]. La plupart de ces modèles décrivent le produit à partir d'entités fonctionnelles, structurelles ou métier. Nos recherches conservent ce concept de conception par entité, ceci étant nous souhaitons définir et exploiter un formalisme de représentation fédérateur et s'adaptant au mieux aux différentes phases de développement d'un produit (conceptual, embodiment et detail design).

Dans les phases de conceptual et embodiment design, le formalisme de représentation adopté est une synthèse permettant le passage progressif des fonctions à la structure du produit. Ce modèle, appelé modèle fonctionno-structurel, est d'une part basé sur les principes et règles de décomposition fonctionnelle issus de l'analyse de la valeur et en particulier celles liées au diagramme FAST (Functionnal Analysis System Technique). L'évolution multi-niveaux du modèle s'appuie sur la décomposition de type FAST. D'autre part, l'utilisation de la théorie des bondgraph permet de traiter et prendre en compte les différents champs énergétiques au sein du produit [8]

Dans les phases d'embodiment design et de detail design, le formalisme utilisé permet de gérer l'intégration des connaissances métier au sein du modèle de produit. Les concepts de ce modèle, appelé modèle pour l'intégration des connaissances, sont détaillés dans [9]. Comme cela est présenté sur la Fig.1 la bijection entre les deux modèles permet de faire le regroupement dans la phase d'embodiment design. Le modèle pour l'intégration peut alors être décliné en différentes vues correspondant aux différentes vues expertes sur le produit (usinage, calcul de structure, matériau...).

A partir de ces deux formalismes de représentation, l'intégration des connaissances lors de la conception est basée sur la définition d'entité. Une définition admise des entités est donnée par [10] : *“a semantically endowed object that accompany product development from the customer request through to product release”*. Les entités permettent alors, comme cela est présenté sur la Fig.1 de décrire le produit grâce à des entités métier (issues d'expertises métier). Les résultats publiés dans [11] mettent bien en avant l'utilisation de ces entités métier dans le processus de conception. Nous montrons comment la géométrie du produit (décrite par des entités géométriques) n'est que le résultat de l'intégration des connaissances expertes (sous forme d'entités métier).

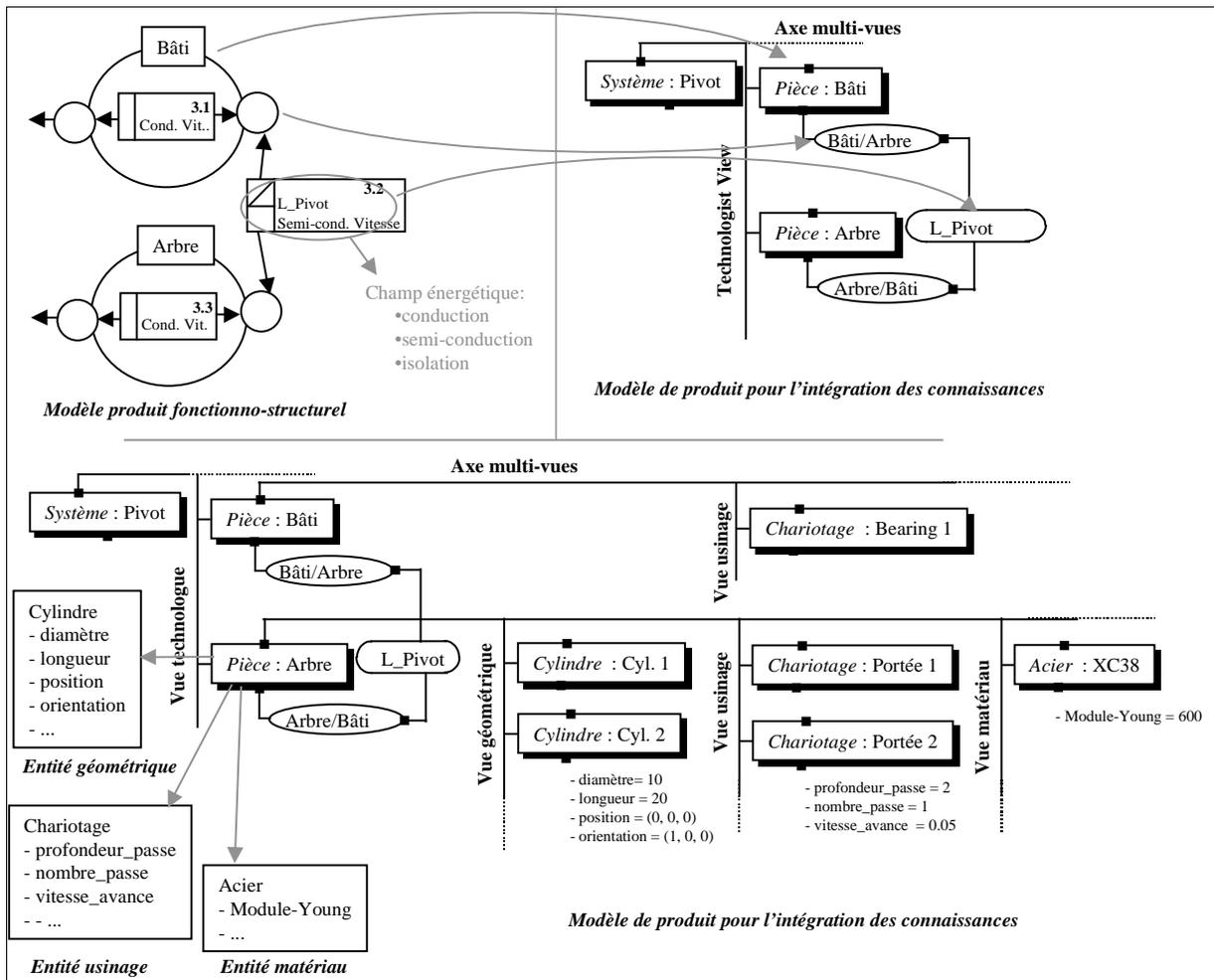


Figure 1 : Différents modèles de produit adaptés aux phases de conception.

### 3 Les connaissances d'optimisation

L'optimisation de systèmes mécaniques consiste ici à dimensionner certains sous-ensembles fonctionnels de manière à satisfaire un critère prédéfini, comme la minimisation de la masse par exemple. Les connaissances apportées au concepteur concernent essentiellement les dimensions de ces sous-ensembles fonctionnels. Dans le cas de la liaison pivot par roulement à billes, ces connaissances interviennent très tôt dans le processus de conception, dès que les efforts supportés par la liaison, la durée de vie et l'encombrement géométrique sont connus. Elles permettent de préciser la position et les dimensions des roulements de façon à ce que leur masse soit minimale tout en respectant la durée de vie imposée. Ces connaissances intégrées au modèle produit, contribuent à la valuation des éléments géométriques de référence que seront les surfaces cylindriques des portées de roulement et les plans formant les arrêts axiaux sur l'arbre et dans l'alésage.

Ce dimensionnement optimal s'appuie la formulation d'un problème d'optimisation non linéaire en variables mixtes suffisamment générique pour prendre en compte le maximum de cas de conception. Dans le cas de liaison pivot, la seule hypothèse concerne la décomposition en une liaison sphérique et linéaire annulaire. Le sens de montage ou la position de la rotule par rapport à la charge peuvent être déterminés ou fixés par le concepteur suivant le cas. Cette formulation est spécifique à chaque type de liaison et à chaque technologie. Le cas d'une liaison pivot par palier lisse par exemple, nécessiterait une nouvelle formulation. Lorsque les données nécessaires sont saisies, ce problème est résolu rapidement par une méthode d'optimisation utilisant un couplage entre une méthode déterministe (langrangien augmenté) et une méthode stochastique (stratégie évolutionnaire)

[12]. La vitesse de résolution autorise le concepteur à modifier les données du calcul si un conflit quelconque apparaît lors des étapes ultérieures du processus de conception.

## 4 Les connaissances de technologie et de fabrication

Bon nombre de connaissances de technologies et de fabrication sont utilisées lors de la conception. Le travail habituel du concepteur consiste à effectuer des choix de solutions et à appliquer les connaissances qu'il possède de manière « quasi-automatique », en prenant en compte les contraintes qu'il perçoit, pour faire évoluer les formes et aboutir à des volumes correspondant aux différentes pièces qu'il conçoit.

Une partie des connaissances appliquées par le concepteur est relative aux **exigences fonctionnelles** des solutions technologiques qu'il retient (rayon ou forme de raccordement, jeu de fonctionnement, ajustement, jeu de montage...). Les connaissances sont capitalisables par l'intermédiaire des **Qualités et Formes Souhaitées** (QFS) (Fig.2) ou par l'intermédiaire de méthodes d'aide à la conception qui permettent, par exemple, de positionner ou de vérifier la cohérence des butées axiales sur les montages de roulement ou de mettre en place les chaînes de dimensionnement fonctionnel (Fig.3).

L'utilisation des connaissances de technologie ne résout certes pas les problèmes liés à la méthode de conception mais permet de réduire considérablement le temps passé par le concepteur pour renseigner les données générales propres à une solution technologique. Elle permet, d'autre part, d'aider le concepteur dans son travail de modélisation du produit, en lui proposant une décomposition cohérente avec la modélisation présentée précédemment. Enfin, elle permet de renseigner et de prendre en compte, via des méthodes spécifiques à chaque solution technologique, le « juste fonctionnel ».

Une autre partie des connaissances utilisées par le concepteur est relative aux **exigences de fabrication** des formes à réaliser (qualité réalisable, rugosité réalisable, rayon d'outil...). Les connaissances sont aussi capitalisables par l'intermédiaire des **Qualités et Formes Réalisables** (QFR) (Fig.4) ou par l'intermédiaire de méthodes d'évaluation des paramètres et de méthodes de vérification de cohérence (exemple : cohérence entre qualité dimensionnelle, rugosité et procédé de fabrication).

Conditions de montage pour roulements à billes			QFS
Charge fixe par rapport à la bague extérieur	Positionnement facile	Logement en 1 pièce	<b>H6 ; H7</b>
		Logement en 2 pièces	<b>H7 ; H8</b>
	Positionnement difficile	Echauffement arbre	<b>G7</b>
		Logement en 1 pièce	<b>J6</b>
Charge tournante par rapport à la bague extérieur		Logement en 2 pièces	<b>J7</b>
		Charge normale	<b>K7</b>
		Charge élevée	<b>M7</b>
Charge fixe par rapport à la bague intérieur	Positionnement facile	Charge élevée P/C>0.15	<b>N7</b>
	Positionnement difficile		<b>g5 ; g6</b> <b>h6 ; j6</b>
Charge tournante par rapport à la bague intérieur	d ≤ 50 mm	Charge normale P/C<0.1	<b>j5 ; j6</b>
	50...100	Charge faible P/C <0.08	<b>j6</b>
		Charge élevée P/C >0.08	<b>k5 ; k6</b>
	100...200	Charge faible P/C <0.1	<b>k6 ; m6</b>
		Charge élevée P/C >0.1	<b>m6</b>

Figure 2 : Qualité et forme souhaitées pour les roulements à billes.

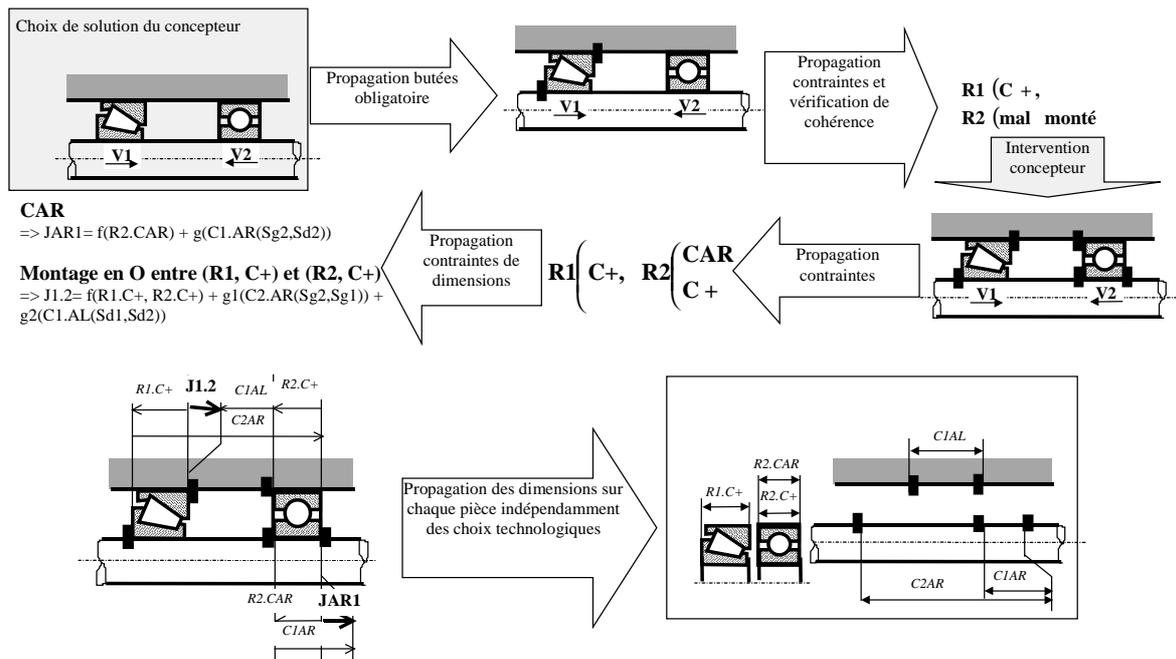


Figure 3 : Méthodes d'aide à la conception de montages de roulements.

Procédé de fabrication	Qualité ISO réalisable												
	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	
Fraisage Fraise 3T profondeur rainure	■												
Mortaisage (rainures, cannelures) sans outil calibré		■											
Perçage direct			■										
Emboutissage				■									
Perçage avec avant trou					■								
Tréfilage de fils (Ø 1 à 30 mm)							■						
Rond écrouté (Ø 15 à 300 mm)								■					
Découpage à la presse ordinaire									■				
Alésage foret aléseur (affûtage 3 pentes)										■			
Extrusion (sur diamètres)											■		
Mortaisage (rainures, cannelures) ébauche et outil calibré												■	
Fraisage Fraise 3T largeur rainure													■

Figure 4 : Qualité et forme réalisables en fabrication.

L'utilisation des connaissances de fabrication ne va pas, elle non plus, résoudre tous les problèmes liés à la fabrication mais elle permet de réduire le nombre des allers et retours entre le bureau d'études, le bureau des méthodes et la fabrication. Elle permet aussi d'informer le concepteur en lui donnant les implications des choix de qualités sur la fabrication des pièces qu'il conçoit. Enfin, en fonction des qualités retenues, elle peut permettre de donner au concepteur des solutions alternatives en terme de procédés et de méthodes de fabrication possibles et ainsi aiguiller ses choix ultérieurs.

## 5 Conclusion et perspectives

L'approche de capitalisation et de réutilisation des connaissances de conception et de fabrication que nous venons de présenter brièvement n'est certes pas exhaustive. Elle s'appuie sur une modélisation du produit qui permet de suivre l'évolution de la conception tout en conservant, dans la mesure du possible, les différents niveaux « sémantiques » de description du produit. Elle apporte au concepteur, via des bases de données, des problèmes d'optimisation pré-formulés et des méthodes de résolution spécifiques, les connaissances des

différents métiers et réduit le temps certaines phases de travail (décomposition fonctionno-structurel, propagation des contraintes, vérification de cohérence, dimensionnement optimal...).

Ceci dit la compréhension de la démarche de conception reste une des principales préoccupations qui permettra d'améliorer encore l'intégration des savoir et savoir-faire et qui permettra de compléter les aspects multi-vues du modèle de produit par la prise en compte d'autres compétences métiers présentes dans le laboratoire.

## Références

- [1] **EYNARD B., BELLOY P. and LAFON P.**, *Towards an Integration of Knowledge in Mechanical Engineering*, IDMME'2000, 3rd International Conference on Integrated Design and Manufacturing in Mechanical Engineering, Montréal, Canada, 17-19 mai 2000.
- [2] **FOUCARD E., BELLOY P.**, *Aide à la détermination automatique des contraintes de cotation axiale sur les montages de roulements*, 7ème Colloque national sur la conception mécanique intégrée, La Plagne, 2-4 Avril 2001
- [3] **EYNARD B., GIRARD PH., DOUMEINGTS G.**, *Control of engineering process through integration design activities and product knowledge*, Integration of Process Knowledge into design Support Systems, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, ISBN 0-7923-5655-1, 1999.
- [4] **EYNARD B.**, *Modélisation du produit et des activités de conception. Contribution à la conduite et à la traçabilité du processus d'ingénierie*, Thèse de l'Université Bordeaux 1 (France), 1999.
- [5] **KJELBERG T, SCMELKEL H.**, *Product Modelling and Information Integrated Engineering Systems*, Annals of the CIRP, vol. 41, n°1, pp 201-204, 1992.
- [6] **KRAUSE F.-L., KIMURA F., KJELBERG T., LU S. C.-Y.**, *Product modelling*, Annals of the CIRP, vol. 42, n°2, pp 695-706, 1993.
- [7] **ANDERL R., MENDGEN R.**, *Modelling with constraints: theoretical foundation and applications*, Computer Aided Design, Vol. 28, n°3, pp 155-166, 1996.
- [8] **BRACEWELL R.H., CHAPLIN R.V., LANGDOM P.M., LI M., OH V.K., SHARPE J., YAN X.T.**, *Integrated platform for AI support of complex design: rapid development of schemes from first principles*, AI System support for conceptual design: Proceedings of the 1995 Lancaster international workshop on engineering design, pp 171-188, 1995.
- [9] **TICHKIEWITCH S.**, *Specification on integrated design methodology using a multi-view product model*, ESDA Proceedings of the 1996 ASME System Design and Analysis Conference, PD-Vol. 80, 1996.
- [10] **SHAH J.**, *Assessment of Feature Technology*, Computer Aided Design, vol. 23, n°5, June 1991.
- [11] **ROUCOULES L., TICHKIEWITCH S.**, "CoDE: a Co-operative Design Environment. A new generation of CAD systems", CERA journal, Vol.8, n°4, pp 263-280, December 2000.
- [12] **GIRAUD. L.**, *Optimisation des systèmes : couplage de méthodes déterministes et évolutionnaires pour les problèmes en variables mixtes*, thèse, n° d'ordre 99, Université de Technologie de Troyes, novembre 1999.

# Représentation des connaissances à base de contraintes en ingénierie d'ensembles mécaniques

Pierre-Alain YVARS

ISMCM-CESTI, GRIIEM

3 rue Fernand Hainaut, 93407 Saint Ouen Cedex

Email : [payvars@ismcm-cesti.fr](mailto:payvars@ismcm-cesti.fr)

## 1 Introduction

Nous présentons dans ce papier trois approches possibles pour la représentation de connaissances en conception mécanique routinière basées sur les contraintes.

- Une première approche consiste à développer des applications d'aide à la conception dédiées sur la base d'outils de développement utilisant le plus souvent un langage de programmation impératif de type C++ associé à une bibliothèque de programmation par contraintes.
- Dans un second temps, nous pouvons raffiner l'approche en organisant les ensembles de variables et de contraintes selon différents points de vue (structurel, fonctionnel, géométrique ...). De plus, les variables permettant de définir un produit de la classe ne sont en général pas instanciées au hasard sous peine de générer de nombreux échecs et donc une explosion combinatoire. Il est nécessaire de disposer d'une représentation du raisonnement de conception c'est à dire, le processus à mettre en œuvre pour instancier correctement et totalement un produit de la classe).
- Enfin, un dernier niveau de modélisation, celui du composant physique ou fonctionnel, intégrable au sein d'une bibliothèque et permettant à l'aide d'une taxonomie de liaison appropriée de mettre à la disposition de l'utilisateur final une boîte à outils pour construire ses propres ensembles et réutiliser des composants préexistants.

Après un rappel sur les contraintes et les techniques de programmation associées, nous proposons de présenter l'état de nos travaux dans les trois domaines.

## 2 CSP et programmation par contraintes

Un CSP (Constraint Satisfaction Problem) est défini par la donnée d'un ensemble de variables, chacune associée à un domaine de valeurs, et d'un ensemble de contraintes qui mettent en relation les variables. Le terme contrainte est ici entendu au sens de toute relation mathématique entre des variables. On pourra donc avoir des contraintes logiques, arithmétiques, quadratiques, linéaires, non linéaires ...

Une solution à un CSP est une instanciation de l'ensemble des variables dans leur domaine de valeur qui satisfait l'ensemble des contraintes posées.

Plusieurs méthodes d'instanciation existent selon le type de variable considéré. Le lecteur pourra se reporter à [4,5,6] pour plus de détails.

### **3 Mise en œuvre des techniques de programmation par contraintes en conception routinière de composants mécaniques**

En première approche, on peut considérer qu'une classe de produits à concevoir peut être représentée à l'aide d'un ensemble de variables numériques et/ou symboliques assujetties au respect d'un ensemble de relations ou contraintes. Un produit de la classe correspond à une instanciation de l'ensemble des variables tout en respectant l'ensemble des contraintes. Il est ainsi possible de proposer au cognitif un environnement de bas niveau lui permettant de créer des applications d'aide à la conception

Toutefois le niveau sémantique de cette approche reste assez faible et lorsque l'on passe de l'expertise disponible sur un produit à un autre produit... il faut développer de nouveau une application complète.

Nous avons ainsi développé au laboratoire un ensemble d'applications d'aide à la conception de composants mécaniques sur la base de l'environnement Visual C++ associé à la bibliothèque de programmation par contraintes IlogSolver et au modelleur CAO ACIS.

### **4 KoMoD : un atelier pour la capitalisation, la représentation et la mise en œuvre de bases de connaissances de conception**

#### **4.1 Objectifs**

L'objectif du projet KoMoD [8,11] est de proposer un environnement permettant :

- La capitalisation et la représentation des connaissances de conception relatives à la classe de produit considéré ainsi qu'au processus d'instanciation.
- La génération d'une application informatique sur la base des connaissances précédemment capturées.

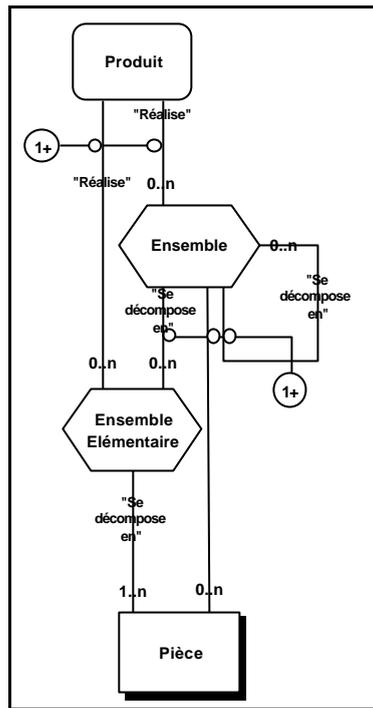
L'ensemble du projet concerne le champ de la conception routinière d'ensembles mécaniques [1].

#### **4.2 Représentation d'une classe de produits**

La description du produit s'articule autour de trois points de vue de base : structurel, fonctionnel et géométrique. Le concepteur de pièces mécaniques peut ainsi utiliser différentes approches dans sa tâche de conception : la spécification des fonctions à remplir, le choix de la structure et des dimensions d'un ensemble mécanique qu'il ne va pas réinventer; il dispose également d'une représentation géométrique complète [7,8,11].

Le point de vue fonctionnel décrit les différentes fonctionnalités auxquelles toute la classe de produits doit répondre.

Le point de vue structurel est un graphe de décomposition structurelle du produit qui intègre les différentes variantes qui existent dans la classe de produit. A la différence des autres vues qui sont des schémas pour décrire le produit global, le point de vue géométrique est utilisé pour construire la représentation géométrique de chaque pièce constitutive du produit (pièces définies dans la vue structurelle) en utilisant les Entités de Conception (surfaces fonctionnelles définies dans la vue fonctionnelle)



**Figure 1:** KoMoD :Le point de vue structurel

Les vues structurelle et fonctionnelle sont en relation avec la vue géométrique par des éléments « charnières ». La liaison entre la vue structurelle et la vue géométrique se fait au travers de l'entité *Pièce* qui possède ainsi un double point de vue. Pour les vues fonctionnelle et géométrique c'est l'Entité de Conception qui sert d'interface.

Pour décrire une classe de produits, il est nécessaire d'exprimer certaines relations qui définissent la façon dont les composantes du produit s'agencent entre elles, ou bien les diverses configurations de composition pour un produit. Pour notamment rendre explicite cette connaissance sur le choix des différentes variantes au sein de la classe *Produit*, nous avons introduit la notion de *connecteurs sur relations*. Ces connecteurs sur relations sont des *méta-contraintes* qui seront gérées, comme les autres contraintes exprimées dans le modèle, par le moteur de propagation au moment de la mise en œuvre. Ce sont des méta-contraintes car ce sont des contraintes qui portent sur d'autres contraintes (relations métier exprimées sous la forme de relations entre paramètres). En effet, en portant sur les liens de composition dans le modèle, elles conditionnent l'existence ou non de certaines entités, l'association d'autres, ces entités contenant elles-mêmes des contraintes.

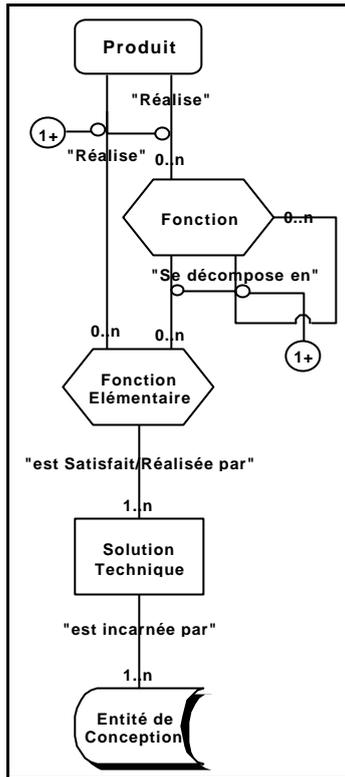


Figure 2: KoMoD : Le point de vue fonctionnel

### 4.3 Mise en œuvre du modèle produit

L'exemple de la figure 3 représente le Modèle d'un Ensemble Bielle-Piston (point de vue structurel). Les différentes possibilités d'assemblages doivent apparaître sur le Modèle. Les connecteurs et cardinalités permettent de l'exprimer clairement.

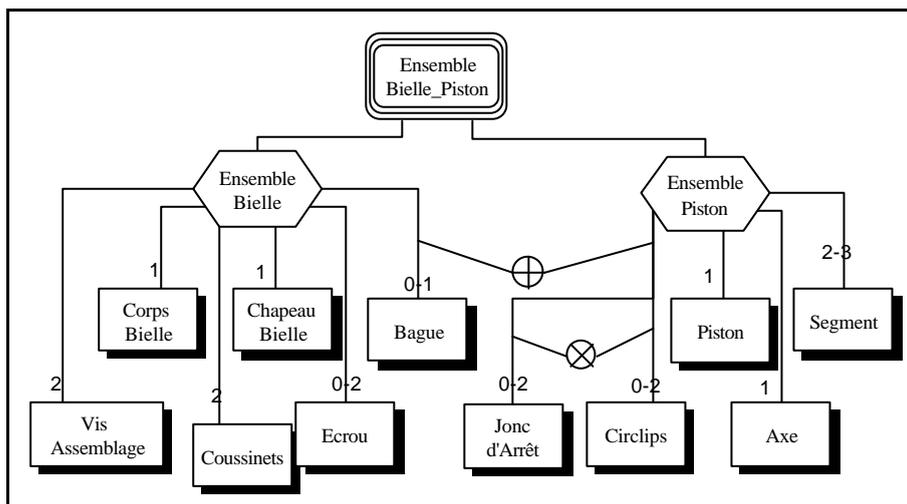


Figure 3: KoMoD :Point de vue structurel sur un ensemble Bielle-Piston

Sur le Modèle de la figure 3, un connecteur ET\_Equivalent (+) a été rajouté entre les éléments "Bague" et "Jonc d'Arrêt" ou "Circlips" pour que leur choix et leur définition soient dépendants. L'utilisation de cardinalités permet également d'exprimer une partie de la connaissance. Dans le cas des pièces de l'Ensemble Bielle, la cardinalité (1) pour le « Corps Bielle » renseigne sur le caractère obligatoire de cet élément. De la même façon, la pièce « Ecrou » a une cardinalité de (0-2), elle est donc optionnelle. La notation utilisée indique une restriction à deux choix seulement : zéro ou deux instances d'Ecrou. L'intégration des connecteurs sur relations et des cardinalités permet de rendre explicite un maximum d'information, ce qui en soi contribue à lever des ambiguïtés et facilite une éventuelle vérification par relecture de l'expert.

#### 4.4 Exemple d'instanciation

Nous retrouvons figure 4 une partie du modèle de description de l'ensemble Bielle-Piston selon le point de vue fonctionnel. Nous souhaitons mettre en évidence le processus de mise en oeuvre (instanciation) au cours de l'activité de conception.

L'instanciation s'effectue par propagation de contraintes.

A partir du Niveau Modèle de l'Ensemble Bielle-Piston (cf. figure 4 - gauche), le concepteur va faire des choix concernant notamment les solutions techniques qu'il souhaite voir mises en oeuvre pour son produit final. Ceci entraînera l'interdiction des autres (éléments hachurés à droite) dans le modèle du produit solution.

Au terme de la propagation de ses choix de solutions techniques et des valeurs choisies pour certains paramètres (propagation par contraintes), la description de son produit final (cf. figure 4 - droite) sera complète quand les domaines de valeurs possibles de chaque paramètre seront réduits à une valeur unique.

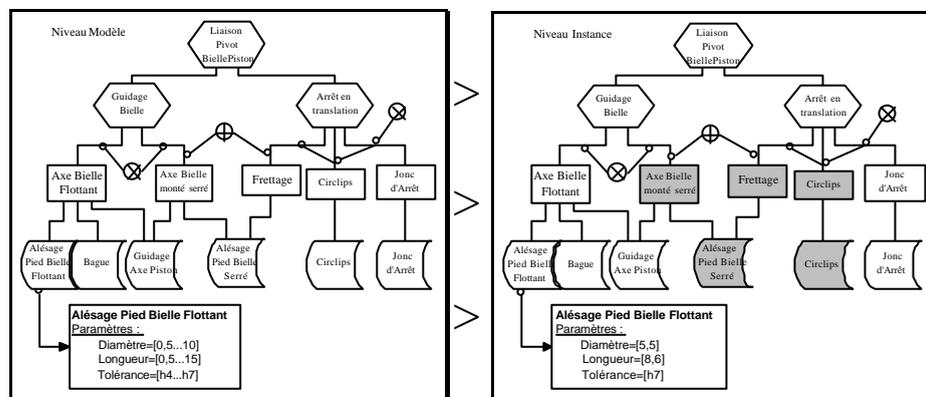


Figure 4: KoMoD : Mise en œuvre de l'activité de conception - Modèle fonctionnel de l'ensemble "bielle-piston"

#### 4.5 Représentation du raisonnement de conception

La structure de modélisation du processus de conception est née de la nécessité de guider le concepteur dans sa démarche lorsque cela est possible [10].

De manière générale nous avons souhaité établir une analogie entre les notions utilisées au sein du méta-modèle du produit et celles permettant la représentation du raisonnement de conception. Ainsi, l'idée de représenter un raisonnement de conception à l'aide d'un ensemble de composants typés associés à l'aide d'un jeu de connecteurs a-t-elle été retenue dans nos travaux.

Pour pouvoir modéliser les connaissances de stratégie de façon déclarative, nous proposons un certain nombre de relations appelées connecteurs, par analogie avec notre méta-modèle du produit, qui peuvent être posées entre les tâches et les méthodes. Ces relations sont de deux sortes. Tout d'abord, les relations logiques qui affectent l'état des tâches (une tâche peut en exclure une autre, une méthode peut en impliquer une autre,...). Ces connecteurs logiques sont ceux définis pour la représentation du modèle du produit. Ensuite les relations temporelles qui modélisent l'ordre d'exécution des tâches et des méthodes.

Les connecteurs temporels peuvent être les suivants : précédence, parallélisme, synchronisation, rendez-vous, initialisation.

Les connecteurs logiques sont les relations logiques habituelles : ET, OU, OU exclusif, implication,...

A l'aide de ces primitives, on peut modéliser des processus de conception en l'absence de connaissances de stratégie. On modélise alors simplement la décomposition tâche/méthodes/sous-tâches. Cette décomposition sera un arbre ET/OU. Une tâche sera exécutée avec succès si l'une de ses méthodes est exécutée avec succès. Une méthode sera exécutée avec succès si toutes les tâches qui la composent sont exécutées avec succès. Une tâche est exécutée avec succès si toutes les variables qu'elle doit instancier le sont en respectant l'ensemble des contraintes [3].

On peut également modéliser à l'aide de ces primitives des processus de conception entièrement connus. On modélisera alors le processus en rajoutant à l'arbre tâche/méthodes/sous-tâches des relations représentant ce processus. Le modèle du processus est alors assimilable à un hypergraphe dont les noeuds sont des objets de type tâche ou méthode et les arcs les connecteurs énumérés ci dessus. De plus ces relations sont des contraintes au sens de la programmation par contraintes.

## **5 Réutilisation de composants technologiques**

Nous avons vu précédemment qu'il nous semblait nécessaire en matière de représentation des connaissances de conception de distinguer au moins trois niveaux de granularité. Nos travaux ont surtout porté sur le développement du second niveau, visant à proposer à l'ingénieur de la connaissance un ensemble d'outils pour modéliser la connaissance relative à une classe de produits et à une classe de processus de conception.

Toutefois, il convient de ne pas oublier l'utilisateur final de tels environnements. En effet, ce dernier rêverait certainement de disposer de bibliothèques de classes de composants et de classes de liaisons pour pouvoir bâtir en temps réel ses propres ensembles et ainsi aboutir à de nouvelles classes de composants.

C'est cette voie de recherche là que nous avons commencé à explorer [2,11].

L'objectif est d'étendre nos méta-modèles pour disposer de classes de composants et de classes de liaisons réutilisables encapsulant la définition des composants ainsi que leur méthode d'instanciation.

## **6 Conclusion**

Nous avons tenté de décliner notre vision de l'utilisation des techniques de programmation par contraintes en conception routinière d'ensembles mécaniques. Celle ci se décline selon trois axes. Chacune des approches s'adresse à des catégories d'utilisateurs ciblés : Informaticien, cognitif, utilisateur final de bureau d'études.

Nous pensons d'autre part que les techniques de résolution de contraintes sont à présent mûres pour motiver leur mise en œuvre efficace dans un contexte d'ingénierie intégrée d'ensembles mécaniques [9].

## Références

- [1] **S. Kota, A.-C. Ward**, "*Functions, structures and constraints in conceptual design*", Design Laboratory, department of Mechanical Engineering and applied Mechanics University of Michigan, 1991
- [2] **I. Larbaouri**, "*la réutilisation de composants en conception*", Mémoire bibliographique, DEA de Production Automatisée, ENS Cachan - Université de Nancy I, Septembre 2000.
- [3] **C. Lenguin**, "*Spécifications pour un langage de représentation du processus de conception en génie mécanique*", Mémoire de Recherche, DEA de Production Automatisée, ENS Cachan, Université de Nancy I, 1996.
- [4] **O. Lhomme, A. gotlieb, M. Rueher, P. Taillibert**, « Boosting the interval narrowing algorithm », ICLP, 1996.
- [5] **A. Macworth**, « Consistency on networks of relations », Artificial Intelligence, vol. 8, pp99-118, 1977.
- [6] **U. Montanari**, « Networks of constraints : fundamental properties and applications to picture processing », Information sciences, vol. 7, pp95-132, 1974.
- [7] **A. Saucier**, *Un modèle multi-vues du produit pour le développement et l'utilisation de systèmes d'aide à la conception en ingénierie mécanique*, Thèse de Doctorat en Mécanique, ENS de Cachan, 1997.
- [8] **F. Sellini**, *Contribution à la représentation et à la vérification des Modèles de connaissances produit en ingénierie d'ensembles mécaniques.*, Thèse de Doctorat en Génie Industriel et Informatique, Ecole Centrale de Paris, 1999
- [9] **M. Tollenaere**, *Conception de produits mécaniques*, sous la direction de M. Tollenaere, Hermès, 1998.
- [10] **C. Vargas**, *Modélisation du processus de conception en ingénierie des systèmes mécaniques*, Thèse de Doctorat, ENS Cachan, 1995.
- [11] **P.A. Yvars**, *Contribution à la représentation de connaissances en ingénierie intégrée de produits et de systèmes automatisés de production*, Mémoire d'habilitation à diriger des recherches, INPG, 5 janvier 2001.

# Modélisation des connaissances pour la conduite de la conception

Philippe Girard<sup>1</sup>, Benoît Eynard<sup>2</sup> et Christophe Merlo<sup>1,3</sup>

<sup>1</sup>Laboratoire d'Automatique et de Productique - Groupe GRAI

Université Bordeaux 1, 351, cours de la Libération 33405 Talence, France

E-mail: [girard@lap.u-bordeaux.fr](mailto:girard@lap.u-bordeaux.fr)

<sup>2</sup>Laboratoire des Systèmes Mécaniques et d'Ingénierie Simultanée

Université de Technologie de Troyes, France.

<sup>3</sup>LIPSI/ESTIA

Technopôle Izarbel

64210 Bidart, FRANCE

## Résumé

Cet article a pour objet de proposer les bases d'une méthode de modélisation des connaissances dans le domaine de la conduite de la conception afin de développer un système d'assistance aux acteurs de la conception. Nous commençons par présenter la modélisation du système de conception afin de comprendre les différentes composantes de la conduite. Puis, nous proposons une classification, par niveau de complexité, de la connaissance que nous appliquons à notre problématique.

## Abstract

This paper propose the modelling of knowledge in the field of design co-ordination to develop an IT-tool for design actors. We start by presenting modelling of the design system to understand its components. Then, we propose a classification of concerned knowledge by level of complexity.

## 1 Modélisation du système de conception

Dans le cadre de la conception coopérative de produits manufacturés, nous nous appuyons sur l'approche GRAI R&D [3] afin de modéliser le système d'ingénierie et améliorer sa performance. A travers l'analyse du système de conception, nous mettons en évidence un certain nombre de mécanismes qui permettent d'envisager la mise en œuvre de la conduite de la conception, notamment par la modélisation des décisions. Un modèle de référence est proposé pour le système de conception. Le système de conception peut être décomposé en deux parties (Fig. 1) :

- d'une part le *système technologique*, composé des hommes, des savoir-faire, des machines, des logiciels et des flux d'information liée à la connaissance des produits. L'objectif est de transformer les besoins exprimés en la définition des produits et de leurs procédés d'élaboration.
- d'autre part le *système de conduite de la conception* ayant pour rôle de piloter le système technologique pour qu'il atteigne les objectifs de performances fixés.

Le système de conduite de la conception comprend deux sous-systèmes :

- le *sous-système décisionnel*
- le *sous-système d'information*

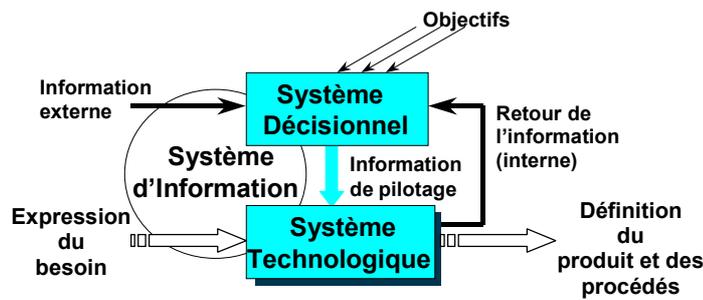


Figure 1 - Le système de conception

Le sous-système décisionnel a pour objectif d'élaborer les décisions fixant les ordres de gestion, appelés aussi informations de pilotage, transmis au système technologique. Le sous-système d'information permet de transmettre, traiter et mémoriser les informations nécessaires. Il sert de liaison entre le système technologique et le système décisionnel.

### 1.1 Le système décisionnel

Dans les systèmes de conception les événements surviennent à un instant quelconque. Cependant, afin de maîtriser le flux transformé, il est nécessaire de scruter régulièrement son évolution voire de planifier au mieux les événements. Le décideur ne scrute le suivi du système qu'à certains instants et rarement en temps réel. Dans la méthodologie GRAI [1], on définit *l'horizon* qui correspond à la durée de validité de la prise de décision et la *période* qui permet de remettre à jour (réactualiser) les informations support à la décision. Suite à cette réactualisation des informations, une remise en cause des décisions peut avoir lieu mais elle n'est pas systématique (Fig. 2).

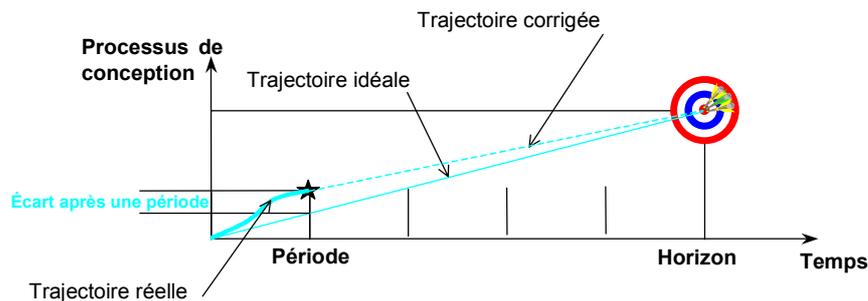


Figure 2 - Suivi de l'avancement du processus de conception

Ce concept d'horizon – période suggère une *classification des décisions selon un premier critère d'ordre temporel*. Ainsi les décisions prises peuvent être classées en trois catégories qui correspondent à trois niveaux temporels :

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

De façon à mieux ordonner les décisions et afin de faciliter la compréhension du pilotage du système où s'opère la conception, un *deuxième critère*, correspondant à la nature même de la décision c'est-à-dire *l'objectif fonctionnel de la décision*, est nécessaire. Ceci permet de structurer les décisions à chaque niveau de décomposition temporel. Il est défini ainsi au moins trois objectifs fonctionnels : les décisions liées à la gestion des flux d'informations, les décisions liées à la gestion des capacités et les décisions de synchronisation entre les flux et les capacités. On définit alors un centre de décision comme étant une prise de décision d'un niveau donné (Horizon-Période) pour un objectif fonctionnel donné.

L'analyse de l'activité de conception conduit à distinguer deux regards pour la modélisation des décisions de conception [3]:

- le *regard de l'objet* où le concepteur réfléchit sur l'objet lui-même afin de le définir.

- le *regard de l'action* où le concepteur réfléchit sur la façon de procéder pour résoudre.

Ces deux regards correspondent en fait à des niveaux de pilotage différents. Le regard action correspond à une démarche d'ingénierie (*pilotage des ressources de l'entreprise*) alors que le regard objet concerne strictement le produit (*pilotage de la connaissance du produit*). Ils sont indissociables même si ce n'est pas forcément la même personne qui a les compétences pour prendre la décision. Leur intégration doit se faire à l'aide de critères de performances pour en permettre l'évaluation. C'est-à-dire, non seulement l'évaluation de la solution possible vis à vis des attentes du client mais, également et surtout, l'évaluation des problèmes de cette solution au niveau de la performance de la démarche d'ingénierie donc des attentes de l'entreprise.

Il est alors possible de classer la nature des décisions de conduite en deux catégories :

- les décisions relatives à la *synchronisation du déploiement des besoins avec la définition de la connaissance sur le produit*
- les décisions relatives à la *synchronisation de l'avancement des projets avec la disponibilité des ressources*.

Une décision, dans le cadre du modèle GRAI, est définie à partir de cinq composantes :

- Informations
- Objectifs à atteindre dans la prise décision
- Variables de Décision déterminant les actions qui permettront d'atteindre les objectifs
- Critères permettant de choisir parmi les variables de décision
- Contraintes représentant les limites de fonctionnement des variables de décision.

## 1.2 Le système technologique

Le système technologique a pour objectif de transformer les besoins exprimés en la définition des produits et de leurs procédés d'élaboration. Il utilise un ensemble de ressources humaines, physiques et informationnelles (logiciels, savoir-faire, flux d'information) intervenant dans cette transformation. Le système technologique est décomposé en *centres de conception* selon des critères qui peuvent être d'ordre technique (exemple : selon la décomposition structurelle du produit), organisationnel (exemple : découpage par projet, création de plateaux de conception) ou social (exemple : regroupement par compétence des acteurs). Cette décomposition est liée à la structure décisionnelle. Un centre de conception correspond à la vision qu'a un niveau de décision (ensemble des centres de décisions d'un même niveau temporel) du système technologique. Ainsi, le système technologique est structuré afin de permettre un pilotage de chaque centre de conception quel que soit le niveau de granularité tout en assurant la coordination de l'ensemble. Il est à noter qu'en conception c'est le système de conduite qui devrait décider de la décomposition du système technologique afin de satisfaire au mieux aux exigences de performance.

Au niveau de chaque centre de conception, les flux sont relatifs aux informations sur les produits et à l'évolution de celles-ci. Nous considérons [2] qu'un centre de conception correspond à la transformation d'un état de connaissance produit donné en un autre état de connaissance. Cette transformation dépend du contexte, de l'environnement du centre de conception et bien sûr des objectifs qui lui sont assignés.

### 1.2.1 Le modèle de produit

Le modèle de produit proposé est un outil de modélisation de la connaissance du produit permettant de lier la description fonctionnelle du produit à sa représentation géométrique. Ces constituants sont la fonction (raison d'être du produit), l'entité technologique (objets définis par le concepteur et satisfaisant aux fonctions), l'entité frontière (interaction entre une entité technologique et une fonction).

Ainsi un état du modèle de produit  $ep_k \in MP$  est un quintuplet défini par :

$$ep_k = \langle F_k, ET_k, EF_k, li_k, att_k \rangle \text{ avec}$$

$$li_k : F_k \rightarrow ET_k \times ET_k \quad \text{et} \quad att_k : F_k \times ET_k \rightarrow EF_k$$

Où  $F_k$  : définit l'ensemble des fonctions relatives à l'état  $k$  ;

$ET_k$  : définit l'ensemble des entités technologiques relatives à l'état  $k$  ;

$EF_k$  : définit l'ensemble de entités frontières relatives à l'état  $k$  ;

$li_k$  : fonction mathématique appelée "link" qui associe à chaque fonction  $f \in F_k$  un couple unique d'entités technologiques; avec  $li_k(f) = (et_1, et_2)$ ,  $et_1 \in li_k(f)$  (respectivement  $et_2 \in li_k(f)$ ) où  $et_1, et_2$  sont les entités technologiques associées à la fonction  $f$  ;

$att_k$  : fonction mathématique partielle appelée "attachment" qui associe à chaque couple  $(f, et_i)$  tel que  $et_i \in li_k(f)$  une entité frontière unique; quand  $li_k(f) = (et_1, et_2)$ , on note  $att_k(f, et_1) = ef_1$  (respectivement  $att_k(f, et_2) = ef_2$ ) avec  $ef_1$  entité frontière associée à  $f : et_1$  (respectivement  $ef_2$  à  $f : et_2$ ).

## 1.2.2 Le modèle de processus

Le modèle de processus proposé permet de décrire la transformation comme une succession d'activités. Elles sont caractérisées par leur nature (conception, exécution, décision) et l'aspect dynamique de leur enchaînement. L'activité de conception correspond à une génération de variétés de possibles, l'activité d'exécution à une évolution d'informations et l'activité de décision à une réduction de la variété c'est-à-dire le choix d'un candidat au regard des objectifs de conception initiaux. Nous pouvons alors caractériser une activité par :

$$a_i = \langle q_{i-1}, \partial_i, x_i, q_i \rangle \text{ avec } q_i = [ep_{k,i}, if_i, t_i]$$

tel que  $\partial_i : (q_{i-1}, x_i) \rightarrow q_i$

Où  $a_i$  : activité correspondante ;

$q_i$  : vecteur représentant l'état donné du flux transformé par l'activité  $a_i$ , qui a pour composante l'état de connaissance du produit  $ep_{k,i}$ , l'ensemble d'information  $if_i$  et la date d'occurrence  $t_i$  de l'état ;

$\partial_i$  : morphisme de l'activité considérée ;

$x_i$  : supports de l'activité considéré.

L'organisation flexible et évolutive du système de conception, le volume important des informations échangées nous amène à proposer un système d'assistance pour les acteurs de la conception. Pour cela, il faut pouvoir proposer une démarche de modélisation de la connaissance en conduite de la conception. Nous présentons, dans le paragraphe suivant, la proposition d'un modèle de référence pour la phase d'analyse de la démarche.

## 2 Modélisation de la connaissance

### 2.1 Objectivation de la connaissance

Pour pouvoir caractériser une connaissance, il est nécessaire de connaître l'objectif de la modélisation et le contexte dans lequel est défini cette connaissance. Dans le cas de la conduite, l'objectif global est d'améliorer les performances du système en facilitant le travail de chacun des acteurs. Pour cela, il faut pouvoir identifier, capitaliser et restituer la connaissance. Le contexte dépend de l'environnement de conception caractérisé par les acteurs, l'artefact et l'organisation mise en place. C'est la connaissance de tous ces éléments qui permettra de mettre en place les mécanismes d'extraction, de traitement et de restitution de la connaissance.

Mais, en premier lieu, il est nécessaire de proposer une classification de la connaissance pour comprendre ce que l'on doit modéliser afin de mettre en œuvre une action adaptée aux objectifs et au contexte.

### 2.2 Classification de la connaissance

Nous reprenons ici les propositions de [6] pour proposer une classification de la connaissance. Il distingue six niveaux qui correspondent aux degrés de complexité de la connaissance classée.

- Niveau 1 : Entité simple ES

Une entité simple est un objet élémentaire, physique ou abstrait, qui entre dans la formulation d'un problème que l'on cherche à résoudre. En informatique, elle correspond à une donnée et peut être représentée par :

$$ES = (\text{objet}, \text{attribut}, \text{valeur}, \text{lien})$$

- Niveau 2 : *Entité complexe EC*

Une entité complexe est un objet complexe composé d'entités simples réunies lorsqu'ils ont le même rôle (par exemple pour une activité: entrée, sortie, ressources, ...). Elle est représentée par :

$$EC = (ec, \text{attribut}, \text{valeur}, \text{lien}) \text{ avec } ec = \text{opérateur}(es_1, es_2, \dots, es_n)$$

L'opérateur caractérise comment les entités simples sont groupées. On utilise des opérateurs arithmétiques, algébriques, logiques et linguistiques.

- Niveau 3 : *Transformation TR*

Une transformation est un objet abstrait qui caractérise la relation de correspondance (ou changement, opération, mutation) entre deux ou plusieurs entités simples ou complexes. Elle est représentée par :

$$TR = (tr, \text{attribut}, \text{valeur}, \text{lien}) \text{ avec } tr = \text{opérateur}(ec_1, ec_2, \dots, ec_n)$$

Cette fois l'opérateur caractérise comment sont traitées les entités pour constituer une transformation (ex: fonction mathématique, loi de transformation de mouvement, ...).

- Niveau 4 : *Énoncé EN*

Un énoncé est un objet abstrait qui, pour un contexte donné, exprime une vérité. Il s'appuie sur un ensemble de lois de transformations, qui sont des faits établis, pour construire d'autres faits. Il est représenté par :

$$EN = (en, \text{attribut}, \text{valeur}, \text{lien}) \text{ avec } en = \text{opérateur}(tr_1, tr_2, \dots, tr_n)$$

L'opérateur montre le processus de traitement qui constitue l'énoncé. Il permet ainsi d'établir des règles par des raisonnements basés sur l'induction (synthèse) (ex : si on utilise tel type de procédé d'élaboration alors la géométrie a telles caractéristiques et le matériau est de telle famille).

- Niveau 5 : *Procédure PR*

Une procédure est un objet abstrait, constitué d'énoncés, qui permet de résoudre un problème bien défini dans un domaine bien défini. Ce peut être des méthodes de résolution ou des algorithmes. Elle peut être représentée par :

$$PR = (pr, \text{attribut}, \text{valeur}, \text{lien}) \text{ avec } pr = \text{opérateur}(en_1, en_2, \dots, en_n)$$

L'opérateur est dans ce cas un processus d'inférence et de raisonnement basé sur des inductions (synthèse) et des déductions (analyse) (ex : procédure de choix d'un composant particulier).

- Niveau 6 : *Programme PG*

Un programme est un objet abstrait, constitué d'un ensemble de procédures dont la connaissance permet de résoudre un ensemble de problèmes du même domaine.

$$PG = (pg, \text{attribut}, \text{valeur}, \text{lien}) \text{ avec } pg = \text{opérateur}(pr_1, pr_2, \dots, pr_n)$$

L'opérateur représente dans ce cas le processus de liaison entre les différentes procédures (ex : Méthode de conception d'un produit, méthode de conduite d'un système de conception).

### 3 Classification des connaissances en conduite de la conception

Si on reprend les différents niveaux de connaissance présentés au paragraphe 1, il est possible de proposer une classification de la connaissance en conduite de la conception.

Niveaux	Connaissance sur	Modèle de produit	Modèle de processus	Système technologique	Système décisionnel
Entité simple	L'existence des objets élémentaires, physiques ou abstraits	Paramètres-Données	Paramètres-Données	Paramètres-Données	Paramètres-Données
Entité complexe	L'existence de groupes d'objets	Entité Frontière, Entité technologique	Flux transformé (intrans, extrant), support	Ressources, besoins	Objectif, Variable de décision, critère, contrainte
Transformation	Le fait de relations entre objets	Fonction	Morphisme de l'activité	Savoir faire	Centre de décision
Enoncé	La vérité d'entraînement d'un fait par un autre	Mécanismes de décomposition et d'agrégation	Processus de conception	Cadre de conception	Cadre de décision (Horizon-période), cadre de conception
Procédure	La résolution d'un problème dans un domaine défini	Méthode de conception	Gestion de projet	Centre de conception	Structure GRAI_R&D
Programme	La résolution de l'ensemble des problèmes du même domaine	Méthodes de conduite d'un système de conception			

**Tableau 1** Classification de la connaissance en conduite de la conception

## 4 Conclusion

Il faut maintenant être capable d'associer, à chaque niveau de connaissance, les différents opérateurs permettant d'identifier, de grouper, de transformer les connaissances de la conduite afin de pouvoir les exploiter pour résoudre les problèmes de la conduite de la conception. Nous obtiendrons ainsi le méta-modèle de cette connaissance qui nous servira de support au développement d'un système d'assistance aux acteurs de la conception [4] basé sur les concepts multi-agents. Nous étudions leurs apports à l'aide de l'exemple d'un agent produit dont le rôle est d'aider les acteurs à représenter les connaissances produit et à contrôler et coordonner leurs évolutions.

## Références

- [1] G. DOUMEINGTS, "Méthode GRAI : méthode de conception des systèmes en productique", Thèse d'état, Université de Bordeaux I, 1984.
- [2] B. EYNARD, "Modélisation du produit et des activités de conception - Contribution à la conduite et à la traçabilité du processus d'ingénierie", Thèse de Doctorat, Université Bordeaux I, 30 juin 1999.
- [3] Ph. GIRARD, "Etude de la conduite de la conception des produits manufacturés - Contribution à l'ingénierie des systèmes de conception", Thèse de Doctorat, Université Bordeaux I, 3 février 1999.
- [4] C. MERLO et Ph. GIRARD, "Un environnement multi-agent support à la conduite en conception", PRIMECA, La Plagne, France, 3-4 avril 2001.
- [5] L.PUN, "Comment maîtriser la vie - Méthodologie Yi-King Systémique", Edition You-Feng, Paris, France, 1999.



## Un exemple concret de gestion des connaissances à AIRBUS

René Peltier (AIRBUS)



### UN PATRIMOINE DE SAVOIR-FAIRE

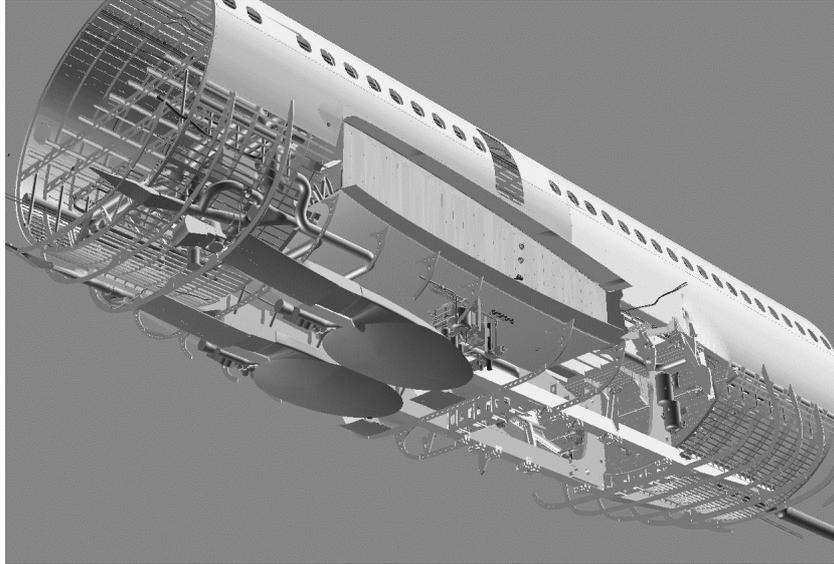
#### → DIVERSIFIE ET EN CONSTANT ACCROISSEMENT :

- technologies complexes,
- technologies nouvelles,
- technologies anciennes à maintenir.
- Dans les domaines : avion, production, calcul, modélisation...

#### → POUR DES PRODUITS AUX EXIGENCES SEVERES :

- sécurité,
- masse , performance,
- durée de vie , maintenabilité,
- coûts.

#### → AU SERVICE DE CLIENTS EXIGEANTS



« UN UNIVERS IMPITOYABLE »

→ **concurrence internationale sévère,**  
→ **marché fluctuant, instable et cyclique,**  
    **mais une volonté farouche d'être « les leaders » ⇔**

→ **réactivité,**  
→ **flexibilité et adaptations des organisations,**  
→ **regroupements, alliances :**

⇔ **un objectif :**  
    **maîtriser, développer et valoriser l'expérience,**  
    **les savoir-faire et les compétences**

→ **FORMATION :**

- plan formation,
- E.A.O. (Enseignement Assisté par Ordinateur)

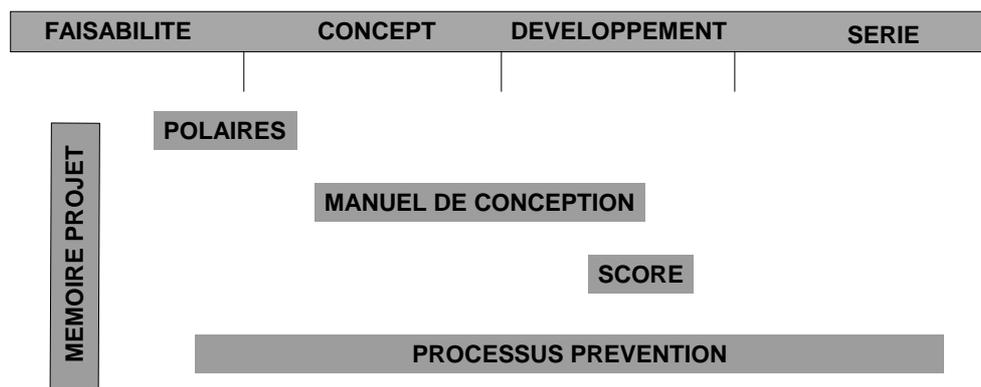
→ **VALORISATION DE L'EXPERIENCE :**

- outils métier porteurs de savoir-faire,
- manuels d 'expérience à l 'usage des métiers,
- pratiques de retour d 'expérience,
- documentation.
- ...

→ **ORGANISATION DU TRAVAIL :**

- tutorat,
- plateau multi-métiers,
- réseaux d'expertise.

QUELQUES EXEMPLES :



**→ OBJECTIFS :**

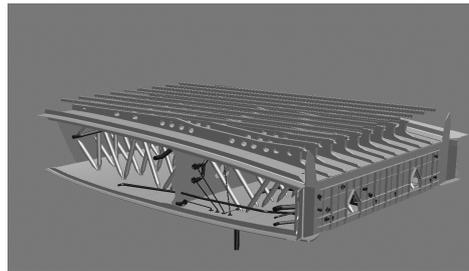
- Réduire les coûts et les cycles de traitement.
- Conserver et transmettre le savoir-faire.
- Réduire le volume des essais.
- Assurer la pérennité des résultats d'essais.

**→ DESCRIPTION :**

- une mémoire exhaustive et ordonnée de l'information d'essais en soufflerie.
- un environnement d'analyse et de synthèse numérique et graphique.
- un guide de travail et d'aide à la décision à travers le Manuel d'aide expérimental d'aérodynamique.

**→ OBJECTIFS :**

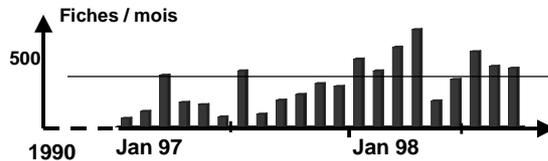
- conserver le savoir-faire en conception cellule
- servir de guide à la conception
- permettre la formation métier des nouveaux

**→ SOLUTION :**

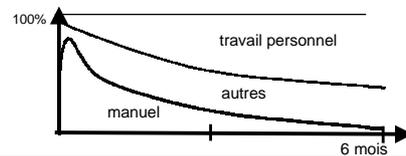
- un manuel d'expérience distribué par réseau sur postes utilisateurs et constitué de :
  - fiches « avion » illustrées établies par les spécialistes du sujet et validées par les métiers concernés
  - fiches « outil » : matériaux, protections, fixations...
  - fiches retour d'expérience :
    - bêtisier, coûts et recommandations production.

## MANUEL DE CONCEPTION STRUCTURE :

**taux de consultation :**



- permet de gagner de 30 à 50% du temps de recherche d'informations,
- « permet d'acquérir un niveau de connaissance des problèmes autorisant la discussion efficace avec les spécialistes »
- l'emploi du temps d'un jeune embauché :



## SCORE :

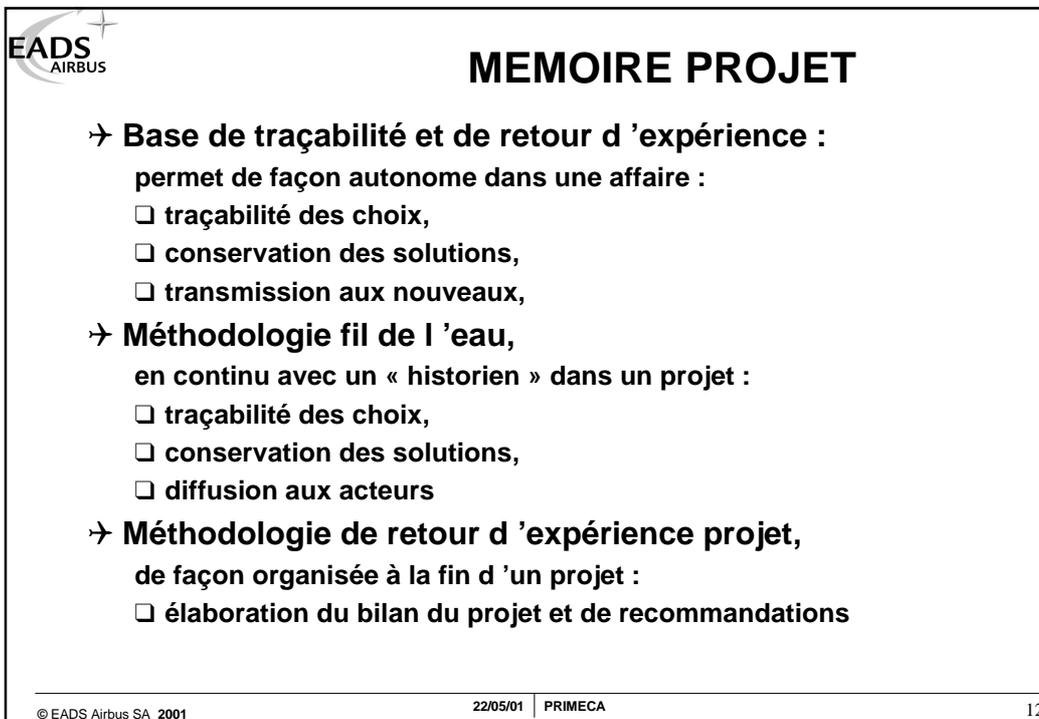
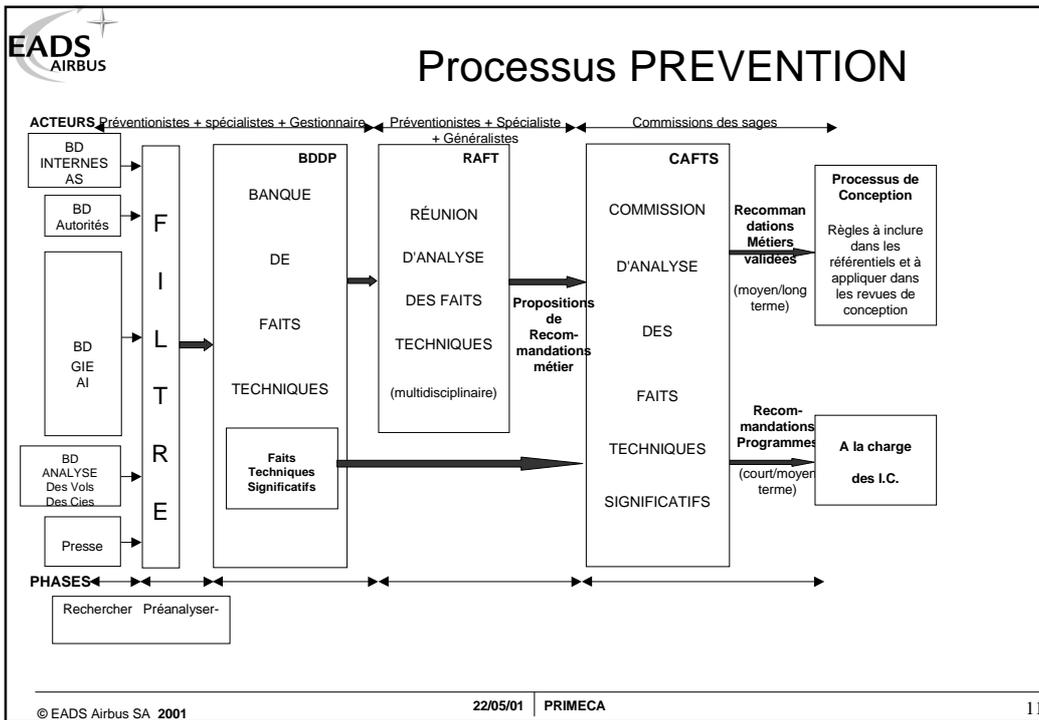
Système d'aide à la Conception des Outillages par la Réutilisation de l'Expérience

### → OBJECTIFS :

- conserver le savoir-faire des concepteurs outillage de formage par emboutissage,
- aider à la formation des nouveaux

### → SOLUTION :

- un guide de conception basé sur :
- une base de règles métier,
- une base de cas de conception,
- un outil de recherche de cas semblables : CBR



## UNE DÉMARCHE GLOBALE (1):

### → Des projets ciblés et des solutions dédiées (mémoires locales) :

- mémoire métier : manuels, outils métier...
- mémoire projet,
- retour d 'expérience produit et processus,
- réseau veille,
- intranet « valorisation de l 'expérience »
- formation :
  - EAO métiers, encyclopédie des matériaux...

**➔ VERS UNE PRATIQUE CONTINUE ET PERMANENTE**

## UNE DÉMARCHE GLOBALE (2) :

### → Un plan de Recherche :

- En réponse à des problèmes identifiés :
- évaluer des solutions technologiques innovantes (CBR...),
- développer des solutions génériques (KBE...),
- prendre en compte les aspects socio-techniques,

### → Une approche processus et organisation :

- un réseau pour :
  - coordonner et prioriser les actions,
  - identifier et diffuser les meilleures pratiques,
  - mettre en œuvre des compétences spécifiques : interviewers, facilitateurs...
- un guide :
  - les situations mémoire ➡ les meilleures réponses,
  - comment conduire un projet mémoire.

**➔ VERS UN PRATIQUE CONTINUE ET PERMANENTE**



# Portails à base d'agents pour la capitalisation des connaissances dans les projets de R&D

**Jean-Paul Barthès, Cesar Tacla**

Laboratoire CNRS UMR 6599 HEUDIASYC

Université de Technologie de Compiègne

BP 20529 - 60205 Cedex Compiègne

E-mail: [barthes | cesar.tacla]@utc.fr

## Résumé

Cet article concerne la capitalisation des connaissances développées lors de projets de R&D complexes dans lesquels la ressource rare est le temps. Nous proposons que l'approche fondée sur le groupware pour développer la notion de *portail de projet* soit élargie par l'intégration d'agents cognitifs afin d'améliorer la réactivité du système et d'atteindre l'objectif final qui est d'économiser du temps. Nous décrivons un portail développé selon l'approche groupware, nous présentons ensuite la structure d'un système d'agents cognitifs et nous discutons les avantages et les inconvénients des deux approches et les difficultés rencontrées lorsque nous voulons les combiner.

## Abstract

This paper is concerned with organizing Knowledge Management in complex R&D projects where time is the prime factor. We argue that specific portals developed using groupware technology and products should be augmented by agents in order to increase the overall system reactivity and to achieve the global objective, namely to save time. We describe a portal we have developed using a groupware approach, we give the structure of a system of cognitive agents, and discuss the possibility of bringing the two technologies together.

## 1 Introduction

Cet article analyse la recherche en cours dans le contexte d'un projet national destiné à l'industrie automobile. Le principal problème à résoudre est d'organiser les connaissances utilisées dans des projets de R&D complexes et très prioritaires. Une préoccupation similaire est exprimée dans le projet européen MOKA [7], mais de façon plus générale. Afin d'offrir des solutions réalisables, nous cherchons à prendre en compte la situation réelle des organisations et, en particulier leurs contraintes, plutôt que de fournir des solutions élégantes mais impraticables. Puisque nous traitons notamment de l'information, deux technologies sont utilisables : le groupware permettant de gérer la documentation et le travail coopératif, et les systèmes multi-agents apportant flexibilité et dynamisme. Notre point de vue, centré sur l'application, est qu'il faut utiliser un mélange de ces deux technologies.

L'article est organisé en quatre parties : la section 2 présente le contexte du travail ; la section 3 décrit les caractéristiques du portail que nous avons développé pour des projets de R&D complexes ; la section 4 discute l'architecture multi-agents développée récemment au sein du groupe ; la section 5 discute la possibilité d'utiliser les deux technologies conjointement en considérant les problèmes qui restent à résoudre.

## 2 Projets de R&D complexes

Nous nous intéressons à des projets de type conception routinière, comme, par exemple, le développement de nouveaux types de véhicules automobiles. Même si le projet d'un nouveau véhicule est fait à partir de la réutilisation de parties des projets passés, de nouveaux éléments devront encore être développés. Les projets qui nous intéressent donnent naissance à des prototypes qui éventuellement seront produits en grands volumes. Lors du développement d'un prototype, il y a peu de temps pour réaliser une documentation détaillée. Il s'en suivra que la plupart des informations resteront éparpillées dans une multitude de documents sur différents supports. Les expériences vécues seront dispersées dans les têtes des membres du projet. En conséquence, il est important d'organiser la gestion des connaissances dans les projets de R&D.

L'une des approches pour construire des systèmes de gestion des connaissances est de suivre le cycle de capitalisation comme préconisé par plusieurs auteurs. La Figure 1 montre un tel cycle [4]. Le processus comprend la localisation des connaissances cruciales, leur formalisation par l'emploi d'une technologie d'information, afin de pouvoir les diffuser, les maintenir et les enrichir. Pour les projets de R&D, les techniques fondées sur un cycle de capitalisation classique ne peuvent être utilisées par manque du temps nécessaire à leur mise en œuvre. Il faut donc s'arranger pour récupérer et organiser les connaissances sans que la charge des participants à un projet n'augmente. Cela signifie qu'il faut doter ces personnels d'outils qui permettent de distribuer les connaissances, d'échanger des informations, mais aussi de récupérer automatiquement les connaissances présentes dans les échanges. L'une des façons de capturer l'information est d'offrir aux participants d'un projet un système d'aide au travail coopératif, étant donné qu'un grand nombre de projets de R&D finissent par produire une quantité élevée de documents et exigent des efforts conjugués des participants. Les travaux de Peña-Mora et collaborateurs [8] s'appuient sur une idée similaire : dans l'environnement CAIRO des agents ramassent des informations à partir des messages échangés pendant les réunions de projet.

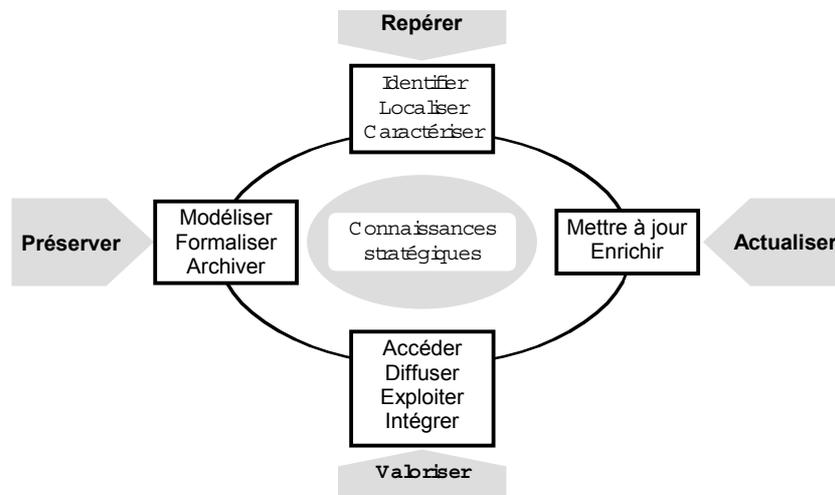


Figure 1 : Cycle de capitalisation [4].

Deux technologies sont de bons candidats pour constituer la base de tels systèmes : le groupware et les systèmes multi-agents. Toutes les deux sont capables de supporter le processus de travail coopératif. Dans le but d'essayer cette approche, tout d'abord nous avons choisi un projet de R&D et nous avons développé un système basé sur le groupware. Les résultats sont décrits dans la section 3. Néanmoins, comme notre groupe a une certaine expérience dans le développement de systèmes multi-agents, nous considérons que les résultats obtenus ne sont pas complètement satisfaisants. Nous savons qu'un autre type de système pourrait être construit en utilisant des agents cognitifs, selon l'approche présentée dans la section 4. Cependant, nous sommes persuadés que, plutôt que de développer une approche alternative à la notion de portail de projet, il vaudrait mieux combiner les approches groupware et multi-agents, pour réaliser des portails à base d'agents et les doter de caractéristiques intéressantes.

### 3 Un portail pour le travail coopératif

Nous avons dans un premier temps utilisé l'approche fondée sur le groupware pour développer la notion de *portail de projet* (à partir d'un environnement Lotus Notes™). Dans cette approche, d'une part nous voulons doter un projet d'un espace où ses membres puissent préserver et enrichir la mémoire du groupe de travail ; d'autre part, nous voulons rendre plus facile l'accès aux informations. Ainsi, un participant à un projet, quel que soit son grade ou sa fonction, est doté d'un portail qui lui permet d'accéder de façon efficace aux informations dont il a besoin. Le but des portails est double : (i) réduire le temps pour accéder aux informations pertinentes et (ii) recueillir des informations et organiser les échanges.

Côté utilisateur, le portail contient les informations et les outils nécessaires à son travail quotidien : gestionnaire des documents privés, éditeur de texte, courrier électronique, agenda privé, carnet d'adresses et notifications des projets auxquels il participe (par exemple, avis de réunion, notification de l'inclusion d'un document intéressant dans la base d'un projet). Côté projet, les fonctionnalités intéressantes sont le calendrier de projet, la gestion des documents, l'abonnement selon un profil (notification), et les facilités de discussion et de *workflow*.

Il est important de noter que les connaissances impliquées ne sont pas seulement des connaissances techniques de type expertes, mais contiennent également des *connaissances d'usage*. De Azevedo [3] a montré que les connaissances d'usage peuvent être plus importantes que les connaissances techniques et lorsqu'elles ne sont pas bien organisées, elles peuvent représenter une importante source de perte de temps. Donc, le système doit considérer, à côté des connaissances techniques, les connaissances d'usage nécessaires dans le but d'atténuer la charge de travail quotidienne.

#### 3.2 L'architecture du portail

La construction des portails repose sur différentes bases de données Lotus Notes™, chacune contenant des documents de divers types. Quatre bases composent le portail d'un utilisateur : documents personnels, courrier électronique, carnet d'adresses et abonnements. Chaque portail de projet possède les bases suivantes : documents de projet, carnet d'adresses et documents publics. L'organisation de l'information dans un projet se fait grâce au développement d'une *ontologie du domaine* qui sert à définir les catégories de documents, à les indexer et à les retrouver automatiquement. Les ontologies sont gérées par l'administrateur du système et constituent le fil conducteur du projet. Le comportement pro-actif du système est réalisé par des agents Lotus™ qui sont de fait des *demons* associés aux bases de données. Par exemple, il y a un *demon* associé à la base de documents de projet dont la responsabilité est de rappeler la date, l'heure et l'endroit d'une réunion. Lotus™ l'exécute selon une planification du type "une fois toutes les  $x$  minutes" établie par le concepteur du système.

Il est important de noter que la structure des portails peut être vue comme un ensemble de services, chaque forme de service étant associée à une base de données. Nous pouvons considérer qu'une telle structure ressemble à une structure multi-agents, ce qui nous incite à comparer les deux approches.

### 4 Les systèmes multi-agents

Les systèmes multi-agents offrent une architecture flexible pour construire des applications complexes. L'idée de base est de réunir des agents autonomes spécialisés dans la fourniture de certains services et de les laisser négocier en vue de résoudre un problème. Plusieurs projets ont été développés dans le domaine de la conception. Whitfield et collaborateurs [13] discutent ces projets du point de vue de la négociation. Une vision plus élargie et plus générale est présentée dans [12].

Dans notre laboratoire, il y a longtemps que nous développons des systèmes multi-agents, en particulier dans le domaine de la conception complexe. Monceyron [5] a développé un environnement de projet basé sur la technique du *blackboard*, EXPORT, utilisé dans la conception de ports (maritimes). Plus récemment, Shen [11] a développé DIDE, une plate-forme générique pour la conception en mécanique. Ces travaux ont conduit à la construction de la plate-forme

OMAS (système multi-agents ouvert). Dans les deux sections qui suivent, nous présentons les caractéristiques principales de notre approche multi-agents.

## 4.1 Architecture multi-agents

Dans notre approche, les agents sont organisés en des groupes relativement compacts. Nous appelons de tels groupes des *coteries* d'agents. Au sein d'une coterie, les agents sont homogènes et la communication est asynchrone et publique, c'est-à-dire : tous les agents peuvent lire tous les messages échangés et traiter ceux qui le concernent ou qui les intéressent. Une coterie reproduit les caractéristiques d'un système ouvert : il n'y a pas de hiérarchie et le nombre d'éléments par coterie n'est ni fixe ni déterminé. Cependant, ce modèle de communication par radiodiffusion, très efficace pour la communication interne au groupe, ne convient pas pour la communication entre coteries dans un système ouvert. La communication entre coteries se fait à l'aide d'un agent *postier* qui correspond au concept d'agent manager du standard FIPA. Dans une coterie, il y a deux types d'agents :

1. les agents de service : ils fournissent un type particulier de service correspondant à des compétences spécifiques (l'un des services est d'interfacier d'autres coteries ou d'autres plate-formes).
2. les agents assistants : ils réalisent l'interface entre l'utilisateur et le système (ses capacités sont dédiées à comprendre leurs maîtres et à afficher les informations d'une façon intelligente, sans perturber leurs maîtres).

La Figure 2 montre la structure interne d'un agent générique. La partie grise correspond aux blocs appartenant exclusivement aux agents assistants.

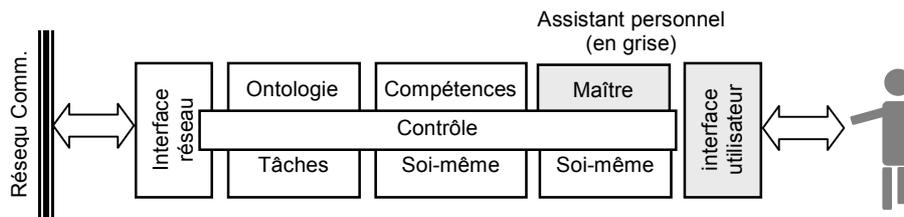


Figure 2 : La structure interne d'un agent.

Afin de rester relativement brefs et dans le contexte de cet article,, nous présentons les composantes les plus importantes d'un agent OMAS typique :

- les *compétences* sont réalisées par des procédures ou règles de production et, en effet, elles sont la réalisation des services offerts par l'agent,
- l'*ontologie* concerne la structure et le fonctionnement de l'agent et le domaine dans lequel l'agent est inséré,
- la *représentation de soi* contient une description des compétences, la mémoire de l'agent et ses buts à long terme,
- le *modèle de l'utilisateur* est réservé aux agents assistants. C'est une représentation du maître.

## 4.2 Gestion des connaissances et agents

Il est naturel de supposer qu'une architecture multi-agents est un support idéal pour la gestion des connaissances, puisque chaque service requis par le système peut être réalisé du point de vue informatique par un agent de service et que chaque utilisateur peut se faire aider par un agent assistant. Par ailleurs, un système multi-agents peut démontrer un comportement intelligent, tout en conservant une complexité relativement limitée. Par exemple, si l'on utilise des techniques d'intelligence artificielle, les agents peuvent construire une représentation de la situation et offrir une aide à l'utilisateur de manière spontanée (comportement proactif). Ou encore, ils peuvent s'appuyer sur des situations passées

en utilisant la technique de raisonnement à base de cas. De plus, comme les agents sont développés de façon indépendante, un système multi-agents peut évoluer facilement par l'addition de nouveaux agents.

## 5 La combinaison des deux approches

Même si notre expérience est encore limitée, nous percevons des problèmes dans les deux approches dans la gestion des connaissances. Nous envisageons aussi la possibilité de résoudre certains de ces problèmes en combinant les deux approches, comme nous le décrivons dans cette section.

### 5.1 Avantages et Inconvénients de l'approche portail

Un portail basé sur une plate-forme groupware commerciale a certains avantages importants dans un environnement industriel :

- la technologie est éprouvée, et l'environnement fourni est persistant et fiable,
- il peut être facilement intégré aux autres systèmes d'information de l'organisation,
- il peut être bien adapté à la structure de l'organisation,
- il est facilement accepté par les utilisateurs.

En revanche, les plus grands inconvénients sont :

- la pro-activité qui peut être réalisée avec *démons* est limitée,
- l'évolution du système peut demander de grands efforts de re-codification et de réorganisation.

Ces restrictions ne sont pas levées facilement. Le comportement proactif nous renvoie à des techniques de l'intelligence artificielle et de traitement symbolique difficilement programmables dans le cadre d'un outil commercial. Faire évoluer le système, lorsqu'on a besoin de nouvelles fonctionnalités, exige une re-codification significative.

### 5.2 Avantages et Inconvénients de l'approche multi-agents

Les mêmes limitations ne s'imposent pas aux systèmes multi-agents et en particulier aux agents OMAS. Chaque agent est indépendant des autres et peut être ajouté au système à n'importe quel moment. L'activité est auto-contrôlée par l'échange de messages, chaque service répond seulement quand cela est nécessaire. Les avantages principaux sont :

- la flexibilité,
- la possibilité de faire évoluer le système par l'addition ou la suppression d'agents de service,
- la possibilité de définir des services intelligents et proactifs s'exécutant en arrière plan,
- la possibilité d'intégrer les systèmes d'information existants par *encapsulation*,
- la possibilité d'avoir plusieurs options du même service en parallèle en utilisant le protocole *contract-net*.

Même si la flexibilité d'un système à base d'agents n'a pas besoin d'être démontrée, l'emploi d'agents dans des applications réelles n'est pas encore une solution évidente par suite des raisons suivantes :

- Les systèmes multi-agents sont difficiles à piloter et à organiser à cause de leurs limites qui restent floues ; en particulier, le système évolue constamment,
- la plupart des expériences avec des systèmes multi-agents ont été vécues dans des projets académiques qui n'ont pas nécessairement les mêmes restrictions qu'un environnement réel,
- un système multi-agents est par nature ouvert, ce qui peut conduire à des problèmes de sécurité.

De plus, dans une perspective de gestion des connaissances, une simple requête peut déclencher l'exécution de plusieurs tâches et sous-tâches et, en conséquence, aboutir à une situation d'activité intense et incontrôlable.

### 5.3 La combinaison des approches portail et multi-agents

La solution que nous considérons actuellement est de garder l'approche *groupware* et d'introduire la flexibilité des systèmes multi-agents. Plus précisément, il s'agit de :

- considérer les fonctionnalités des portails comme des services, ce qui nous emmène aux agents intelligents,
- augmenter le degré d'autonomie des éléments de *groupware* (les bases de données)
- ajouter des agents externes, en particulier des agents assistants pour réaliser l'interface entre les utilisateurs et le système.

Puisque les environnements *groupware* tendent à opérer selon l'architecture centralisée client/serveur, nous avons l'intention de distribuer les services comme des processus indépendants dotés d'un comportement intelligent et proactif. Certains services, par exemple ceux qui traitent une grande quantité d'information, peuvent être traités comme des applications traditionnelles et être encapsulées dans un agent capable d'augmenter l'expressivité de leurs interfaces en utilisant un protocole défini en termes d'actions interprétées sémantiquement. Le système peut évoluer par l'addition d'agents de plus en plus complexes ou d'agents qui fournissent des options pour les services déjà existants. Nous voulons garder certaines caractéristiques de l'approche *groupware*, telles que la capacité de traiter de grands volumes d'information et d'assurer la sécurité, et faire travailler le système en coteries d'agents.

La Figure 3 montre notre vision présente d'un tel système, focalisant sur les types d'agents utilisés et sur les coteries. Nous envisageons la construction de deux coteries, l'une pour les personnes et l'autre pour les projets. La coterie de personnes contient des agents assistants et des services d'aide aux utilisateurs. Les agents assistants, à côté de leurs fonctions premières, jouent le rôle d'interface entre l'application Lotus, i.e. le portail personnel, et le système multi-agents. Ce rôle est appelé *wrapper* selon FIPA. Les utilisateurs, membres d'une coterie, peuvent utiliser les services d'autres agents tels qu'aide à la rédaction, recherche de documents, figures et contacts. La coterie de projets fait travailler un ensemble de projets de façon coopérative. Un agent de projet qui, en pratique, est un agent de service, est censé organiser la mémoire de travail du groupe, diffuser les documents et enrichir la mémoire en recherchant de sources d'information et en stimulant les membres du projet pour qu'ils y contribuent. Donc, un agent de projet a besoin des services d'autres agents afin de rechercher des documents intéressant le groupe qu'il représente. Au-delà de ces fonctions, il effectue la liaison entre le portail de projet et le système multi-agents, et donc joue aussi le rôle de *wrapper*.

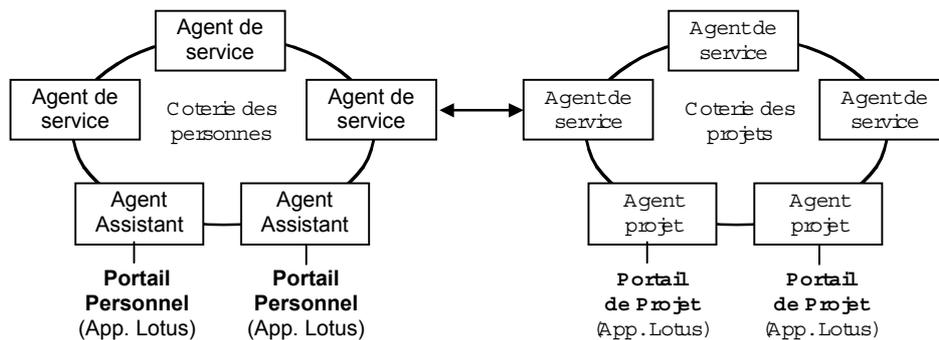


Figure 3 : La combinaison de l'approche *groupware* et multi-agents.

## 6 Conclusion

Nous avons discuté le problème du recueil et de l'organisation des connaissances pendant le déroulement de projets de R&D complexes. Tout d'abord, nous avons développé un portail de projet et un portail personnel selon l'approche *groupware*. Actuellement, nous déployons le système sur plusieurs projets : industriel, administratif et de recherche. Dans les mois qui viennent, nous espérons obtenir des résultats pratiques à partir de ces expériences. Mais les résultats préliminaires de notre expérience montrent que l'approche *groupware*, bien qu'adaptée aux structures organisationnelles actuelles (architecture, protection des informations) et capable de gérer efficacement de grands volumes d'information, est en pratique trop rigide (difficulté de réaliser des actions "intelligentes", difficulté d'évolution due à une architecture relativement figée). L'approche basée sur des systèmes multi-agents cognitifs pose des problèmes différents, comme la protection des informations et leur contrôle dans un environnement industriel. Nous avons donc proposé de combiner les deux approches pour réaliser un environnement de type portail plus flexible et doté d'un comportement plus intelligent, intégrant des agents cognitifs, et en particulier des agents de type assistants personnels.

## Remerciements

Ce projet est partiellement financé par le CNRS dans le cadre du programme PROSPER. Cesar Tacla est financé par CAPES et CEFET-PR, institutions brésiliennes de support à la recherche et d'éducation.

## Références

- [1] **Barthès J-P. A., De Azevedo H.** Identifying Autonomous Agents for Capitalizing, *OM'98. Building, maintaining and using organizational memories: Workshop ECAI*, Brighton, UK. Aug 24-25, (1998).
- [2] **Carlson-Skalak S., White M.D., Teng Y.** Using an Evolutionary Algorithm to Catalog Design. *Research in Engineering Design*, v.10, 63-83, (1998).
- [3] **De Azevedo H.** *Contribution à la modélisation des connaissances à l'aide des systèmes multi-agents*. Thèse de doctorat de l'Université de Technologie de Compiègne, Compiègne (1997).
- [4] **Grundstein M., Barthès J-P.A.** An Approach to Enterprise Knowledge Capitalization. in *Knowledge Management. Enterprise, Network and Learning. Advances in Knowledge Management*. J. Schreinemakers, J-P. Barthès (Eds), Ergon Verlag, Germany, v. 2, 151-159, (1999).
- [5] **Monceyron E., Barthès J-P. A.** Architecture for ICAD Systems: an Example from Harbor Design. *Revue Sciences et Techniques de la Conception*, vol 1, 49-68, (1992).
- [6] **Nonaka, I., Konno, N.** The Concept of "Ba": Building a Foundation for Knowledge Creation. *California Management Review*, 3(40), 40-54, (1998).
- [7] **Oldham, K Kneebone, S, Callot, M, Murton, A and Brimble, R,** in N. Mårtensson, R. Mackay and S. Björgvinsson. MOKA - A Methodology and tools Oriented to Knowledge-based engineering Applications', Changing the Ways We Work, *Advances in Design and Manufacturing, Proceedings of the Conference on Integration in Manufacturing*, Göteborg, Sweden, IOS Press, Amsterdam, October, v8, 198-207, (1998).
- [8] **Peña-Mora F., Hussein K., Vadhavkar S., Benjamin K.** CAIRO: a concurrent engineering meeting environment for virtual design teams. *Artificial Intelligence in Engineering*, v. 14, 203-219, (2000).
- [9] **Ramos M.** *Structuration et évolution conceptuelles d'un agent assistant personnel dans les domaines techniques*, Thèse de doctorat de l'Université de Technologie de Compiègne, Compiègne, (2000).
- [10] **Scalabrin E. E., Vandenberghe L., de Azevedo H., Barthès J-P. A.** A Generic Model of Cognitive Agent to Develop Open Systems. In *Advances in Artificial Intelligence*, Series Lecture Notes in Artificial Intelligence, D.L. Borges, C.A.A. Kaestner (Eds). Springer, 61-70, (1996).
- [11] **Shen W., J-P. A. Barthès.** An Experimental Multi-Agent Environment for Engineering Design. *International Journal of Cooperative Information Systems*, World Scientific Publishing Company, v. 2&3(5), 131-151, (1996).
- [12] **Shen Weiming, Norrie Douglas H., Barthès J-P. A.** Multi-Agent System for Concurrent Intelligent Design and Manufacturing, Taylor and Francis, (2001).
- [13] **Whitfield R.I., Coates G.,Duffy A.H.B.,Hills B.** Coordination Approaches and Systems – part I: A Strategic Perspective. *Research in Engineering Design*. 1(12):48-60, (2000).



# Propositions d'actualisation de la technologie structurale pour créer et utiliser des documentations technologiques

**Yves CARTONNET**

ENS de Cachan  
61, avenue du président Wilson  
94230 Cachan  
[cartonnet@lirest.ens-cachan.fr](mailto:cartonnet@lirest.ens-cachan.fr)

## Résumé

Mon propos est de contribuer à répondre à la question suivante : Quelles catégories de connaissances techniques sont à collecter auprès d'ingénieurs en exercice, de chercheurs, ou à construire par une technologie, pour devenir spécialiste d'un champ technique ? Ce texte propose donc une catégorisation des connaissances techniques par le schéma PYSTILE. Puis il explicite les considérations théoriques qui fondent l'organisation du schéma PYSTILE. En particulier, il s'agit de préciser en quoi une technologie est une théorie, d'expliciter les apports de la technologie structurale et de la technologie génétique et d'actualiser ou de compléter les concepts et les lois qu'elles proposent.

## Abstract

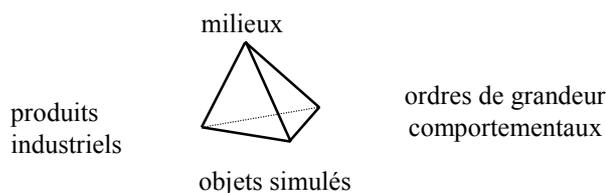
The aim of this paper is to answer at the question : what categories of technical knowledge are to found with engineers to be specialist? This text gives categories of technical knowledge with the schema PYSTILE. After, he proposes to consider a technology as a theory. He specifies the contents of the structural technology and of genetic technology. And he explains the new problems that we must resolve.

L'utilisation des documentations technologiques considérée dans ce texte est la conception de produits industriels, et la formation de ces concepteurs, techniciens et ingénieurs, [2].

Imaginons que l'on veuille former un enseignant de la conception ou former un concepteur pour que chacun sache rapidement trouver les informations nécessaires pour devenir spécialiste d'un champ technique, par exemple les aspirateurs ménagers. Une première question est de définir les catégories de connaissances techniques à documenter. Je propose d'en considérer quatre.

## 1 Le schéma PYSTILE

Les quatre catégories de connaissances à documenter pour atteindre un niveau de spécialiste sur un champ technique sont organisées par le schéma PYSTILE (PYramide de Sciences et Techniques IndustrielLES).



**Figure n°1:** le schéma PYSTILE

Les quatre catégories de connaissances distinguées dans PYSTILE se réfèrent aux activités de conception en entreprises et permettent d'organiser la collecte de connaissances techniques utilisées par des concepteurs professionnels.

### 1.1 Les milieux

Les connaissances de cette catégorie caractérisent les deux milieux, extérieur et intérieur, avec lesquels tout produit industriel est en relation.

Le milieu extérieur est l'environnement de fonctionnement du produit. Il a été précisé par J. CHABAL et al [3] par quatre qualités. Pour ces auteurs, le milieu extérieur, selon les phases considérées du cycle de vie du produit, se compose des milieux physique, humain, économique et technique.

Le produit remplit une fonction d'usage propre au milieu humain. Par exemple, le guidage en rotation des roues de locomotive est assuré par des « boîtes à essieux » ;

Le produit atteint les performances associées à la fonction d'usage et cela en subissant et en s'adaptant aux différentes conditions caractéristiques du milieu de fonctionnement, physique. Par exemple, pour des roues de locomotive, le

guidage doit exister aussi bien au démarrage, en ligne droite, dans les courbes, les montées, les descentes, en montagne, sur la Côte d'Azur, l'hiver, l'été. Ces conditions font varier les valeurs des actions mécaniques, les vitesses relatives, les températures. Et dans toutes ces conditions les performances de résistance passive, des précisions de guidage doivent être celles spécifiées dans le cahier des charges.

En tenant compte des différentes caractéristiques du milieu extérieur, le concepteur définit donc la structure du produit, c'est-à-dire l'architecture, les composants et les dimensions. Mais il définit également le milieu intérieur. Il définit les caractéristiques du milieu intérieur, leurs valeurs et les systèmes qui assurent la stabilité de ces valeurs malgré les variations des caractéristiques du milieu extérieur. Par exemple, il choisit le lubrifiant et conçoit son système de filtration et de refroidissement. Il prévoit des ventilateurs pour éviter une trop grande élévation de température, mais aussi des filtres entre l'air extérieur et le produit, comme pour les ordinateurs d'ateliers, afin que l'air du milieu intérieur soit propre, sans poussière, par rapport à celui du milieu extérieur.

Dans cette catégorie de connaissances, pour une fonction d'usage nommée, au concept de performance s'ajoute celui de « modes de défaillances prépondérants ». Ce dernier identifie les risques de défaillance qu'un spécialiste étudiera prioritairement et précisément lors de la conception. Par exemple, les guidages en rotation par éléments roulants dans le milieu des véhicules ferroviaires, des locomotives, doivent être conçus pour répondre à six modes de défaillances prépondérants dans ce contexte : la fatigue, la pollution par la silice issue des ballasts, les passages de courant, les sur-couples au démarrage dus aux moteurs asynchrones, les glissements de sous-chargement et les vibrations générées par l'espacement régulier des traverses soutenant les rails.

## 1.2 Les produits industriels

Je désigne par cette catégorie les documents qui représentent les produits industriels et les concepts qui permettent d'abstraire un ensemble de produits particuliers en une classe d'équivalence. Par exemple, le principe de fonctionnement cinématique – comme bielle-manivelle, ou quatre barres - est un de ces concepts. Le principe d'amplification d'effort – par levier, hydraulique, par genouillère - peut être un autre de ces concepts. La structure est un autre concept, au sens d'une systématisation de l'agencement des composants formant une classe de produits. Par exemple, pour une classe d'entre elles, les structures des pompes doseuses sont systématiquement composées d'un moteur électrique, d'un accouplement élastique, d'un réducteur roue-vis, d'un système cinématique de transformation de mouvement, d'un piston, ou d'une cellule de dosage à membrane.

La difficulté pour définir cette catégorie de connaissances techniques est de résoudre la tension entre deux nécessités paradoxales. Il faut réaliser une abstraction conceptuelle d'un ensemble de produits pour dépasser l'énoncé d'une suite d'études de cas. Et néanmoins il faut garder les particularisations des produits à leur milieu de fonctionnement.

## 1.3 Les objets simulés

Les connaissances de cette troisième catégorie sont les modèles théoriques scientifiques (dynamique, cinématique, élastique, plastique, thermique, etc) que le concepteur doit utiliser afin de modéliser le produit industriel pour évaluer s'il atteint bien les performances et s'il évite bien les défaillances énoncées par les « connaissances des milieux ».

Le concepteur doit donc établir différents modèles, qui permettent chacun l'emploi d'une théorie scientifique, à partir d'un produit industriel existant, ou imaginé et qui permettent des simulations prédictives des différents comportements physico-chimiques de ce produit. La simulation des comportements permet ainsi de prévoir les réponses de la machine aux sollicitations qu'elle aura à subir dans son milieu de fonctionnement et d'éviter ainsi les modes de défaillances connus. Ils permettent l'évaluation quantifiée des solutions constructives concurrentes, envisagées pour assurer une fonction technique.

## 1.4 Les ordres de grandeurs comportementaux

Enfin, la quatrième catégorie de connaissances techniques est constituée des ordres de grandeur comportementaux. Ces connaissances sont très particularisées. Ce sont des valeurs numériques qui permettent de concrétiser, pour un milieu de fonctionnement, les sollicitations subies, les réponses apportées, par exemple un effort et une rigidité, et de les comparer pour différents produits industriels ou différents objets simulés.

Ce sont les réponses des solutions classiques, relatives à un contexte donné, aux sollicitations du milieu de fonctionnement. Il s'agit ici des caractéristiques précises des limites de résistance des produits industriels. Par exemple, un mode de défaillance prépondérant des boîtes d'essieux de locomotive est la pollution par la silice issue des ballast. Les caractéristiques de la graisse (additif, tenue à la chaleur,...) à mettre dans les chicanes d'étanchéité sont des connaissances caractérisant les ordres de grandeur comportementaux.

Pour terminer la définition de ce schéma, il est nécessaire de préciser que « une » PYSTILE se désigne par une fonction d'usage et les caractéristiques d'un milieu extérieur. Par exemple, nous pouvons collecter les informations permettant la conception de vélos tout terrain sans neige. Ces connaissances constitueront une PYSTILE. Une autre pourrait l'être à propos des vélos routiers pour le cyclotourisme en France.

Voyons maintenant les considérations théoriques que fondent ce schéma.

## 2. Quelle théorie technologique ?

### 2.1 En quoi une technologie est une théorie ?

Je propose de considérer qu'une technologie est une théorisation d'une technique. Une technique est alors elle-même une formalisation d'une pratique. Le concepteur est capable de mettre en œuvre une pratique de conception. Les traités spécialisés écrits par des ingénieurs, conception des moteurs diesels pour voiture, par exemple, sont des manuels techniques. Ils formalisent la pratique de la conception de ces produits. L'ensemble de ces manuels offre un recueil d'études de cas. La technologie de la conception des moteurs diesel doit théoriser ces études de cas.

Mais à quoi sert une telle théorie, et quel est son objet ? Une théorie technologique permet alors de proposer des solutions techniques pouvant remplir une fonction technique. Son objet est constitué des associations fonction-solutions. Une théorie technologique permet donc de proposer un existant, ou son adaptation, pour remplir une fonction. Et une théorie scientifique permet de modéliser et d'évaluer cet existant.

### 2.2 Trois questions pour ces théories technologiques

Ces trois questions devraient permettre de préciser les concepts et les régularités qui fondent une théorie technologique.

Quels concepts formalisent les classes d'équivalence des produits industriels ?

Quelles lois peuvent définir le progrès technique ?

Quels processus rationnels, et psychologiques peut-on définir comme caractéristiques de la capacité de proposition ?

Les formations technologiques n'ont pas plus de deux cents ans d'existence. Leur avènement est consécutif à la construction des usines et à la nécessité de former leurs personnels. Jusque dans les années 70, l'enseignement consistait à juxtaposer des études de cas. A partir des années 70, d'une part, L. GEMINARD [5, 6] et un groupe d'enseignant [1, 3] propose la technologie structurale. Et d'autre part, Y. DEFORGE [4] propose la technologie génétique.

Ces technologies offrent des réponses partielles à ces trois questions. Mais il reste à compléter ces réponses et à actualiser certains concepts pour suivre l'évolution des produits industriels. En effet, ils étaient constitués essentiellement d'une partie opérative jusque dans les années 50 et depuis ils incorporent tous une partie commande, sont asservis, et fonctionnent de plus en plus en réseau.

Jusqu'à présent, les ensembles de machines ont été réunis sous le concept de structure par la technologie structurale. Et ces structures ont été représentées par des schémas cinématiques. Mais le concept de structure d'un produit a été pensé comme un agencement de solides indéformables. Il s'agit d'introduire la notion de milieu intérieur comme l'huile, ou l'air, sans lequel les machines ne fonctionnent pas. Selon la technologie génétique, les ensembles de machine ont été réunis par leur principe de fonctionnement. Mais alors l'adaptation des machines à leur milieu de fonctionnement n'est pas explicité. Une perspective de mon travail sera donc de définir la notion de structure systémique.

La loi de progrès technique que propose la technologie génétique est fondée sur le concept de concrétude, élaboré par G. SIMONDON [7] et de synergie avec le milieu associé. Mais les déterminants socio-économiques sont explicitement absents de cette analyse.

Enfin, les processus de proposition ont été ceux de la logique combinatoire pour la technologie structurale et ceux de la psychologie de l'invention pour la technologie génétique. Je me propose de reprendre les idées de bases de connaissances des systèmes experts des années 80 pour définir des méthodes heuristiques de proposition. La méthode TRIZ va également dans ce sens.

## Références

- [1] CANONGE, F. et DUCEL, R., *La pédagogie devant le progrès technique*, Paris, PUF, (1969)
- [2] CARTONNET, Y., *L'actualisation de la technologie structurale pour la formation de la technicité des concepteurs de produits industriels*, Mémoire d'HDR, Paris 11-Orsay, (2000).
- [3] CHABAL, J. ; DE PRESTER, R. ; SCLAFER, J. ; DUCEL, R., *Méthodologie de la construction mécanique*, Paris, Foucher, (1973)
- [4] DEFORGE, Y. , *Technologie et génétique de l'objet technique*, Paris, Ed. Maloine, (1985).
- [5] GEMINARD, L. ; GROS LA FAIGE, F., *Construction mécanique. Eléments de projet*, 2 tomes, Paris, Dunod, (1966).
- [6] GEMINARD, L., *Logique et Technologie*, Paris, Dunod, (1970).
- [7] SIMONDON, G., *Du mode d'existence des objets techniques*, Paris, Aubier, (1958).



# Intégration de l'environnement en conception par apprentissage : Proposition d'un outil de pilotage

Loïc Jacqueson\*, Dominique Millet\*\*, Stéphanie Minel\*, Améziane Aoussat\*\*

\* FAURECIA

R&D

Route d'Etampes Brières-les-Scellés BP 89

91 152 Etampes Cedex

[ljacqueson@brieres.faurecia.com](mailto:ljacqueson@brieres.faurecia.com)

[sminel@brieres.faurecia.com](mailto:sminel@brieres.faurecia.com)

\*\* Laboratoire CPNI ENSAM Paris

151 Boulevard de l'Hôpital

75 013 Paris

[dominique.millet@paris.ensam.fr](mailto:dominique.millet@paris.ensam.fr)

[ameziane.aoussat@paris.ensam.fr](mailto:ameziane.aoussat@paris.ensam.fr)

Cet article présente une partie des travaux que nous menons chez un équipementier automobile avec pour objectif l'intégration de l'environnement en conception.

L'environnement est une valeur de société qui connaît un essor depuis les années 80 et se retrouve aujourd'hui au cœur de l'actualité (pollution atmosphérique, traitement des déchets ...). L'industrie automobile est particulièrement concernée par cette valeur car les véhicules automobiles sont maintenant clairement identifiés comme source de pollution. La modification des produits résultant de la prise en compte de critères environnementaux a été initiée avec la mise au point des carburants sans plomb puis des pots catalytiques. Cette tendance reste d'actualité avec le développement de motorisation plus sobre et du filtre à particules par exemple. En parallèle de ces actions sur le produit, le secteur automobile connaît une montée en puissance des plans de certification ISO 14 001 (système de management environnemental).

Aujourd'hui, les constructeurs doivent faire face à une réglementation environnementale de plus en plus contraignante (notamment avec l'entrée en vigueur de la directive 2000/53/CE). Chaque constructeur s'approprie cette nouvelle réglementation et redéfinit ses objectifs environnementaux par rapport à cette nouvelle donnée. Il en résulte en Europe un positionnement spécifique de chaque constructeur (avec des logiques de « leader » et de « suiveur »).

Pour l'équipementier, cette situation génère de la complexité car il doit être capable d'intégrer à la fois l'évolution de la réglementation, ses propres objectifs de progrès ainsi que la pluralité des positions de ses clients dans un domaine en évolution permanente.

Face à cette nouvelle demande en matière d'environnement, nous constatons aujourd'hui que l'industriel dispose d'un ensemble (très important) de ressources pour intégrer l'environnement dans la conception des produits (exemple de ressource : check-lists, guides de conception, logiciel de DfX<sup>1</sup> ou d'analyse de cycle de vie etc...), y compris chez les constructeurs automobiles [Leborgne 98] [Coppens 99]. Cette grande diversité (plus de 200 outils, [MILLET OO]) associée à la difficulté pour le concepteur novice en matière d'environnement de faire le bon choix, a donné lieu à des classements issus de la recherche [Deeds 98] [Janin 00] et des institutions réglementaires [EC 00]. Les ressources y sont classées selon leurs fonctionnalités principales à savoir évaluation, amélioration, conception, communication etc ...

---

<sup>1</sup> DFX est l'abréviation de design for X (X pouvant signifier : recycling, dismantling, environment ...)

Malgré l'engouement et les communications nombreuses que suscite ce nouveau domaine qu'est l'environnement<sup>2</sup>, il reste difficile de citer aujourd'hui, même à titre d'exemple, des produits faisant l'unanimité quant à leur qualité environnementale.

Parmi les différents travaux menés sur l'intégration de l'environnement (alors que la tendance générale est de considérer la résolution des problèmes environnementaux comme dépendant du choix du ou des outils les plus appropriés) certains chercheurs abordent la question par le biais du management des connaissances. Les éléments cruciaux que nous voyons dans cette nouvelle approche sont d'une part le respect de la complexité intrinsèque de l'environnement et d'autre part la prise en compte de la perception des principaux acteurs de ce domaine : les concepteurs. Kaila [Kaila 97] souligne en effet que « Les concepteurs sont les personnes les plus compétentes pour prendre des décisions en DfE, quand ils disposent des supports et des infos nécessaires ». D'autres chercheurs tels Aggeri et al. font état « d'un manque de modèle d'intervention permettant d'assurer un apprentissage progressif des concepteurs » [Aggeri 97], Bras lui précise que « la formation des acteurs de la conception est un pré-requis nécessaire à toute utilisation d'outil de prise en compte de l'environnement » [Bras 97], Hatchuel lui parle de deux réalités importantes à propos de l'assimilation d'une prescription : « la création d'un nouveau savoir par l'opérateur et l'existence d'un double apprentissage » (à la fois pour le concepteur de la prescription et pour l'opérateur, si l'hypothèse de la prescription est confirmée lors de son application [Hatchuel 96]). Nos observations en milieu industriel<sup>3</sup> en complément de ces éléments bibliographiques nous ont convaincu d'aborder la question de l'intégration de l'environnement comme un apprentissage de nouvelles connaissances.

En matière d'environnement, la difficulté d'un tel apprentissage ne relève pas tant de la transmission de connaissances au sein d'une organisation mais beaucoup plus de la création, de la construction des connaissances utiles à terme à l'entreprise.

La question qui se pose en effet dans le domaine de l'environnement et des produits automobiles est l'existence même de la connaissance au niveau expert : au-delà des restrictions sur le contenu des produits en substances dangereuses ou des critères de recyclabilité, il reste délicat et difficile de comparer sur le plan environnemental, des produits concurrents.

Aujourd'hui, l'émergence de nouvelles connaissances requiert de manière impérative la participation active de l'ensemble des acteurs de l'entreprise ainsi que la mobilisation d'acteurs externes à l'entreprise (nous pensons ici notamment à l'intervention de l'ensemble des acteurs du cycle de vie des véhicules automobiles, particulièrement les fabricants de matières premières et les recycleurs). L'enjeu ici est bien, à partir d'un domaine initialement perçu comme une contrainte, d'arriver à amener les acteurs de l'entreprise à créer ensemble les connaissances nécessaires à l'évolution de cette contrainte vers un autre état (tel que la création de valeur ajoutée).

L'apprentissage qui est un processus long, complexe, nécessitant de nombreuses itérations et difficile à maîtriser, ne peut être inscrit dans une organisation de type projet (avec un planning et des rendus réguliers etc ...). Il y a donc une nécessité, pour les initiateurs de l'apprentissage, de disposer d'une structure leur permettant d'influencer ce processus (par un suivi des actions réalisées et des propositions d'actions complémentaires, par exemple).

Influencer, orienter l'apprentissage en ayant à la fois une vision de l'objectif à atteindre et la capacité d'agir sur certains paramètres influents correspond à ce que nous appellerons dans la suite de cet article « piloter l'apprentissage ».

Dans le domaine du management des connaissances, Mack [Mack 95] a proposé un modèle décrivant la transformation des connaissances dans un espace à deux dimensions (Cf. Figure 1). La transformation des connaissances a lieu lorsqu'il y a une progression équivalente dans chaque dimension. Les connaissances les mieux partagées étant celles correspondant aux niveaux maximums de codification et de diffusion.

Nous pensons que cette représentation n'est pas suffisante, dans un cadre industriel, car elle ne prend pas en compte la réalité économique et concurrentielle de l'entreprise.

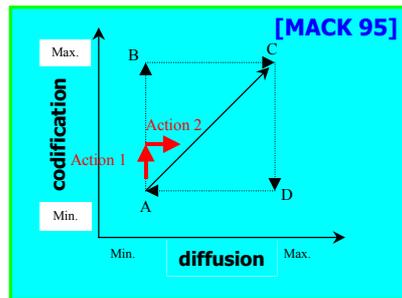
Les entreprises n'ont en effet ni la vocation ni les moyens d'intégrer tout types de connaissances, mais il en va de leur pérennité d'intégrer les connaissances créatrices de valeur pour leur secteur d'activité.

La prise en compte du statut des connaissances nous paraît de ce fait incontournable, particulièrement dans le cas de l'environnement, étant donné sa situation ambiguë dans l'industrie automobile (à la fois sujet d'actualité dans la presse<sup>4</sup> et sujet négligé dans les projets de développement de nouveaux véhicules).

<sup>2</sup> Que ce soit dans des publicités telle que celle pour Audi A2 « les femmes, les enfants et la recyclabilité d'abord » ou les déclarations des différents constructeurs lors des salons professionnels ou dans les rapports environnementaux.

<sup>3</sup> Trois années passées au sein du bureau d'études R&D de FAURE CIA Sièges d'automobile, avec de fréquents contacts avec les équipes de développement ainsi que les services environnement recyclage des constructeurs.

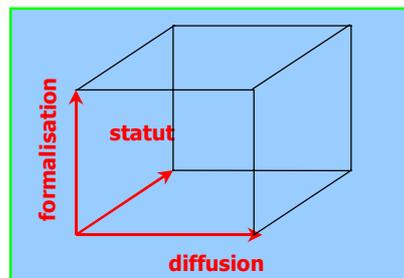
<sup>4</sup> Articles sur les conséquences de la directive VHU : Environnement Magazine avril 2001, Les Echos 23 mars 2001, La Tribune 13 février 2001, Recyclage récupération 16 février 2001, Auto recyclage février-mars 2001.



**Figure 1** : Evolution des connaissances dans un espace à deux dimensions (d'après Mack).

Nous avons trouvé dans la littérature des éléments faisant référence à cette notion de statut, notamment avec Gaucheron [Gaucheron 00], qui propose une échelle d'évolution du statut d'un nouveau domaine en quatre étapes : ignoré, émergent, contingent et fondamental.

Il nous semble particulièrement pertinent d'intégrer cette dimension au référentiel proposé par Mack afin de prendre en compte les facteurs essentiels participant à la transformation et à l'évolution d'une connaissance relative à l'environnement au sein de l'entreprise. Nous obtenons ainsi un référentiel à trois dimensions que nous allons utiliser pour l'évaluation du processus d'apprentissage (Cf. Figure 2).



**Figure 2** : Représentation de l'évolution des connaissances dans un espace à trois dimensions.

Ce référentiel constitue en fait la structure de notre outil de pilotage de l'apprentissage des connaissances en environnement dans l'entreprise. En effet, il permet d'effectuer à la fois un suivi des actions menées (on peut replacer dans cet espace les actions en fonction de leur but principal, on garde ainsi en mémoire de manière synthétique les réalisations et les objectifs visés) mais également de mettre en évidence les lacunes du système d'intervention mis en place (traitement inégal d'une dimension par rapport aux deux autres par exemple).

A l'image de Mack, nous pensons que la transformation des connaissances résulte d'une progression concomitante de chacune des trois dimensions du référentiel.

### Evaluation de l'outil de pilotage

La notion de pilotage doit se traduire, de notre point de vue, par une double capacité : la capacité d'évaluer les progressions effectuées (par rapport au référentiel choisi) et celle de proposer des actions de relance (réorienter l'apprentissage) quand les résultats obtenus ne sont pas satisfaisants. Nous avons alors émis l'hypothèse que chacune des trois dimensions de notre référentiel devait posséder une échelle de mesure spécifique, afin de pouvoir suivre aussi précisément que possible l'évolution de l'apprentissage. Dans le but de tester cette hypothèse, nous avons mis en place trois séries d'actions (nos expérimentations) visant à stimuler l'apprentissage en agissant sur les trois dimensions de notre outil.

Pour chaque axe, nous préciserons la liste des actions réalisées et nous détaillerons une action particulière pour illustrer nos propos. Ceci nous amènera à présenter une version complétée de l'outil de pilotage ainsi que des remarques concernant son utilisation.

#### *Recherche d'une échelle pour la dimension « Formalisation » de l'outil de pilotage*

Pour qu'une connaissance puisse être partagée, il est reconnu qu'elle doit passer d'un statut de connaissance implicite à celui de connaissance explicite. Cela correspond à l'étape l'externalisation des connaissances selon

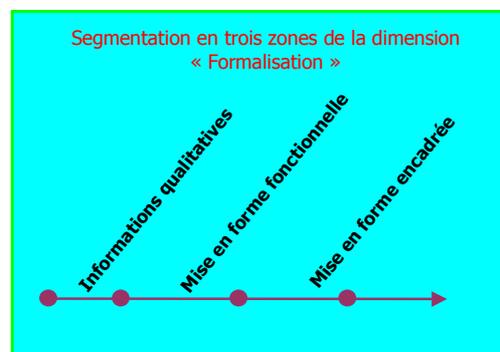
Nonaka (un des quatre modes de conversion des connaissances [Nonaka 95]), où la connaissance subit une transformation qui la fait passer d'un état de savoir expert à celui de savoir formalisé.

Afin de préciser les évolutions au sein de la dimension Formalisation, nous avons mené six types d'actions différentes allant dans le sens d'une formalisation des connaissances en matière d'environnement (Cf. Tableau 1). L'analyse de ces expériences, nous a permis de préciser l'échelle de cette dimension qui s'étend des connaissances implicites (non formalisables) aux connaissances explicites (avec un niveau de formalisation élevé).

Dimension « Formalisation »	
Types d'actions	Détails
Réalisation de supports de présentations.	Présentation à différents niveaux hiérarchiques de l'entreprise (depuis les dessinateurs jusqu'aux directeurs de division), de l'état des lieux réglementaire, concurrentiel, et des enjeux associés à l'environnement.
Création d'un guide de conception en vue du recyclage.	Outil destiné aux concepteurs des Bureaux d'Etudes, reprenant les éléments principaux de la réglementation et des demandes des clients / constructeurs et intégrant un recueil de préconisations illustrées.
Rédaction de notes de synthèse sur les enjeux liés à l'environnement.	Eléments destinés aux responsables hiérarchiques (chefs de service, directeurs de programmes de développement, directeurs d'unité) mettant en évidence notamment les aspects économiques et concurrentiels de ce nouveau domaine.
Construction d'un outil de suivi de l'environnement dans les projets.	« Check-lists » environnementales construites sur le même modèle que les outils usuels de suivi de projet.
Rédaction d'article pour le journal d'information interne du groupe.	Présentation vulgarisée des enjeux, des solutions existantes, des incertitudes persistantes et des acteurs internes du nouveau domaine.
Rédaction d'une procédure qualité groupe concernant les substances réglementées (sécurité et l'environnement)	Définition des règles de fonctionnement notamment quant à l'introduction, le stockage et l'utilisation de produits dangereux pour l'environnement.

**Tableau 1** : liste d'actions de formalisation des connaissances en environnement

L'analyse de ces expériences, nous a permis de préciser l'échelle de cette dimension qui s'étend des connaissances implicites (non formalisables) aux connaissances explicites (avec un niveau de formalisation élevé) Cf. Figure 3.



**Figure 3** : Segmentation de la dimension « Formalisation » de l'outil de pilotage

Pour expliciter cette segmentation, nous allons nous appuyer sur une des actions réalisées :

**La construction d'un outil de suivi de projet prenant en compte l'environnement :**

Une première note de synthèse (suite à un état des lieux concernant la prise en compte de l'environnement en conception) a été rédigée à destination de notre hiérarchie. Suite à ce constat, il a été décidé de réaliser une information générale des acteurs de la conception sur les enjeux de l'environnement (ce qui a donné lieu à différentes présentations). Afin de permettre aux responsables de projets en R&D (notre périmètre d'intervention) d'intégrer dans leur quotidien la prise en compte de l'environnement, nous avons réalisé, en accord avec la hiérarchie, un premier document de travail (document fonctionnel, conçu sur le modèle des outils usuels). Cet outil comprenant autant de check-list que de phases de développement a été testé sur un projet pilote. Une fois son utilisation validée, ce premier document de travail a fait l'objet d'une « officialisation » en étant intégré au sein du manuel qualité de l'entreprise (mise en conformité de l'outil avec le référentiel et attribution d'un numéro d'identification qualité). C'est cette dernière étape que nous appelons mise en forme encadrée (c'est à dire répondant à un cadre de référence, celui imposé par la qualité, dans le cas présent).

Nous avons identifié trois segments correspondants à trois niveaux différents de formalisation. A défaut d'être strictement quantitative, cette segmentation permet néanmoins une première hiérarchisation des différentes actions et donc un positionnement relatif des réalisations, les unes par rapport aux autres.

Parmi les actions proposées toutes ne permettent pas d'atteindre le niveau de formalisation maximal, certaines actions ne permettent le passage qu'au segment conjoint, sans balayer la totalité de l'échelle.

Ces actions de formalisation favorisent la banalisation des connaissances dans l'entreprise en provoquant leur passage d'un état tacite (connaissances attachées à leur détenteur) à un état objectif (connaissances d'essence scientifique et échappant à leur détenteur, selon Wright [Wright 95]). On renforce ainsi la crédibilité des acteurs du nouveau domaine, d'une part en donnant un caractère officialisé aux informations qu'ils manipulent et d'autre part en permettant à d'autres acteurs de l'entreprise de s'appropriier ces mêmes connaissances.

Il reste cependant délicat de traiter spécifiquement la seule dimension « formalisation » de manière isolée, sans prendre en compte (au moins en partie) les autres dimensions de notre outil. Dans l'exemple que nous avons traité cela s'est traduit par des actions relevant de la diffusion et du statut (l'implication du service qualité a nécessité des actions de diffusion des connaissances en environnement auprès des personnes hiérarchiques et des personnes opérationnelles<sup>5</sup>, ainsi qu'un changement de statut).

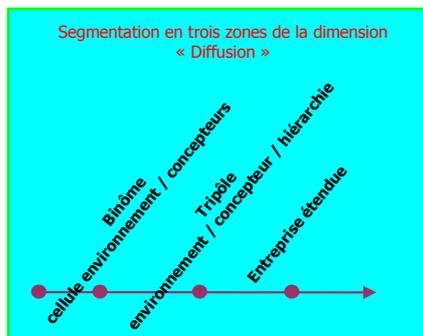
#### Recherche d'une échelle pour la dimension « Diffusion » de l'outil de pilotage

Pour préciser l'évolution de l'apprentissage par rapport à la dimension Diffusion de l'outil, nous avons mis en place des actions (quatre au total, Cf. Tableau 2) visant à diffuser les connaissances en environnement (relatives aux produits) au sein de l'entreprise.

Dimension « Diffusion »	
Types d'actions	Détails
Création d'un réseau de correspondants environnement	Mise en réseau d'interlocuteurs environnement chargés de la veille technologique au sein des différentes unités du groupe (France, Allemagne, USA, Japon).
Participation à la journée annuelle R&D	Journée de présentation des activités de R&D du groupe, en présence d'environ 150 personnes comprenant les responsables des divisions et des équipes de développement.
Création d'une base de données « benchmarking environnemental »	En parallèle des analyses de benchmarking, mise au point d'une grille d'évaluation des produits d'un point de vue environnemental. Mise à disposition des informations sur l'intranet du groupe.
Mise en place d'un plan de formation des équipes de conception	Au sein des équipes de R&D et des programmes, réalisation de plusieurs types d'intervention (sessions d'information, de sensibilisation et de formation). Sessions de sensibilisation également des responsables de division.

**Tableau 2** : liste d'actions de diffusion des connaissances en environnement

L'analyse de ces expériences, nous a permis de préciser l'échelle de cette dimension (en identifiant trois niveaux de diffusion, Cf. Figure 4). Par ailleurs, nous avons également pu schématiser les différents flux d'informations mettant en jeux des catégories d'acteurs bien distinctes et préciser les lieux de création des connaissances en environnement.



**Figure 4** : Segmentation de la dimension « Diffusion » de l'outil de pilotage

<sup>5</sup> Dans un domaine nouveau, il faut très souvent « gagner le droit de faire »\* des expérimentations, et ceci qui amène à de nombreuses discussions, négociations, justifications et argumentations avec autant de responsables hiérarchiques que de personnes opérationnelles (\* expression de JUDIC, docteur en génie industriel chez FAURECIA).

En nous appuyant sur une des actions réalisées, nous allons préciser la construction de cette échelle.

### Mise en place d'un plan de sensibilisation / formation au sein d'une équipe de développement :

Suite à la définition d'objectifs environnementaux précis sur un programme de développement, nous avons été contactés par le responsable du programme pour aider les concepteurs dans leur réponse. Notre premier contact avec l'équipe a clairement mis en évidence une méconnaissance quasi totale du domaine de l'environnement. Afin de pouvoir répondre aux demandes formulées notre première action a été de présenter aux concepteurs à la fois des éléments d'information concernant les enjeux de ce nouveau domaine mais également les préconisations disponibles pour la conception. Ces premiers échanges ont permis de mettre en évidence le caractère non exploitable de certaines préconisations (car trop générales ou difficiles à traduire en paramètres de conception) et dans l'ensemble de mieux formuler les préconisations en fonction des paramètres manipulés par les concepteurs.

Etant donné le grand nombre de contraintes à gérer par les concepteurs et les différentes priorités définies par la hiérarchie nous nous sommes très vite aperçu que malgré leur adaptation, les préconisations restaient peu utilisées. Le fonctionnement en binôme ne donnant pas de résultat satisfaisant nous l'avons alors étendu à une troisième entité : les fonctions hiérarchiques. Ceci s'est traduit par des sessions de sensibilisation non seulement sur les enjeux du nouveau domaine mais également aux difficultés de mise en œuvre des préconisations sans réelle volonté hiérarchique. Avec l'appui et la motivation des responsables d'équipe nous avons alors pu mettre en œuvre les premières préconisations. Les résultats obtenus n'ont été que partiellement satisfaisants du fait de l'impossibilité de résoudre tous les problèmes posés. Nous avons en effet pu constater que la participation de services connexes à la conception (tels que les achats ou la qualité en interne et les fabricants de matières premières ou les recycleurs de véhicules en externe) était indispensable et décisive pour la résolution de problèmes parfois très simples (le bilan masse matière précis des produits par exemple).

Ceci nous a amenés à un troisième niveau de diffusion des connaissances (Cf. Figure 5) : en effet, l'arrivée de chaque nouvel acteur nécessite une explicitation du domaine de l'environnement (en précisant les enjeux associés ainsi que les moyens d'action disponibles) afin que puisse s'établir un dialogue fructueux entre chaque métier représenté.

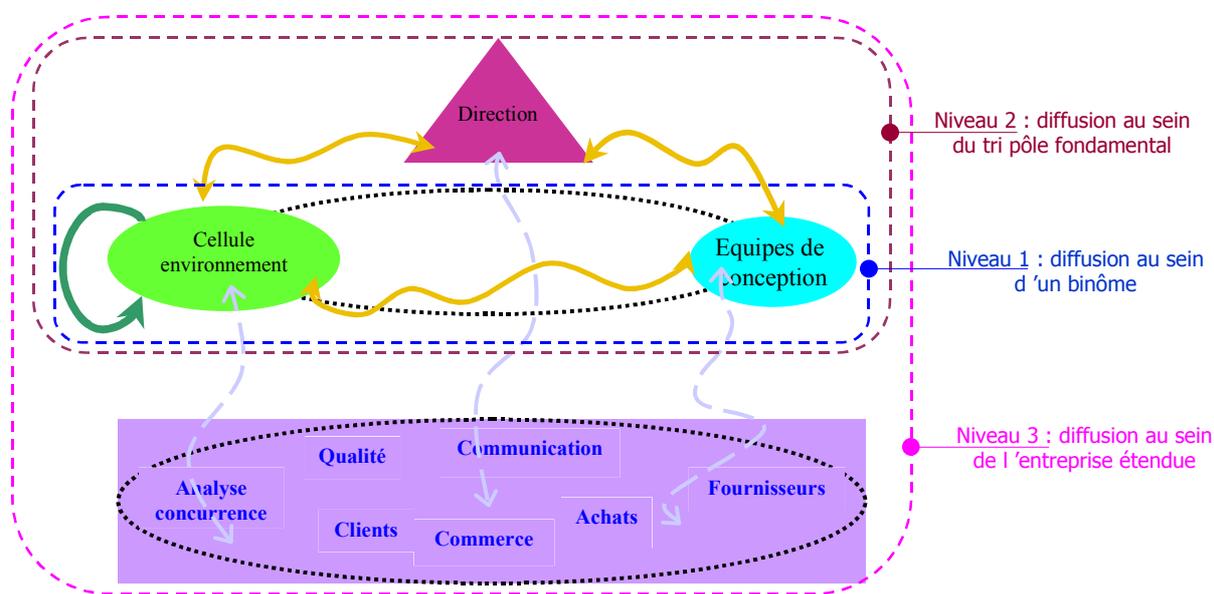


Figure 5 : Schématisation des différents niveaux de « Diffusion » et de leurs interactions

La mise en évidence et la représentation des différents niveaux de fonctionnement (depuis la cellule environnement jusqu'à l'entreprise étendue) a permis de structurer la dimension diffusion en trois segments bien définis. Cette expérimentation nous a permis également d'avoir une vision plus claire des groupes de personnes concernés par l'environnement dans l'entreprise ainsi que des différents flux d'information existant ou à créer entre eux.

L'apprentissage concerne en définitive l'ensemble du personnel de l'entreprise mais à des niveaux différents suivant leur secteur d'appartenance. Ce qu'il nous semble important de rappeler ici est le rôle crucial du tri pôle « cellule environnement-hiérarchie-équipes de conception » dans la création des connaissances relatives à

l'environnement. En effet, les échanges au sein de ce tri pôle permettent la confrontation de connaissances propres à chaque métier (expertise en environnement, expertise en conception et aspects stratégiques) et peuvent donner lieu à des apprentissages croisés (émergence de nouvelles connaissances) lorsque chaque type d'acteur est capable à la fois de présenter son savoir de manière compréhensible à ses interlocuteurs et d'accepter de modifier ses acquis pour prendre en compte les aspects du nouveau domaine.

Cependant, à l'image de la première dimension, il est difficile de prendre en compte la dimension Diffusion de manière totalement indépendante des deux autres dimensions de l'outil.

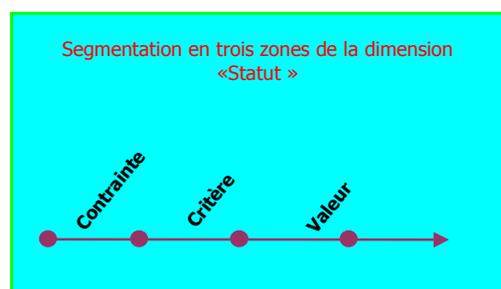
#### Recherche d'une échelle pour la dimension « Statut » de l'outil de pilotage

De la même manière que pour les autres dimensions de l'outil, nous avons cherché à préciser l'évolution de l'apprentissage par rapport à la dimension Statut de l'outil, en mettant en place des actions visant à modifier le statut des connaissances en environnement (relatives aux produits) au sein de l'entreprise. Le tableau ci-dessous (Cf. Tableau 3) précise les actions réalisées.

Dimension « Statut »	
Types d'actions	Détails
Participation aux groupes de pression réglementaire.	Identification des sujets stratégiques pour l'entreprise, rédaction de propositions alternatives et interventions (intervention lobbying) en cas de situations jugées critiques.
Participation à un projet de recherche multi partenaires.	Investissements financiers et humains sur le long terme (planning initial prévu sur trois ans), mise en commun d'une partie des connaissances développées en interne.
Détachement partiel d'une personne dans l'équipe projet ISO 14 001 du site.	Nécessité de prise en compte des aspects produits en parallèle des aspects sites afin d'éviter les redondances. Réutilisation de l'expérience acquise au cours des sessions de sensibilisation.
Réalisation d'expériences pilotes en R&D sur un projet en cours d'étude.	Prise en compte tout au long de l'étude des préconisations environnement, ce qui a entraîné des modifications du produit (architecture et pièces).
Réalisation de pièces prototypes intégrant des matériaux recyclés.	En partenariat avec un fournisseur réalisation d'un composant de siège en matière recyclée (différentes solutions proposées) et évaluation des impacts économiques d'une telle solution.
Réalisation d'un démonstrateur pour le salon de l'automobile de Paris.	Définition du cahier des charges du produit, réalisation du produit et des argumentaires (animations, panneaux de présentations) et exposition sur le stand de l'entreprise.
Evaluation d'un outil d'analyse par un prestataire extérieur.	Définition du cadre de l'étude et des champs à investiguer, proposition d'une méthode d'intervention en conception faisant appel à ce nouvel outil.

**Tableau 3** : liste d'actions de modification du statut des connaissances en environnement

L'analyse de ces expériences, nous a permis de préciser l'échelle de cette dimension (en identifiant trois phases dans l'évolution du statut de l'environnement, représentées sur la figure ci-dessous, Cf. Figure 6).



**Figure 6** : Segmentation de la dimension « Statut » de l'outil de pilotage

Cette échelle peut également être interprétée comme la traduction des investissements réalisés par l'entreprise dans le domaine concerné : au stade de contrainte, l'environnement coûte à l'entreprise (la connaissance n'existe pas, à chaque nouvelle demande ou évolution de la réglementation, il faut dépenser de l'argent pour compenser le déficit de connaissance), au stade de critère, un suivi de l'évolution du domaine a été mis en place, il existe un budget de fonctionnement associé au domaine (début du lobbying et des actions d'anticipation) le dernier stade celui de la valeur, traduit le fait que l'entreprise a été trouvé le moyen d'utiliser ce nouveau domaine comme élément de création de valeur et en fait une valeur d'entreprise.

Nous allons nous servir d'une des actions réalisées pour expliciter cette échelle.

### Evaluation d'un outil méthodologique par un prestataire extérieur :

L'outil en question (l'analyse de cycle de vie – ACV) est un outil d'analyse reconnu et peut-être le seul (malgré ses imperfections) qui fasse l'objet d'un certain consensus. De nombreuses études ont été réalisées par les constructeurs à l'aide de cet outil et régulièrement paraissent des publications sur son utilisation dans l'automobile. Il nous a semblé important d'évaluer à la fois l'adéquation de cet outil avec nos produits et nos activités mais aussi d'évaluer en quoi son utilisation pouvait faire évoluer nos pratiques notamment en conception. Suite à un appel à projet (subvention institutionnelle), nous avons constitué un dossier et démontré l'opportunité d'une telle expérience. L'accord hiérarchique pour initier ce projet a constitué le premier changement de statut, en décidant d'investir des moyens sur cette question on passait du statut de contrainte à celui de critère. Au cours du déroulement de l'étude, les bilans intermédiaires ont permis de préciser les capacités de l'outil ainsi que les enjeux potentiels de son utilisation à long terme dans l'entreprise. A la fin de l'étude, du fait des résultats obtenus, l'entreprise a donné son accord pour que les résultats soient publiés et fasse l'objet de débat (avec les autres entreprises bénéficiaires de cette subvention de projets). Le fait que l'entreprise communique ses travaux concernant la prise en compte de l'environnement, lui permis de se rapprocher du stade de la valeur (en affichant un positionnement et en s'engageant sur le long terme).

La difficulté principale de cette dimension, dans le cadre d'expérimentations, est d'atteindre le stade de valeur. En effet, tant que l'entreprise n'a identifié l'importance du statut qu'elle accorde à un nouveau domaine, il reste difficile de « gagner le droit d'expérimenter » et une fois cette conviction acquise en générale l'intégration se réalise rapidement. Dans ce cas également, les actions permettant une évolution du statut du domaine considéré s'appuient partiellement sur les deux autres dimensions (avec des aspects formalisation tels que la construction du dossier et la présentation des résultats et des aspects diffusion lors des discussions pour initier cette étude).

### Description à l'aide de l'outil de pilotage de deux cas appliqués

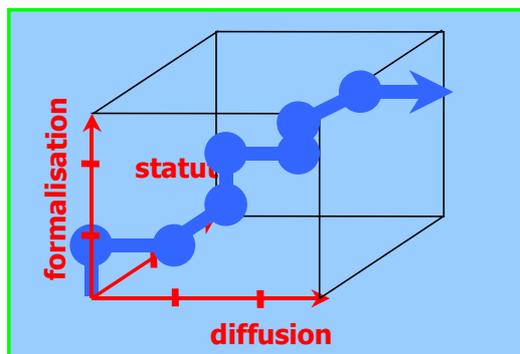
#### *Premier cas : Réalisation d'un démonstrateur pour le salon de Paris*

Nous reprenons ici le déroulement chronologique de la série d'actions qui a abouti à la réalisation de ce démonstrateur, en les replaçant dans le référentiel de l'outil (Cf. Tableau 4).

Action	Dimension	Evolution
Réalisation d'une synthèse sur le thème : la communication environnementale des constructeurs et de concurrents.	Formalisation	Passage d'une connaissance tacite (pour l'entreprise) à une connaissance formalisée par le biais d'informations qualitatives.
Mailing et entretien avec différents responsables hiérarchiques sur notre positionnement dans le domaine de l'environnement.	Diffusion	Mise en place d'échange d'informations entre deux entités (fonctionnement en binôme)
Prise de décision concernant la réalisation d'un démonstrateur matériel plutôt que de supports graphiques.	Statut	Passage d'un état de contrainte à celui de critère (l'entreprise s'investit dans le domaine considéré)
Définition du cahier des charges du démonstrateur	Formalisation	Les informations deviennent exploitables par l'entreprise, on passe d'informations à des éléments fonctionnels.
Explicitation de la finalité du démonstrateur ainsi que de ses fonctionnalités (produit non habituel) aux dessinateurs et prototypistes.	Diffusion	Passage d'un fonctionnement en binôme à un fonctionnement en trinôme.
Réalisation des animations et de l'argumentaire graphique du démonstrateur.	Formalisation	Par l'utilisation des supports officiels de communication (ex : charte graphique et logos du groupe), on atteint le premier niveau de mise en forme encadrée.
Utilisation du démonstrateur sur le salon.	Statut	Traitement du domaine comme un des éléments stratégiques de l'entreprise. L'environnement atteint le statut de valeur d'entreprise.
Utilisation du démonstrateur sur le salon.	Diffusion	Communication destinée à l'ensemble des visiteurs du stand (personnel de l'entreprise et visiteurs extérieurs – clients, fournisseurs), c'est-à-dire l'entreprise étendue.

**Tableau 4 :** Décomposition des actions de réalisation d'un démonstrateur

Dans cet exemple (voir Figure 7), les trois dimensions de l'apprentissage ont été mises à contribution. Pour deux d'entre-elles (diffusion et statut) les actions ont permis d'atteindre les valeurs maximales des échelles, c'est-à-dire de favoriser au mieux l'apprentissage. La dimension formalisation a atteint une limite, au seuil du dernier segment de l'échelle.

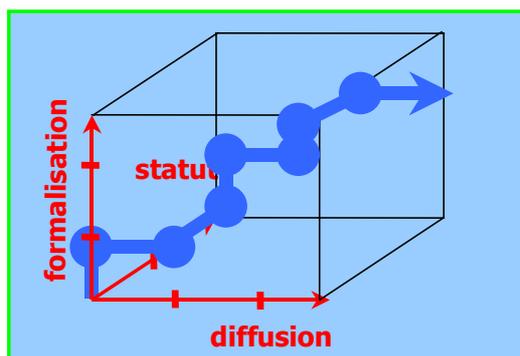


**Figure 7 :** Cheminement de l'apprentissage en fonction des différentes actions réalisées

L'outil permet ici de décomposer relativement précisément les différentes étapes de progression de l'apprentissage en mettant en évidence les évolutions progressives suivant chaque dimension.

#### *Deuxième cas : la norme commune RSA / PSA sur la conception en vue du recyclage*

Cette norme a été élaborée en 1994 et largement diffusée chez les différents fournisseurs de ces deux constructeurs. En l'an 2000, juste avant le vote de la directive européenne nous avons pu constater que ce document, bien que largement diffusé n'avait jamais été réellement pris en compte dans les projets de développement et était parfois même méconnu des équipes projet chez les constructeurs (émetteurs de la norme). La raison principale que nous voyons à la méconnaissance relative de ce document et surtout au fait qu'il n'ait jamais été appliqué est un déficit important de la dimension statut de ce sujet. En effet, jusqu'à présent, les aspects recyclage n'ont jamais bénéficié d'un attrait important ni lors des appels d'offres, ni au cours du déroulement des projets. L'analyse que nous faisons de cette situation est que les dimensions diffusion et formalisation ont été alimentées alors que la dimension statut était quasiment inexistante. Ce qui résulte de cette action est non seulement le non-respect du contenu de la norme mais en plus l'existence d'un certain discrédit vis à vis (chez les concepteurs connaissant l'existence de la dite norme) vis à vis de l'intégration de l'environnement en conception. En étant conscient que nous ne disposons que d'éléments partiels sur la mise en place de cette norme, la figure ci-dessous (Cf. Figure 8) retranscrit la vision que nous en avons par le biais de notre outil.



**Figure 8:** Cheminement de l'apprentissage en fonction des différentes actions réalisées

Quel que soit le nombre d'actions ponctuelles qui aient été réalisées pour formaliser et diffuser les connaissances relatives à la conception en vue du recyclage, le fait que les constructeurs n'aient pas pris suffisamment en compte la dimension statut associée à ce domaine, bloque l'apprentissage et discrédite les efforts qui ont été réalisés pour en arriver à un tel niveau de diffusion ou de formalisation.

Ces deux cas appliqués nous permettent de dire que si l'apprentissage peut être piloté, il résulte d'un travail d'enrichissement progressif de chacune des composantes du référentiel, et que les meilleurs résultats sont

obtenus lorsque le cheminement des actions permet d'atteindre de manière concomitante les points les plus éloignés des échelles des trois dimensions.

Nous avons essentiellement présenté l'outil comme un traducteur des actions menées, mais il doit encore évoluer vers une utilisation comme moyen de préconisation des actions à mener, en le dotant notamment d'une base de données (non exhaustive) de proposition d'actions types.

## **Bibliographie**

[Aggeri 97] **Aggeri F., Hatchuel A.**, Les instruments de l'apprentissage, dans Du mode d'existence des outils de gestion, sous la direction de J.C. MOISDON, pp 216-247, (1997).

[Bras 97] **Bras B.**, Incorporating Environmental Issues in Product Design and Realization, Industry and Environment, Product Design and the Environment, United Nation Environment Program Industry and Environment (UNEP/IE), Vol. 20 N°1-2, p 7-13, Paris, (1997).

[Coppens 99] **Coppens C.**, Méthode de conception en vue d'optimiser la valorisation des véhicules hors d'usage, Thèse de doctorat de l'ENSAM Paris, (1999).

[Deeds 98] **DEEDS** (Design for Environment Decision Support) : Ecodesign navigator, The ecodesign toolbox (1998) <http://sun1.mpce.stu.mmu.ac.uk/pages/projects/dfc/deeds.html>

[EC 00] **European Commission**, Green Paper on the Contribution of Product-Related Environmental Policy to Sustainable Development, a strategy for an Integrated Product Policy approach in the European Union, (2000).

[Gaucheron 00] **Gaucheron T.**, Intégration du recyclage en conception, Le modèle produit : un outil descriptif et cognitif dans le processus de prise en compte du recyclage, Thèse de doctorat de l'INP de Grenoble, (2000).

[Hatchuel 96] **Hatchuel A.**, Apprentissages collectifs et activités de conception, Apprentissages formels et informels dans les organisations, collection dossiers documentaires, éditions Anact, p187-199, (1996).

[Janin 00] **Janin M.**, Démarche d'éco-conception en entreprise, un enjeu : construire la cohérence entre outil et processus – Thèse de doctorat, ENSAM Chambéry, 323 p., (2000).

[Kaila 97] **Kaila S., Hyvarinen E.**, Integrating Design for Environment into the product design, Nokia Resource Center, Finland (1997).

[Leborgne 98] **Leborgne R.**, De l'usage des analyses de cycle de vie dans l'industrie automobile, Thèse de doctorat de l'ENSAM Paris, (1998).

[Mack 95] **Mack M.**, L'organisation apprenante comme système de transformation de la connaissance en valeur, Organisations et Savoirs, Revue Française de Gestion, septembre-octobre, (1995).

[Millet 00] **Millet D.**, Prise en compte de l'environnement en conception : quel processus pour intégrer une notion floue dans un univers hyper-contraint ?, Journée PRIMECA Méthodes de conception, « Outils et Systèmes de management pour l'intégration de l'environnement », Ensam Chambéry, (2000).

[Nonaka 95] **Nonaka I., Takeuchi H.**, The Knowledge Creating Company : How Japanese companies create the dynasties of innovation, Oxford University Press (1995).

[Wright 95] **Wright R.W., Van Wijk G., Bouty I.**, Le principe du management des ressources fondées sur le savoir, Organisations et Savoirs, Revue Française de Gestion, Fondation nationale pour l'enseignement de la gestion des entreprises, septembre-octobre, p 70-75, (1995).

## Capitaliser les savoirs et innover dans les projets : deux démarches antinomiques ?

*Henri TIGER* , Directeur de l'IPI (Institut de la Production et des organisations Industrielles), membre du laboratoire CRISTO(CNRS UMR 5061, UPMF BP47-38040 Grenoble CEDEX 9)  
*Benoît WEIL*, CGS, ENMP 75272 Paris CEDEX 06

**Résumé :** Dans les processus de conception le jeu des savoirs occupe une place centrale, mais il n'est pas sûr que capitalisation des connaissances et démarches d'innovation fassent bon ménage dans les projets industriels. Ne convient-il pas de regarder autrement les projets, et notamment de reconstruire leur rapport à l'innovation ? Partant d'une interrogation sur le statut de la conception, ne convient-il pas également d'opérer un retour sur la nature des savoirs capitalisés ?

### Projet et innovation font-ils toujours bon ménage ?

Depuis une dizaine d'années les organisations dites "par projet" se sont développées dans la plupart des entreprises, et en tout cas dans les plus grandes d'entre elles. Ces organisations, qui se sont développées dans un contexte de compétitivité exacerbée se sont avérées particulièrement performantes sur plusieurs points :

- la maîtrise des délais de conception et de mise sur le marché des produits
- une meilleure maîtrise des coûts de développement
- une augmentation significative de la qualité des produits

Ceci étant même si ces trois objectifs de délai – coût - qualité ont été mieux tenus la conduite et la gestion des projets a soulevé de nouveaux problèmes : d'une part celui de la gestion et de la capitalisation des connaissances, et d'autre part celui du rapport des équipes projets avec une nécessaire dynamique de l'innovation.

On peut rappeler<sup>1</sup> la place centrale qu'occupent dans les processus de conception et de développement les savoirs divers, et ce que certains auteurs ont appelé la dynamique de connaissance. C'est en débattant autour des différentes solutions possibles que les savoirs respectifs se révèlent, sont mis à l'épreuve dans l'action de conception, et il arrive que dans ce jeu ils révèlent leur incomplétude. La faiblesse de certains arguments, et la fragilité de certains compromis techniques peuvent assez souvent être renvoyés à une lacune de connaissance. Mais il arrive également que de nouveaux savoirs se développent à l'occasion de ces confrontations. Pour les savoirs, les projets servent de mise à l'épreuve, mais aussi de creuset pour de nouvelles connaissances de tous ordres. On peut aussi faire l'hypothèse qu'une innovation peut être assimilée à un nouveau « compromis créatif », c'est à dire un compromis qui ne sera pas uniquement assis sur des connaissances avérées et routinières.

On peut donc estimer que le développement, la gestion et la capitalisation des connaissances deviennent de nouveaux enjeux stratégiques pour les projets, et pour les entreprises. Ceci étant on peut craindre, et un certain nombre d'observations récentes commencent à le démontrer, que les contraintes de plus en plus fortes pesant sur les équipes projets pour tenir les fameux objectifs Q, C, D soient antinomiques avec le développement de nouvelles connaissances et l'adoption de ces solutions innovantes qui font appel à de nouveaux savoirs. En effet, comme le soulignent J.CL MOISDON et B.WEIL, pour tenir des objectifs très contraignants et éviter des dérives, les directeurs de projet et leurs équipes sont amenés à adopter une attitude prudente, privilégiant les solutions éprouvées et n'acceptant de prendre le risque de l'innovation que sur quelques points. En quelque sorte innovation et conduite de projet ne feraient pas forcément bon ménage !

La question est donc de savoir comment les entreprises peuvent essayer d'organiser et d'instrumenter cette articulation entre capitalisation des connaissances<sup>1</sup>, et une certaine conduite de l'innovation. Pour avancer sur cette question nous sommes partis de plusieurs situations industrielles, présentées dans le cadre de l'un des groupes de travail du club CRIN « Bureau d'études du Futur » Cette communication est une analyse des débats et des interrogations que ces présentations ont suscités. Les entreprises présentes dans

ce groupe appartenait à des secteurs industriels aussi contrastés que : le spatial, l'industrie pharmaceutique, les télécommunications, et l'automobile.

### **I - Peut-on rapprocher aussi facilement deux termes à priori antinomiques comme innovation et capitalisation ? Ou faut-il considérer que ces deux termes n'ont pas de relation évidente et qu'il faut plutôt les traiter séparément ?**

En effet derrière innovation il y a l'idée de nouveauté, d'exploration de voies nouvelles, et de prise de distance avec les solutions éprouvées. Alors que derrière l'idée de capitalisation il y a bien sûr l'idée d'accumulation, mais aussi l'idée de reproduction, de répétition et donc le risque d'une certaine routinisation. Pour que les deux termes tiennent ensemble il faut donc que la capitalisation soit au service d'une dynamique et d'une certaine remise en cause, ou qu'à tout le moins, s'agissant de ses rapports aux projets, elle soit une zone de ressource pour précisément éviter la routinisation des solutions. Il est donc nécessaire de préciser le statut de la capitalisation : ce serait sans doute faire fausse route que de penser que les connaissances ou expériences capitalisées vont pouvoir s'appliquer telles quelles dans les projets, la capitalisation devra être pensée en fonction de la nécessaire mise à l'épreuve que doivent continuer à constituer les projets.

Mais cela veut sans doute également dire qu'il faut, en parallèle, repenser les objectifs des projets en reconstruisant leur rapport à l'innovation. Tout dépend du statut et de la place que les entreprises entendent donner à l'innovation dans leur pilotage stratégique. En effet si elles considèrent que l'innovation devient l'une des formes privilégiée de la compétitivité, il faut que des objectifs spécifiques d'innovation soient identifiés et déclinés dans chaque projet, ou que la trajectoire des projets croise, à un moment ou à un autre celles des innovations ( c'est par exemple le problème de l'organisation du rapport entre projets et innovations sur étagère).

On peut également imaginer que dans ce face à face entre innovation et capitalisation, l'exercice de capitalisation soit orienté vers l'évaluation des connaissances, et qu'ainsi la capitalisation serve à construire un jugement sur les connaissances et contribue à faire le tri entre les connaissances obsolètes, les connaissances routinières et les connaissances nouvelles.

En effet le plus souvent quand on parle de dynamique de connaissance on pense surtout aux connaissances nouvelles mais on fait souvent l'impasse sur la nécessaire évaluation des connaissances anciennes. La dynamique des savoirs s'inscrit pourtant bien dans un jeu perpétuel entre l'ancien et le nouveau, reste à construire les critères de jugement. On a vu que le critère risque était peu favorable à la mobilisation de connaissances nouvelles, c'est pour cela que les objectifs stratégiques d'innovation devraient pouvoir se décliner comme de nouveaux critères d'évaluation des connaissances capitalisées.

### **II - Lire le rapport à l'innovation et à la capitalisation à travers la diversité des contextes industriels et des enjeux de marché**

Suivant les cas présentés nous avons des projets allant de six mois à 10 ans. Des entreprises qui, à horizon de 10 ans, gèrent près de 150 nouveaux projets ( cas du secteur pharmaceutique) alors que d'autres n'en gèrent que un ou deux ( cas de l'aérospatial). Des entreprises qui d'un point de vue stratégique, et du point de vue de leur survie, ne peuvent pas se permettre de ne pas réussir tous leur projets, d'autres qui sont de véritables machines à susciter de nouveaux projets, mais aussi à les sélectionner, pour que seuls sortent sur le marché les réelles nouveautés.

Ces situations contrastées placent chacune de ces entreprises dans un rapport à l'innovation radicalement différent, et que nous avons stylisées :

- première situation : l'enjeu majeur est d'assurer la fiabilité de ses systèmes techniques. L'idée de créativité et d'innovation n'est pas absente mais elle est bordée par la nécessaire évaluation des risques que l'innovation peut entraîner en matière de sûreté et de fiabilité. C'est pourquoi l'innovation sur le produit est plutôt pensée sur le long terme, et que l'innovation "courante" a alors plutôt tendance à porter sur les améliorations de productivité qui peuvent être apportées au process.
- deuxième situation : le rapport à l'innovation est permanent, c'est la base de la survie de l'entreprise. Ceci étant ces innovations s'inscrivent dans des temps longs et demandent des investissements coûteux sur des horizons incertains. L'enjeu de l'innovation porte sur la création de nouveaux produits, mais de façon tout aussi forte, porte aussi sur la façon de gérer les projets : on va s'intéresser à mettre au point de nouvelles pratiques de gestion de projet, et à repérer les pratiques les plus performantes. Le

développement de la compétence sur les produits devient ici indissociable du développement de la compétence sur les projets.

- troisième situation : nous sommes dans une configuration où l'innovation est désignée comme une opportunité stratégique pour réussir la mutation de l'entreprise. Celle-ci doit en effet s'inventer de nouveaux rapports au marché. Ici l'innovation sur les produits doit pouvoir servir de cheval de Troie pour, à la fois asseoir le nouveau statut de l'entreprise, et à la fois mettre en chantier une certaine transformation de ses métiers et de son organisation. Ici la pression du marché pour s'engager sur des ruptures technologiques est forte, mais l'entreprise doit en même temps s'inventer une nouvelle culture de projet, en tout cas une culture plus communément partagée, dans la mesure où les objectifs ont changé.

- quatrième situation : ici nous sommes dans une configuration où l'entreprise a su innover dans l'organisation de ses projets, ce qui a permis de progresser dans la tenue des objectifs classiquement définis en qualité coût délai, mais au prix d'un certain déficit dans le registre des innovations de produit. L'entreprise cherche donc à mieux articuler : développement de la recherche, innovation et projets produits-process. L'enjeu est donc de réussir à susciter plus d'innovation sans pour autant altérer la performance des nouvelles organisations projet.

Dans ces quatre situations comment est vécu, et pratiqué, le rapport avec la capitalisation, et est-ce que le rapport entre innovation et capitalisation est réellement construit ?

Tout d'abord, et la participation des différents représentants des entreprises au groupe de travail est là pour l'attester : l'intérêt pour la capitalisation des connaissances et des savoirs est bien réel, et dans chaque situation des dispositifs et des outils commencent à voir le jour. Ceci étant ces essais ont le plus souvent valeur d'expérimentations, et de ce fait sont encore fragiles ; non seulement parce que ces outils et dispositifs, du fait de leur nouveauté, doivent être manipulés avec prudence, mais aussi parce que les directions d'entreprise ne sont pas encore toutes persuadées du bien fondé et de la rentabilité des investissements (hommes, temps, matériel) qu'il faut y consacrer.

Si on reste au seul niveau des pratiques et des dispositifs mis en place, la palette est très large, et il est difficile d'en tirer tel quel un enseignement. Le seul jeu offert par le rapport que les entreprises se proposent d'entretenir avec l'innovation ne suffit pas. On peut ici se référer au tableau présenté ci-après intitulé "Typologie des outils, dispositifs et démarches" où en face de rapports différents à l'innovation, tels que nous les avons stylisés plus haut, il est difficile de faire correspondre des pratiques et des dispositifs type. Que ce soit au niveau des modalités de capitalisation des savoirs, que ce soit dans la façon dont on entend organiser et croiser ces savoirs, ou que ce soit, enfin, dans la façon dont on entend « structurer et organiser » la conduite des innovations, les liens ne sont pas évidents et derrière tout cela il y a pas mal de pragmatisme dans la conduite des différentes expériences.

### Typologie des outils, dispositifs et démarches

Secteurs		Spatial	Pharmacie	Télécom	Automobile
Savoir	Archivage	•		•	•
	Circulation d'informations			•	
	Codification, Règles, Procédures	•		•	•
	Retour d'expérience	•	•		•
	Production de savoir			•	
Coordination	Repérage des compétences		•		
	Faciliter les échanges			•	•
	Dispositif spécifique Différent du projet	?	?	?	?
Organisation de l'innovation	Structure				•
	Gestion type « Bonnes pratiques »		•	•	
	Indicateur de performance des groupes projet		•		
	Dispositif de soutien			•	
	Organisation de l'exploration	?	?	?	?

Ce qui est commun, du moins dans les objectifs, c'est que l'idée de capitalisation n'est nulle part réduite à la seule idée d'archivage et de stockage, il y a bien partout l'idée de capter des savoirs et des connaissances vis à vis d'un processus et d'un certain cours de l'action. Ici on nous a parlé d'organiser la mémoire dans et autour des processus, là on s'intéresse à constituer des corpus d'expérience et de bonnes pratiques, et dans un autre cas, de retrouver le fil et les trajectoires des projets qui ont le mieux marché. Mais quel enseignement tirer quand, dans la même entreprise, deux projets ayant "marché" ont manifestement pris des trajectoires différentes? On voit, à travers cette dernière remarque, que si l'exercice de capitalisation ne servait qu'à identifier, à posteriori, les meilleurs chemins leur efficacité resterait bien limitée s'ils ne conduisent pas à développer de nouvelles connaissances, dans le cas contraire le meilleur des projets passés deviendrait la référence pour engager le remake d'une procédure qui deviendrait vite routinière et non plus innovante.

L'autre idée communément admise est que les savoirs sont distribués, et que le plus souvent les métiers sont encore les pôles forts de cette distribution. La capitalisation exige donc d'abord de repérer les lieux de compétence, et de faire la part entre les métiers, les organisations projets, et peut-être d'autres organisations transversales. Mais la capitalisation doit aussi être pensée comme croisée, et l'on sent bien qu'elle doit s'accompagner d'un système facilitant les échanges et la confrontation entre les savoirs, mais sans pour autant que ces systèmes soient réellement, du moins pour l'instant, réellement pensés.

Et c'est bien un autre enseignement que nous livre le tableau mettant à plat les outils et les pratiques de capitalisation : cette organisation de l'échange et du croisement des savoirs capitalisés ne bénéficie pas encore de dispositifs et d'organisations spécifiques, pas plus que ne sont clairement posées les questions de la production des savoirs et de l'organisation des voies de l'innovation. On peut faire l'hypothèse que ces trois observations constituent une incitation à opérer un retour sur la nature des savoirs capitalisés, et, plus encore, à élargir la problématique de la capitalisation à partir d'une interrogation sur le statut de la conception et des projets innovants au regard des stratégies long terme des entreprises.

### **III - Un nécessaire retour sur la nature des connaissances et des savoirs**

Un certain nombre de catégories nous sont proposées pour classer les connaissances et les savoirs. La plupart des auteurs se sont souvent limités à distinguer les dimensions tacites et explicites de la connaissance et à y associer des processus d'apprentissage et de développement distincts. Les connaissances tacites seraient plutôt issues d'un mixte liée à l'expérience de ceux qui les détiennent et à une certaine assimilation de connaissances explicites apprises dans le passé. Les connaissances explicites seraient plus proches des connaissances scientifiques, et donc des connaissances objectivées. Elles s'acquièrent et se développent par la réflexion et l'enseignement théorique, et par la recherche. Il est à priori plus difficile, et plus long, de transmettre des connaissances tacites car leur apprentissage se fait plutôt par observation, imitation et expérience. Le savoir-faire fait manifestement partie de la catégorie des connaissances tacites. Mais ce qui nous intéresse ici c'est sans doute davantage de repérer la place des savoirs par rapport à l'action de conception et par rapport aux processus d'innovation.

Il peut être alors pertinent de reprendre les catégories de savoir-faire, savoir-comprendre et savoir-combiner proposées par A.Hatchuel et B.Weil<sup>iii</sup>. Pour ces chercheurs le savoir faire est assimilable à celui de l'artisan, c'est un savoir qui se met en acte dans un univers prescrit et fortement déterminé. On peut dire que l'idée de maîtrise, mais aussi de routine n'est pas antinomique avec ce type de savoir. Le savoir-comprendre correspond à une élaboration de niveau supérieur, c'est lui qui contribue à la définition du problème et donc du contexte dans lequel vont, par exemple, se déployer les savoir-faire. Enfin le savoir-combiner est assimilable à celui du stratège. C'est lui qui correspond le plus à l'idée d'invention, et notamment à l'invention de la trajectoire permettant d'atteindre une cible. C'est ce type de savoir qu'un chef de projet doit pouvoir développer, tout en s'appuyant sur les deux autres types de savoir.

Aussi quand on se pose la question de la capitalisation des savoirs, et surtout de la capitalisation orientée innovation de quels savoirs parle-t-on, et lesquels faut-il identifier ? On a vu que les savoir-faire, catégorie emblématique des savoirs tacites, étaient assez difficiles à stocker car souvent très associés aux individus qui les possèdent, par ailleurs ces savoirs vont plutôt se déployer pour conduire à un univers de solutions déjà existantes. De la même façon même si le savoir comprendre correspond à un premier jeu entre les savoirs et une expertise de niveau supérieur il ne suffit pas pour conduire à des compromis radicalement novateurs et créatifs. Le rapport de ces deux savoirs à l'innovation n'est donc pas direct. Ceci ne veut pas dire que ce rapport n'existe pas mais qu'il doit plutôt être recherché dans le sens innovation ==> savoir comprendre ==> savoir-faire. Ceci veut dire, par exemple, qu'en cherchant à ne capitaliser

que les savoirs faire, on n'est pas sûr d'identifier ceux qui ont été développés à l'occasion de solutions innovantes.

Il est important de rappeler que les savoirs ne s'appliquent pas tels quels, ils sont à chaque fois fortement contextualisés. L'une des dimensions de leur contexte est à la fois la nature de leur interaction, et à la fois la nature de leur orientation : orientation type routine et absence de toute prise de risque, ou orientation type innovation et appréciation du risque acceptable. Nous défendons l'idée qu'on ne peut pas innover à savoir constant, l'exercice de capitalisation ne doit donc pas être pensé comme un conservatoire des pratiques et des savoirs, mais comme un dispositif servant de point de départ à de nouveaux apprentissages.

C'est pourquoi il faut faire tenir ensemble : la production des nouveaux savoirs, leur coordination et leur échange, et leur mise en tension avec les stratégies d'innovation. Articulation, qui on l'a vu, n'était pas encore réellement constituée dans les situations industrielles dont nous avons pu débattre.

#### **IV – Ré-interroger la place de la conception et des projets dans la réorganisation à long terme des entreprises contribue à désigner la capitalisation comme un réel enjeu**

En examinant les rapports existants entre la capitalisation des savoirs et les projets conduisant à des produits innovants, on peut estimer que les entreprises qui se sont lancées dans de telles expérimentations font l'hypothèse implicite qu'il faut organiser une sorte de va et vient entre la conduite des projets, dans la quelle se développent certaines connaissances, et les lieux où se développent et se stockent les savoirs. Est également présente cette autre hypothèse qui conduit à considérer que les lieux, jusqu'ici classiques, de capitalisation que représentaient les métiers de suffisent plus, même s'ils demeurent essentiels. On sait en effet, que dans les projets, c'est à l'interface des métiers que les compromis créatifs se prennent, et que, la plupart du temps, on ne sait pas identifier, et encore moins stocker ces nouveaux savoirs d'interface.

Ces deux remarques nous incitent à proposer de repartir de la compréhension que nous avons de l'action effective de conception avant de concevoir des dispositifs pour gérer et pour capitaliser. Si nous regardons les projets comme des processus exclusivement rationnels et déterministes, de type problem-solving, ou au contraire comme des jeux interactifs entre objectifs stratégiques, contraintes, et critères d'évaluation, on aura deux façons différentes de lire les interactions entre projets et savoirs.

Dans le premier cas on considère que les acteurs du projet puisent dans un stock de connaissances, surtout constitué de savoir-faire et de savoir comprendre, et on peut s'attendre à ce que le projet ne soit pas innovant.

Dans le second cas le sens de l'action de conception se construit au fur et à mesure du déroulement du projet. Les règles qui ordonnent l'activité de conception vont progressivement se construire en cours de conception, de la même façon de nouvelles combinaisons de savoir vont apparaître, tout comme vont apparaître de nouvelles conjonctures de mise à l'épreuve des savoirs préexistants. Ici la dynamique du projet est vue comme une confrontation permanente entre la représentation que chacun se fait du projet et les propositions pour atteindre les objectifs. Ainsi on connaît dans une conduite de projet l'importance prise par l'évaluation. Quand on négocie et redéfinit les objectifs on évalue, quand on arrête des solutions on évalue également. Les référentiels évaluatifs appartiennent à des ordres et à des registres cognitifs différents, mais retenons ici, que les savoirs sont autant mobilisés pour inventer des solutions que pour inventer les critères d'évaluation, et donc rejeter certaines solutions.

Or la plupart du temps quand on capitalise on a plutôt tendance à capitaliser une seule partie du processus, à savoir les traces que constituent les solutions retenues. On perd ainsi tout un pan de la dynamique cognitive réellement mise en oeuvre dans les projets, et il peut arriver que les propositions les plus porteuses d'innovation n'aient pas pour autant été retenues.

La question est donc posée d'identifier les différentes traces que l'on veut garder d'un projet :

- traces de l'évolution du réseau d'acteurs
- traces des règles et des conventions qui ont progressivement régi les interactions
- traces des critères d'évaluation et de leur construction
- traces des objets intermédiaires et supports produits, qui en soit ne sont que des traces appauvries de l'épaisseur du processus

- traces des conjonctures de construction de connaissances nouvelles

## Conclusion

En conclusion, on peut faire l'hypothèse que la capitalisation est en fait susceptible de bouleverser les équilibres et la nature des projets.

Tout d'abord le rapport à la capitalisation peut modifier la façon de travailler des concepteurs. La capitalisation et l'apprentissage, si elles sont organisées au plus près des projets, peuvent aussi modifier le jeu des savoirs mobilisés et donc le jeu entre prescription et définition des critères de conception. Si la capitalisation se traduit par une certaine stabilisation des connaissances et des procédures, ce qui est quelquefois l'un des effets de l'apprentissage, on risque d'obtenir un effet inverse à l'effet ici recherché, et passer d'une situation innovante à une situation fortement marquée par des routines.

Enfin, si une entreprise pense capitalisation, elle se place plutôt dans la gestion d'un horizon à long terme. Cet horizon n'est pas l'horizon habituel des projets qui ont plutôt tendance à s'inscrire dans des horizons de plus en plus courts. Peut-on alors faire l'hypothèse que l'exercice de capitalisation peut constituer le lien, qui quelquefois semble manquer, entre la gestion des projets inscrits sur le court terme et les visées stratégiques plus tournées vers le moyen et le long terme.

En effet, les membres du groupe de travail ont à la fois insisté sur les nouvelles orientations stratégiques de leur entreprise, et à la fois sur la difficulté de parler de la capitalisation en terme de retour sur investissement. Sans doute en la matière convient-il de ne pas confondre rentabilité à court terme et investissement de portée stratégique. L'intérêt, même encore non totalement partagé, porté à la création et à la capitalisation des connaissances, s'appuie sur l'observation selon laquelle l'environnement des entreprises serait marqué par des évolutions rapides.

Tout comme on a pu dire que les projets se définissaient, entre autre, par leur degré de rapport à l'incertitude, ne peut-on dire que le devenir des entreprises et leurs options stratégiques sont largement déterminés par ce rapport à l'incertitude. Les entreprises qui innovent peu sont des entreprises dans lesquelles les dispositifs techniques et organisationnels sont sans doute stabilisés, mais qui de ce fait ont une faible capacité de réaction et d'apprentissage. Choisir de se mettre en situation d'innovation c'est faire le pari d'une possible constitution d'avantages concurrentiels, mais au risque d'une certaine instabilité, puisque l'entreprise va devoir faire bouger ses produits et son organisation. Il semble difficile de ne pas appuyer un tel mouvement sur un processus permanent d'apprentissage, et c'est sans doute sous ce point de vue qu'il conviendrait de continuer à évaluer la portée stratégique des expériences de capitalisation.

---

<sup>i</sup> nous renvoyons ici à un certain nombre de travaux développés au CGS par Jean-Claude MOISDON et Benoît WEIL et notamment au document "*Coordination et gestion des savoirs dans les activités de conception : faut-il compléter la gestion de projet ?*" Communication au congrès GI5- Grenoble Avril 1996

« *La capitalisation technique pour l'innovation : expériences dans la conception automobile* », La politique du produit, Paris, Les cahiers de recherche du GIP-MUTATIONS INDUSTRIELLES, 2 AVRIL 1998, PP.209-230

<sup>ii</sup> on sait que les thèmes de la création de connaissance et de l'apprentissage organisationnel suscitent depuis six ou sept ans un regain d'intérêt dans les entreprises et assez largement chez les chercheurs en gestion. D'autres chercheurs comme I.Nonaka et H.Takeuchi s'intéressent à la dynamique de l'entreprise apprenante (cf. leur ouvrage : *La connaissance créatrice*, Ed De Boeck Université, 1997)

<sup>iii</sup> HATCHUEL, A. et WEIL, B.(1992), *L'expert et le système : gestion des savoirs et métamorphoses des acteurs dans l'entreprise industrielle*, Paris, Economica, 263p.  
WEIL, B. (1999), *Conception collective, coordination et savoirs : les rationalisations de la conception automobile*, Thèse de doctorat, Tomes 1 et 2, ENSMP.