De la mémoire projet à la compétence métier : vers la synthèse de connaissances métier en ingénierie robuste des produits/process

Patrick Serrafero
Ecole Centrale de Lyon
patrick.serrafero@ec-lyon.fr

Samuel Gomes
UTBM
samuel.gomes@utbm.fr

Daniel Bonnivard
Ecole Centrale de Lyon
daniele.bonnivard@ec-lyon.fr

Louis Jézéquel
Ecole Centrale de Lyon
louis.jezequel@ec-lyon.fr

Résumé *: Parce que concevoir de manière performante (i.e. rapidement, ubiquitairement) des produits/process performants (i.e. : fonctionnels, robustes, économiques, écologiques) mobilise de nombreuses connaissances d'ingénierie, ce papier se propose de montrer comment - à partir de Mémoires Projets Structurées organisées à l'aide du modèle MD&MV - une synthèse des connaissances métier - organisées à l'aide du modèle KnoVA - peut être envisagée. Il s'agit, dans un contexte managérial impliquant le paradigme des Espaces Cognitifs et un cycle de vie positiviste des connaissances d'ingénierie, de proposer une démarche systématique d'apprentissage organisationnel et d'intelligence industrielle. L'objectif final de ces travaux est de promouvoir l'Ingénierie Robuste de produit/process performants au sein des industries manufacturières en s'appuyant sur l'explicitation de Bréviaires de Connaissance modélisant les compétences métier mises en jeu en conception initiale et re-conception. L'ensemble des concepts présentés est expérimenté sur l'ingénierie rapide et robuste de véhicules de compétition automobile participant au Challenge SIA.*

Mots-clefs : Product Life Management, Système de Gestion des Données Techniques, Knowledge Management, espace cognitif, base de connaissance, Conception Assurée par les Connaissances, ingénierie robuste, cycle de vie des connaissances, méthodologie cognitive, conception routière, conception innovante, entreprise apprenante, intelligence industrielle.

A propos des Auteurs :

Après avoir terminé sa formation d'ingénieur à l'Ecole Centrale de Lyon et aux Etats Unis à l'Université Cornell, **Patrick Serrafero** démarre sa carrière chez MICHELIN puis SCHNEIDER *Electric* avant de fonder, en 1988, KADETECH, société de service spécialisée en « Knowledge Management » appliqué aux connaissances industrielles des Bureaux d'Etudes et d'Ingénierie. Depuis 2000, il est consultant et PDG-fondateur du cabinet KAD/KAM *International* spécialisé en « Conception et Innovation Assurées par les Connaissances » tout en exerçant les fonctions de Professeur Associé de Mécanique à l'Ecole Centrale de Lyon.

Après une formation d'ingénieur à l'Université de Technologie de Compiègne, un DEA en Conception Produits Nouveaux de l'ENSAM Paris et une thèse de Doctorat en Génie des Systèmes Industriels de l'Institut National Polytechnique de Lorraine (INPL Nancy), **Samuel Gomes** est nommé en 2000 Maître de Conférences en Génie Mécanique à l'Université de Technologie de Belfort-Montbéliard (UTBM). Il assure actuellement la responsabilité de la filière Conception et Développement de Produits au sein du Département Génie Mécanique et Conception et participe aux activités de recherche de l'équipe Ergonomie et Conception des Systèmes du Laboratoire Systèmes et Transports.

Diplômée de l'Institut d'Etudes Politiques, Master en Finances et Banque, Docteur en Sciences de Gestion, **Danièle Bonnivard** est consultante en management et finances et conseille depuis plus de 20 ans les acteurs du secteur bancaire. Spécialiste du management et gestion des crises qui constitue le thème de sa thèse, elle publie en 2004 « Crise et désorganisation de l'entreprise. L'organisation comme espace » aux éditions l'Harmattan et contribue aux recherches communes en KM entre l'Ecole Centrale de Paris et l'Institut National des Télécommunications tout en assurant les fonctions de Professeur Associé de Gestion à l'Ecole Centrale de Lyon.

Ingénieur de l'Ecole Centrale de Lyon, Docteur-Ingénieur en Mécanique, Docteur d'Etat en 1985, **Louis Jézéquel** est Professeur des Universités à l'Ecole Centrale de Lyon, Directeur de l'option « Ingénierie Mécanique et Nouvelles Technologies » de l'ECL et Directeur de l'équipe de recherche « Dynamique des Structures et des Systèmes » du Laboratoire LTDS. Ses travaux en vibration, synthèse modale et ingénierie robuste couvre un large spectre d'applications industrielles. Il est l'auteur de nombreux articles techniques et scientifiques et membre de plusieurs sociétés savantes nationales et internationales au service de la mécanique et de l'acoustique.

1. - Introduction

Confrontée à un contexte mondialisé de réduction des coûts et délais de conception, mais aussi d'amélioration de la qualité et de la valeur d'usage des produits, et face à une collaboration difficile entre concepteurs - souvent répartis sur plusieurs continents en entreprise étendue - l'organisation de la « Design Chain[1] » de l'entreprise industrielle doit s'adapter.

De nouvelles pratiques, méthodologies et outils logiciels apparaissent et tentent de s'intégrer au sein des entreprises. Ainsi, au delà des concepts reconnus et stabilisés de CFAO (Conception et Fabrication Assistées par Ordinateur), ces solutions concernent notamment les systèmes de PLM (Product Life Management)[2] en lien avec des concepts émergeants comme le KM (Knowledge Management) [GRU 00, TIG 01], le KAD/KAM (Knowledge Aided Design / Knowledge Aided Manufacturing) [SER 99, CAD 05] ou l'InAO (Innovation Assistée par Ordinateur) [HAM 99].

Dans ce contexte d'Ingénierie Numérique fortement évolutif, ce papier propose une démarche managériale, les typologies cognitives et une architecture conceptuelle appropriées pour :

- **distinguer l'information de conception des connaissances d'ingénierie**, notamment dans une logique de passage de conceptions singulières documentées (à l'aide de nombreuses données techniques) à des modèles d'ingénierie génériques (représentatifs de la compétence métier considérée),
- **caractériser les typologies de conception**, de la plus innovante à la plus routinière,
- **synthétiser des connaissances d'ingénierie à partir de mémoires projet**, notamment pour rendre plus robustes les processus d'ingénierie des produits et process industriels.

Positionnée dans un contexte scientifique où l'objectif industriel final est de générer automatiquement (ou semi-automatiquement dans un premier temps) des modèles robustes de connaissances métier (dénommés « Compétence Métier ») à partir de mémoires projet stockées dans des outils logiciels de PLM, la présente proposition s'appuie sur des travaux théoriques impliquant :

- **la modélisation systémique en Ingénierie Collaborative appliquée aux domaines Projet/ Produit/Process/Usage :** développée et opérationnalisée à l'UTBM par Samuel Gomes [GOM 02] en conception de systèmes mécaniques, sur les bases théoriques de systémique proposées par Jean Louis Le Moigne [MOI 99] et déployée industriellement en ingénierie système notamment par l'industrie automobile [LAR 03, LAR 04],
- **le modèle positiviste KnoVA de KM en Ingénierie Robuste :** développé à l'ECL et chez KAD/KAM *International* par Patrick Serrafero pour la qualification et la quantification des connaissances industrielles d'ingénierie [SER 02],
- **les travaux en KM et Gestion de Crises des Espaces :** développés à l'ECL par Danièle Bonnivard et centrés sur la modélisation des résistances humaines et sociales à l'émergence de cultures et compétences métier explicitées et partagées [BON 05],
- **les travaux de l'Equipe de Recherche Technologique « First Design » :** pilotée à l'ECL par Louis Jézéquel et dédiée aux progrès théoriques et expérimentaux en Ingénierie Robuste appliquée à la Dynamique des Systèmes et Structures [LIG 04, CHA 05].

Ces différents travaux ont été opérationnalisés par le développement de plates-formes logicielles permettant notamment de déployer les concepts proposés sur des projets industriels et académiques de conception de systèmes mécaniques. Il s'agit en particulier :

- **du système ACSP (Atelier Coopératif de Suivi de Projet) :** développé par Samuel Gomes et défini comme « système de PLM et de gestion des informations techniques multi-domaines et multi-vues » permettant non seulement d'appliquer les démarches d'ingénierie collaborative sur l'ensemble du cycle de vie du produit/process, mais également de

[1] Chaîne de la Conception en charge de la conception simultanée des « 6P » : Plant/Product/Part/Process/Prototype/Price.
[2] récente évolution des systèmes de GDT (Gestion des Données Techniques).

développer des mémoires projet structurées d'ingénierie dans les domaines métier Projet/Produit/ Process/Usage [http://acsp2.utbm.fr/acsp], [GOM 05].

- **du système KAD-Office :** développé par la société Iknova *Engineering* et défini comme « suite logicielle pour le déploiement du "e-KM for e-novation" dans les organisations industrielles » [http://www.iknova.com].

L'application des concepts théoriques présentés ici - et des plates-formes logicielles associées - s'appuie également sur la conduite de plusieurs projets concrets impliquant gestion des informations techniques et gestion des connaissances d'ingénierie. Dans le cadre de cet article, nos propositions sont notamment illustrées par des exemples issus de 3 années de conception collaborative - par des élèves-ingénieurs de l'ECL et de l'UTBM - de systèmes mécatroniques complexes. En particulier, 3 véhicules de compétition ont été à ce jour conçus, fabriqués et mis en exploitation dans le cadre des 3 dernières éditions du Challenge SIA. Inventé par la SIA (Société des Ingénieurs de l'Automobile) en 2002, cette compétition - plus généraliste que l'Eco-Marathon Shell - est destinée à promouvoir auprès des étudiants la conception, la fabrication et les essais dynamiques sur circuit de véhicules de compétition automobile [http://www.sia.fr].

La finalité industrielle de l'ensemble de ces travaux est la formalisation des concepts opérationnels et novateurs pour la Capitalisation de Mémoires Projet Structurées et la Synthèse des Connaissances Métier de l'**"Entreprise Etendue Innovante"**.

Ce papier s'articule donc en 6 parties et présente :

- le contexte d'ingénierie,
- le contexte managérial,
- les typologies des projets de conception,
- les typologies des informations techniques des mémoires projets,
- les typologies des connaissances métier d'ingénierie et leur cycle de vie,
- une architecture conceptuelle pour la synthèse des connaissances métier d'ingénierie.

2. - Contexte d'ingénierie

Comme indiqué en introduction, la démarche de synthèse des connaissances métier proposée ici se situe dans une perspective d'**ingénierie robuste**[3] des conceptions futures. En effet, chaque projet de conception aboutit à des propositions de formes géométriques fonctionnelles, fabricables, montables et maintenables de l'objet à concevoir. Pour le concepteur, il est alors intéressant de savoir - à tout instant - si ses propositions de formes géométriques en cours d'élaboration respectent les meilleurs savoir-faire d'ingénierie du moment et en particulier si les bonnes pratiques d'ingénierie des conceptions précédentes ont été reconduites.

Une conception réussie doit donc être vue comme une instance d'un **modèle générique de conception robuste** particulier qui capitalise un ensemble de règles métier (i.e. : les contraintes métier, les conseils métier, les choix métier constituant l'expertise métier) à respecter, règles synthétisées à partir des conceptions passées réussies. Le modèle taxinomique KnoVA du tableau 2 du paragraphe 6 parle alors de « cas de référence », dit aussi « cas robuste de conception ». Est donc défini comme « cas robuste » une conception qui respecte l'ensemble des règles métier garantissant la robustesse[4] du produit ou du process. La mise à disposition du concepteur de ces règles de conception robuste permet

[3] Processus managérial de l'ingénierie particulièrement organisé et insensible au « turn-over » et évolution des effectifs.

[4] La robustesse d'un produit et d'un process correspond à sa « résistance » et faible variabilité de performance (ex : tenue de route, précision d'usinage) face à une haute variabilité de ses paramètres d'environnement (ex : route pavée - route lisse, changement de température de l'air ambiant environnant les centres d'usinage, …).

ainsi de vérifier constamment la qualité de la conception proposée. Encore faut-il disposer explicitement de ces règles d'ingénierie …

Symétriquement, la mise en exploitation et l'utilisation d'un produit récemment conçu peut révéler, de manière heureuse et non attendue, des qualités particulières de robustesse sans que la conception de ce produit ait explicitement bénéficié des règles d'ingénierie robuste des cas précédents, du fait notamment de leur non-explicitation. Il devient alors intéressant d'« aller fouiller » dans la mémoire projet ayant enregistré la conception de ce produit afin d'en extraire les règles métier de conception robuste.

C'est dans cette perspective d'extraction et de synthèse des connaissances métier à partir des mémoires projet de cas robustes de conception que se situent les travaux présentés.

3. - Contexte managérial

Concevoir de manière robuste et rapide un couple produit/process performant et innovant implique des acteurs professionnels qui peuvent rapidement se retrouver en situation d'**injonction paradoxale** :

- **une nécessité de partage** de leurs connaissances et décisions afin de permettre au groupe métier d'aller plus vite,
- **une nécessité de préservation** de leurs connaissances comme élément différentiateur de compétence personnelle et de préservation de leurs emplois.

Comme l'indique Danièle Bonnivard dans [BON 05], trois espaces cognitifs de l'organisation industrielle doivent alors être évoqués pour comprendre les processus - plus ou moins résistants - d'émergence des connaissances innovantes et d'explicitation des connaissances routinières :

- **l'espace privé intime** relevant d'un espace cognitif individuel où l'acquisition des connaissances relève d'un processus unique et non-partageable. Dans cet espace, les connaissances peuvent être tacites ou explicites mais ne font pas l'objet d'une transmission. Dans la mesure où le travail de l'individu se situe dans un cadre de nécessité (i.e. gagner sa vie), l'isolement devient la règle, le partage l'exception,
- **l'espace privé commun** conçu comme espace de partage des connaissances fédérées autour des valeurs communes d'une communauté métier. Pour la communauté de travail, existe alors un corps commun de connaissances faisant consensus. Dans ce cadre, l'individu s'efface au profit de la communauté métier. La transmission et le partage des savoir-faire sont au centre de cet espace, tout en sachant que les connaissances mises en jeu peuvent demeurer tacites. De plus, les connaissances explicites de la communauté de pratique font toujours l'objet d'une validation par le groupe car c'est le consensus et la reconnaissance mutuelle qui sont au fondement de cet espace, véritable générateur d'un corps commun de connaissances,
- **l'espace public** relevant d'une « vitrine métier » permettant la confrontation et l'échange d'opinions techniques. Les connaissances sont alors rendues visibles et sont publicisées sur divers types de support (article scientifique, standard technique, Bréviaire de Connaissance[5], Banque de Connaissance[6], Base de Connaissance[7], Broker de Connaissances[8], Intranet

[5] outil KM d'assurance qualité, le Bréviaire de Connaissance (dit aussi « Livre de Connaissance ») capitalise - sur support papier - les connaissances routinières d'ingénierie organisées en différentes rubriques (ex: processus métier, expertise métier, vocabulaire métier, expérience métier, ...),

[6] outil KM de documentation en ligne, la Banque de Connaissance démocratise - sur support numérique hypertexte - les savoir-faire routiniers de conception (déjà capitalisés en Bréviaires) sous forme d'aide en ligne multimédia,

Coopératif, …). Fondé sur des principes argumentatifs, cet espace s'entend comme l'espace de la discussion et autorise plus facilement l'appropriation/internalisation et le partage des connaissances. Afin que puisse se mettre en œuvre un véritable partage et une réutilisation efficace des connaissances métier, les relations entre acteurs doivent être égalitaires. Le sens commun des actions à engager (notamment pour exercer professionnellement le métier premier de l'organisation industrielle) et la construction collective et permanente des connaissances (notamment dans les processus projet innovants où chacun contribue activement) deviennent essentiels dans cet espace public.

4. - Typologie des conceptions

Afin de clarifier les contextes de production des connaissances d'ingénierie à partir des projets, il convient de catégoriser les grands types de projets de conception qui font généralement l'objet d'un suivi numérique en temps réel capitalisant ainsi la mémoire technique dans un SGDT.

Nous utilisons pour cela **le modèle positiviste KnoVA** organisé en 5 volets méthodologiques :

- **le volet KnoVA-Sigma** (« Synthèse Inductive & Gestion des Métiers et Applications ») centré sur le management des connaissances routinières et dont les travaux fondateurs ont été initiés en 1988 par Patrick Serrafero au sein de la société KADE-TECH sur la base de travaux méthodologiques tels que KADS, KOD, MKSM, CYGMA, MOKA [VIE 92, ERM 96],
- **le volet KnoVA-Iota** (« Innovation Organization & Technical Acquisition ») centré sur le management des connaissances innovantes et dont les travaux fondateurs ont été initiés en 2000 avec des concepts novateurs tels que le « cogniton[9] », le processus de « collectivisation sémantique Ic2 », le processus de « mutation Ignition », … [SER 02],
- **le volet KnoVA-Quanta** (« Quantification of knowledge Acquisition ») centré sur la quantification des connaissances industrielles, innovantes et routinières et dont l'axiomatique de mesure du quantum de connaissance et de la dynamique d'apprentissage d'une organisation a été proposée en 2002 en liaison avec les travaux de Shannon [SHA 49],
- **le volet KnoVA-Méta** (« Meta-knowledge system ») centré sur l'ingénierie du système de connaissance d'une organisation, sa cartographie, sa structure, son architecture et dont le principal outil de modélisation proposé en 2000 est le macroscope cognitif ECRI (Evolution / Culture / Routine / Innovation) de croissance du patrimoine de connaissance métier d'une l'organisation [SER 00],
- **le volet KnoVA-Proqa** (« Project Quality Assurance ») centré sur une démarche d'assurance qualité orientée KM en management projet destinée à catalyser la synthèse de cognitons et à assurer les liens avec les systèmes de PLM / SGDT et dont les travaux fondateurs ont été initiés en 1990.

Comme l'indique la Figure 1, le modèle KnoVA-Méta distingue 4 types de projets de conception fédérés en 2 classes de problèmes d'ingénierie :

[7] outil KM de productivité personnelle pour une ingénierie robuste localisée, la Base de Connaissance assiste activement et guide en temps réel le concepteur, vérifiant en permanence que ses décisions de conception sont conformes aux processus et règles métier de l'entreprise,

[8] outil e-KM de productivité collective pour une ingénierie robuste répartie, le Broker de Connaissance gère le cycle de vie complet des compétences individuelles et collectives, anime la validation consensuelle des connaissances routinières, stimule la production de connaissances innovantes et rapproche les demandeurs internes de connaissances des offreurs internes et externes de compétences.

[9] Concept central du modèle KnoVA défini comme « granule élémentaire typé et non-fissible de connaissance industrielle »

- **la conception initiale :** où il s'agit de concevoir et d'inventer un produit ou un process pour la première fois, sans aucun cas de référence existants ni aucune expérience passée réussie qui permettrait de s'inspirer pour copier, de re-concevoir ou d'améliorer des solutions existantes (ex : conception initiale d'un véhicule urbain rapide en situation de fort trafic et protégeant le passager-pilote en cas de choc, d'une machine de prototypage rapide et tridimensionnel, d'un porte-avion à propulsion nucléaire, …). Les problèmes de **conception initiale** se divisent alors eux-mêmes en 2 types :
    - **la conception créative :** qui par essence est la plus aventureuse et la plus risquée de toutes puisque rien n'est connu au départ, pas même le concept physico-chimique de fonctionnement de l'objet (ex : conception créative d'une machine de télé-transportation, d'un véhicule urbain volant au dessus du trafic, d'une machine de synthèse volumique de bio-matière, d'un magnétoscope à enregistrer les rêves, d'un avion renifleur des gisements de pétrole, etc.) [VAR 95],
    - **la conception innovante :** qui – à partir de la connaissance d'un concept physico-chimique de fonctionnement connu pour l'objet à concevoir (ex : la production de chaleur par fission nucléaire, l'effet gyroscopique en stabilité des systèmes dynamiques, la polymérisation de résines photosensibles à l'aide de rayons UV, le casque intégral, …) – développe l'innovation projet dans l'architecture du produit, architecture qui est inconnue au début de l'activité de conception (ex : positionnement du cœur nucléaire à l'avant, l'arrière ou au centre du porte avion nucléaire Charles De Gaulle, architecture tricycle motorisée à cabine pendulée et arceau intégral de sécurité, positionnement des capteurs d'accélération d'un gyromètre acoustique, architecture « pièce descendante » de machine de prototypage rapide par stéréolithographie, …).

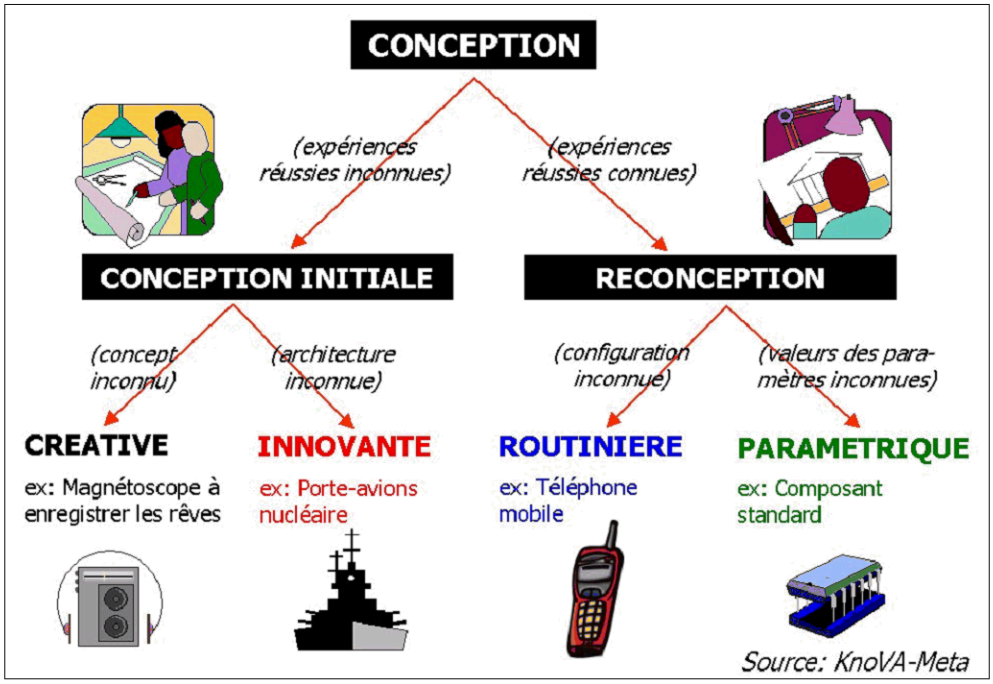

Fig. 1 : Différents types de conception générateurs et consommateurs de connaissances d'ingénierie.

- **la re-conception :** où il s'agit de reconcevoir un objet ou process existant, en général sur la base d'un cahier des charges du besoin déjà établi, voire stabilisé et motivé par une logique d'optimisation de l'architecture, des coûts, du poids, du volume, de la performance, … et pour lequel existent déjà de nombreux produits concurrents et expériences passées réussies (ex : re-conception de téléphones mobiles, de PC portables, de bogies de TGV, de directions assistées hydrauliques automobiles, …). Les problèmes de **re-conception** se divisent alors également en 2 types :

- **la conception routinière :** à concept et architecture connus à l'avance, l'objet à concevoir est alors à configuration inconnue parmi une grande variété de combinaisons et de topologies possibles (ex : téléphone mobile à clapet, PC portable extra-plat et doté d'une grande autonomie, liaison à brides pour moteur fusée [DOR 96, SEP 98], …),
- **la conception paramétrique :** à concept, architecture et configuration connus à l'avance, l'objet à concevoir est à valeurs des paramètres inconnues (ex : ressort de traction, roulement à billes, microcontrôleur électronique PID, vérin à gaz, …). Fréquemment, le composant paramétrique est « sur étagère », fait l'objet d'un catalogue standard et l'activité de conception revient souvent à le dimensionner et à effectuer le choix correspondant au dimensionnement dans le catalogue du fabriquant, éventuellement avec l'aide d'un configurateur numérique permettant de transformer le besoin fonctionnel en solution [cf http://www.compodata. com].

Bien souvent, la conception des produits et process industriels est un mixte de 2 classes. Ainsi la conception d'une automobile urbaine est avant tout un problème de conception routinière (concept physico-chimique et architecture véhicule parfaitement connus à l'avance). En revanche, de nouveaux systèmes fonctionnels embarqués peuvent relever individuellement de conceptions innovantes (ex : filtre à particules, aide à la conduite par satellite, commande « by wire », tableau de bord tête haute).

Enfin, dans le cadre de la dynamique collective des connaissances industrielles[10] (i.e. : de l'ignorance totale du concept envisagé pour répondre à un besoin fonctionnel jusqu'à la standardisation complète de la solution industrielle proposée), différents soutiens logiciels peuvent être mobilisés. Plutôt légers dans les phases de conception initiale et fondés sur des outils de mémoire projet de type PLM, ils pourront impliquer des outils avancés de CAO à bases de connaissance et de KAD/KAM complémentaires dans les phases de re-conception.

5. - Typologie des informations techniques de mémoire projet

Au carrefour de la Conception Assistée par Ordinateur (CAO) qui gère la géométrie du produit, du « Consumer Relationship Management » (CRM) qui gère la relation Client, des « Enterprise Ressource Planning » (ERP) qui gèrent les ressources d'entreprise, le « Product Life Management » (PLM) tente de centraliser et de coordonner - dans un contexte d'entreprise étendue - l'ensemble du flux d'informations concernant le développement d'un produit/process industriel. Cette gestion collaborative de l'information s'effectue sur la totalité du cycle de vie du produit et des process associés, depuis le marketing et l'ergonomie jusqu'à l'après-vente, sans oublier les différentes étapes d'industrialisation et de fabrication.

Nos travaux - engagés depuis plusieurs années dans les domaines de l'ingénierie collaborative et du PLM - ont abouti à la mise au point d'un modèle systémique et générique - dénommé MD&MV - de représentation des données de conception. Ces données techniques sont renseignées puis manipulées au quotidien par les concepteurs dans l'atelier logiciel ACSP. Le modèle MD&MV est qualifié de **multi-domaines** (car appliqué aux domaines d'ingénierie du Projet, du Produit, du Process et de l'Usage) et de **multi-vues** (car basé sur le paradigme systémique des vues structurelles, fonctionnelles et dynamiques). Le modèle MD&MV permet ainsi de préserver la complexité du système étudié à travers les différents aspects élaborés par le concepteur et leurs interrelations respectives. Il est illustré dans le Tableau 1, à partir d'exemples issus de notre projet commun de conception/ fabrication d'un véhicule de compétition.

[10] Pour information, un groupe de travail inter-laboratoires, dénommé DYXIT et fondé par Muriel Lombard et Jean Renaud en 2001, a pris pour objet d'étude la « dynamique collective des connaissances industrielles ».

Le tableau ne présente toutefois aucune des différentes interactions possibles entre :

- **les différents vues propres à chaque domaine :** il s'agit par exemple des interactions étudiées en analyse fonctionnelle interne entre les pièces (vue structurelle) et les fonctions (vue fonctionnelle) du produit, ou encore des interactions entre les ressources humaines (vue structurelle) et les tâches (vue dynamique) du projet, affectation des ressources sur les tâches mises en place lors de la planification du dit projet,
- **les vues issues de deux domaines différents :** il s'agit par exemple, en phase d'industrialisation, des interactions entre les pièces (vue structurelle) du produit et les gammes (vue dynamique) du process, ou encore des interactions créées entre les ressources humaines (vue structurelle) du projet et les fonctions (vue fonctionnelle) du produit, lors du redécoupage des rôles des concepteurs tenant compte des fonctions à concevoir pour le futur produit.

Domaine sémantique	Vue systémique	Concept informationnel	Exemple d'illustration issu de projet de conception/fabrication d'un véhicule de compétition
Projet	Structurelle	Ressource projet	Le projet est constitué de ressources matérielles (postes CAO, machines de protypage rapide, atelier mécanique, etc.) et humaines (acteurs du projet ayant différents rôles : chef de projet, chef produit, ingénieur industrialisation, expert métier, etc.).
	Fonctionnelle	Finalité projet	L'objectif visé par le projet est de gagner 30% de performances (poids, consommation moyenne, nombre de prix remportés, etc.) à iso-budget ou de réduire les coûts de 30% à iso-performance.
	Dynamique	Tâche projet	Le projet se déroule en plusieurs tâches (analyser les solutions techniques concurrentes, rédiger le Cahier des Charges Fonctionnel, etc.) regroupées en phases (études de faisabilité, préliminaires, détaillées, etc.).
Produit	Structurelle	Organe produit	Le produit est constitué de plusieurs pièces (arbre, carter, vis, arceaux, roue, carte électronique, etc.) regroupées en différents organes (châssis, carrosserie, moteur, transmission, poste de conduite, train avant, etc.).
	Fonctionnelle	Fonction produit	Le produit est soumis à différentes situations de vie et répond à différentes fonctions, redécoupées en sous-fonctions (exemple : transmettre le couple du moteur aux roues) et critères de valeur (puissance moteur < 73.5kW).
	Dynamique	Etat produit	Le véhicule a un comportement qui traduit plusieurs états : conduite normale (en marche avant, à l'accélération, au freinage, etc.), en mode dégradé, à l'arrêt aux stands, etc. mais aussi plusieurs transitions entre ces états.
Process	Structurelle	Unité process	Le process de production du véhicule comprend plusieurs unités (usinage, chaudronnerie, assemblage, peinture, etc.). Chaque unité est composée de cellules, elles-mêmes composées de machines (fraiseuses, tours, etc.).
	Fonctionnelle	Fonction process	Les outils de production ont été retenus (en interne ou en sous-traitance), afin de réaliser le nombre d'organes requis dans une enveloppe de qualité, de délais et de coûts d'investissement définis par le Cahier des Charges process.
	Dynamique	Gamme process	La gamme de fabrication de l'arbre du levier de vitesses comprend une phase de tournage décomposée en différentes sous-phases d'usinage (dressage, chariotage, …) comprenant différentes opérations d'usinage.
Usage	Structurelle	Cas d'usage	Le cycle de vie du couple produit/process est constitué de plusieurs cas d'usage, dont « l'assemblage du véhicule ». Ce cas d'usage implique : un opérateur, un poste d'assemblage et le produit encore sous forme d'organes.
	Fonctionnelle	Fonction d'usage	Différentes phases du process de fabrication du véhicule nécessitent l'intervention d'opérateurs (fonction : être assemblable par des opérateurs) et impliquent la prise en compte de critères de valeur d'ergonomie (efforts, atteinte, champ visuel, etc.).
	Dynamique	Scénario d'usage	L'assemblage des différents organes du véhicule se fait en plusieurs étapes, par différents opérateurs, selon des temps opératoires prédéfinis, et nécessite des outils spécifiques à chaque étape.

Tableau 1 : Différents types d'informations-porteuses-de-connaissances disponibles dans l'atelier ACSP et organisées selon le modèle systémique et générique MD&MV (Multi-Domaines et Multi-Vues). En fonction du domaine et de la vue étudiée, le concept informationnel sert de brique de base pour la modélisation d'informations techniques plus complexes (ex : Atelier de Production constitué d'Unités Process).

A partir de 1998, ce modèle « multi-domaines & multi-vues » des données de conception, ainsi que leurs interactions a été opérationnalisé au sein d'un outil de PLM dénommé ACSP (Atelier Coopératif de Suivi de Projets). Basée sur une architecture client-serveur léger, cette plate-forme logicielle est dotée d'une base de données accessible par Internet et dispose des fonctionnalités PLM classiques :

- gestion des accès et des rôles des utilisateurs,
- sécurisation des données dans le coffre-fort avec sauvegarde quotidienne de la base de données,
- gestion électronique de documents permettant la visualisation de fichiers de travail (bureautique, CAO, etc.),
- gestion des cycles de vie des données et documents,
- gestion des communications inter-concepteurs (Chat, Forum et Email).

Outre sa capacité à supporter les processus de conception collaborative en mode synchrone et asynchrone, ce système d'information, strictement organisé par le modèle MD&MV sous-jacent, permet de constituer de véritables **Mémoires Projet Structurées**. L'intérêt d'un telle démarche rigoureuse d'organisation des données techniques est de pouvoir rapidement disposer, au cours ou à l'issue d'un projet, d'un ensemble d'« informations porteuses de connaissances ».

C'est dans ce cadre informationnel hautement organisé que peut maintenant s'envisager **une synthèse des connaissances d'ingénierie** à partir des mémoires projets structurées. Pour cela, nous présentons maintenant la typologie des connaissances utilisée ainsi que l'architecture logicielle envisagée.

6. - Typologie des connaissances métier et cycle de vie

De la même manière que les systèmes de PLM proposent une gestion détaillée du cycle de vie des produits industriels (avec notamment les phases de vie clairement identifiées de Spécification du Besoin Client, Modélisation Fonctionnelle, Conception Préliminaire, Conception Détaillée, Production, Exploitation, Maintenance, Recyclage), il est intéressant d'envisager la notion de **cycle de vie** de la Connaissance métier avec différentes phases (ex : Gestation, Culture, Compétence, Evolution, …).

Dans le cadre du modèle positiviste KnoVA, l'exploitation rationnelle des connaissances du Métier d'une organisation industrielle (ex : « constructeur d'automobiles de compétition ») suppose l'existence d'un matériau cognitif (ie : le contenu expert) et de moteurs de raisonnement (ie : le contenant inférentiel, en général de type cerveaux humains de concepteur ou de type moteur logiciel d'inférence [YVA 01]). Il est alors proposé de définir le matériau cognitif constitutif du Métier – à l'image d'un ensemble structuré d'atomes et de molécules – comme un ensemble de « connaissances élémentaires typées non-fissibles » – baptisées « cognitons » – organisé de manière structurée en Compétences Métier (définie comme « capacité professionnelle individuelle tournées vers l'action industrielle »), elles-même regroupées en Domaines Métier (définies comme « fédération de compétences métier partageant le même vocabulaire métier »), eux-mêmes hiérarchisés en Filières Métier (homogènes aux divisions et filiales de l'organisation industrielle) constituant le Métier de l'organisation [SER 00, SER 02].

Si au quotidien, le Métier d'une entreprise peut sembler organisé, structuré, rationalisé, … il doit aussi être compris comme le fruit d'une longue évolution génétique, résultat d'adaptations incessantes de l'entreprise à :

- son couple produit/marché (ex de la société Smart : mutation d'une logique de vente de véhicules automobiles à celle d'une société de service en mobilité louant des véhicules sur une longue durée),
- aux mutations économiques (ex : hausse du prix du pétrole) et technologiques (ex : motorisations propres et silencieuses, pile à combustible, moteur aux énergies renouvelables, …),
- aux progrès et innovations qu'elle souhaite promouvoir (ex : moteur hybride).

Ainsi, le Métier d'une entreprise peut être vu comme un système cognitif (contenant + contenu) en dynamique permanente, dit aussi « système de connaissance » [ERM 96a], avec des flux entrants de connaissances nouvelles (correspondant à ce que l'entreprise ne savait pas faire) et à des flux sortants de connaissances périmées (correspondant à ce que l'entreprise ne veut plus faire, mais veut faire faire ou veut abandonner).

Enfin, si au quotidien, on peut indiscutablement constater l'existence de compétences métier dans l'entreprise constituant ainsi son « corps et cœur de métier », l'explicitation de leurs « cellules constitutives » (i.e. : les cognitons) relève d'un long processus d'accouchement qui prend naissance dans l'Espace Privé Intime des acteurs pour s'épanouir dans l'Espace Public (constitutif de la fierté collective « nous savons faire cela ») en passant plus ou moins facilement par l'Espace Intime Commun (i.e. : secrets industriels partagés, brevets industriels, …).

C'est pour faciliter et rendre compte de cette dynamique d'accouchement que nous proposons la taxinomie[11] génésique[12] KnoVA v2006 du tableau 2 ci-après. Ainsi, nous suggérons de distinguer 3 phases majeures dans le cycle de vie d'un cogniton (défini pour mémoire comme « connaissance métier élémentaire typée et non-fissible constitutive du métier d'une organisation ») :

- **la phase « Anté-Métier » :** correspondant à un état cognitif tacite de « cogniton potentiel », cogniton non encore identifié ni correctement formalisé, ni correctement contextualisé, ni relié à ses voisins, souvent annoncé par des « traces informationnelles » dans le SGDT de l'organisation (ex : notes de réunion, décisions managériales, rapport de conception, …) ou par des réflexions personnelles, raisonnements professionnels, expériences fugaces dans l'Espace Privé Intime de l'individu concepteur,
- **la phase « Pratique Métier » :** correspondant à un état cognitif explicite de « cogniton opérationnel », consciemment utilisé par l'individu concepteur, plus ou moins formalisé et apte à être verbalisé ou rédigé dans des rapports de justification de conception, des procédures d'assurance qualité, des modes opératoires, des notes de calcul, … et résultant de l'Espace Privé Commun de la communauté métier praticienne,
- **la phase « Post-Métier » :** correspondant à un état de maturité cognitive achevée de « cogniton éternel » (ou « cosmo-cogniton »). Le cogniton totalement consensuel (ou « démo-cogniton ») correspond à une découverte fondamentale et invariante dans le temps du métier de l'entreprise (ex : $E = mc^2$ pour la conception de centrales à fusion ou fission nucléaires, « la double synthèse modale » en dynamique des structures mécaniques). Le cogniton mort (ou « paléo-cogniton ») correspond à une connaissance erronée sur la réalité appréhendée par le métier de l'organisation (ex : « l'amiante est un isolant thermique sans danger pour l'homme ») ou désuète (ex : les connaissances de construction des pyramides égyptiennes). Les démo-cognitons et paléo-cognitons largement publicisés deviennent alors constitutifs du patrimoine cognitif de l'Humanité[13] et relèvent de l'Espace Public (ex : standard CODAP des chaudronniers).

La phase de vie centrale des connaissances métier, dénommée « Compétence Métier » par le modèle KnoVA, est également décomposée en 3 sous-phases :

[11] « Classification d'éléments concernant un domaine, une science. » (Petit Larousse, Edition 2000).
[12] « Relatif à la génération. » (Petit Larousse, Edition 2000).
[13] Dénommé « Génome Cognitif Universel ».

- **la sous-phase « Gestation Métier » :** correspondant à une phase transitoire entre l'ignorance du métier de la phase « Anté-Métier » et sa formalisation robuste, gestation durant laquelle sont capitalisées en vrac des informations et des connaissances d'ingénierie … C'est en fait une phase d'exercice de l' « innovation projet pour l'émergence métier » et le point d'entrée des systèmes de GDT et PLM permettant ensuite d'engager la synthèse de connaissances. Cette gestation permet d'assurer une transition entre l'Espace Privé Intime du concepteur et l'Espace Privé Commun de son équipe projet.
- **la sous-phase « Compétence Métier » :** correspondant à une phase où les connaissances ont été formalisées et organisées en Compétences Métier. Le cogniton est alors contextualisé et utilisé de manière rationnelle au sein de processus inférentiels (i.e. : des raisonnements intelligents) mis en oeuvre par le concepteur lors de son activité d'ingénierie. Les compétences métier constituent la richesse de l'Espace Privé Commun des équipes métier.
- **la sous-phase « Evolution Métier » :** correspondant à une phase d'élaboration de connaissances nouvelles, du fait de la pratique opérationnelle de la Compétence Métier et des besoins d'optimisation des raisonnements ou d'innovation des projets. Cette phase d'évolution, du fait de l'analyse critique des routines métier par l'individu, assure une nouvelle transition de l'Espace Privé Commun vers l'Espace Privé Intime, permettant ainsi l'enrichissement personnel du concepteur et le « retour sur investissement » de sa « mise de fond cognitive initiale » dans le pot commun des connaissances de l'équipe métier, mise de fond initiale qui était nécessaire pour démarrer le processus de « collectivisation sémantique » des savoirs partagés.

Par ailleurs, le modèle KnoVA propose de modéliser la Compétence Métier avec 3 macro-types cognitifs essentiels :

- **le proto-cogniton :** pour la description de la Gestation Métier et des premières connaissances émergeantes en formation prototype au sein des projets, les cerveaux des collaborateurs techniques des équipes projets (sur support biologique), les notes techniques (sur support papier) et les logiciels de GDT et PLM (sur support numérique) étant alors les systèmes d'information porteurs de ces proto-cognitons en gestation,
- **le méso-cogniton :** pour la description de la Compétence Métier à l'aide de logo-cognitons de la Culture Métier et d'ergo-cognitons de la Routine Métier capitalisant les connaissances stabilisées par plusieurs années de pratique et de nombreux projets antérieurs réussis,
- **le bio-cogniton :** pour la description de l'Evolution Métier à l'aide de phéno-cognitons du Retour Métier et de néo-cognitons de l'Innovation Métier capitalisant des connaissances innovantes non encore stabilisées, en général issues de projets innovants où « on ne sait pas encore comment faire » et nécessitant des adaptations fortes des Compétences Métier déjà existantes (ex : « concevoir un vérin piézoélectrique pour les gouvernes de l'A380).

Enfin, comme indiqué dans le Tableau 2, le cycle de vie détaillé d'un cogniton passe par 5 macro-états de maturité, dénommés respectivement : archéo, proto, méso, bio, cosmo.

Le premier macro-état modélise l'ignorance et l'absence de cognitions opérationnels dans un métier donné (ex : ignorance sur comment concevoir une centrale nucléaire à fusion thermonucléaire, un moteur automobile non-polluant à énergie renouvelable, …). Paradoxalement, « savoir ce que l'on ne sait pas faire » est de la connaissance qui doit pouvoir être modélisée avec la taxinomie KnoVA. Certains, bien conscients de cela, ont même rédigé le Dictionnaire de l'Ignorance [CAS 98].

L'état de maturité cognitive le plus utilisé est l'état **méso**, signifiant « routinier et intermédiaire entre vie éternelle et mort potentielle ». En effet, une connaissance peut devenir rapidement obsolète et changer de statut pour un état de maturité devenant alors « paléo-cogniton ». Par ailleurs, un « cogniton agé et résistant au temps », régulièrement réutilisé, faisant consensus dans l'organisation et parfaitement stabilisé et démocratisé peut alors bénéficier d'un statut de « cogniton éternel », dit aussi « démo-cogniton ».

Taxinomie génésique KnoVA v2006.2 identifiant 50 types cognitifs pour le cycle de vie des cognitons d'une compétence métier donnée					
Etat de maturité cognitive	**Phase de vie**	**Super-type cognitif**	**Qualificatif du super-type**	**Type cognitif**	**Exemple de cogniton correspondant**
Archéo-cogniton *(cogniton préliminaire* *igno, questo, hypo* *de l'IGNORANCE*	**ANTE-METIER** (l'IGNORANCE)	**Lacune** *(cogniton inconnu)*	indicible verbalisée	**Incapacité** **Inconnue**	*L'ignorance que l'on ne sait pas encore verbaliser.* On sait que la masse du boson est inconnue.
		Question *(cogniton interrogatif)*	physique métaphysique	**Problème** **Problématique**	Le moteur à énergie renouvelable est-il réalisable ? Dieu existe-t-il ?
		Hypothèse *(cogniton hypothétique)*	empirique spéculative	**Heuristique** **Conjecture**	Supposons que la terre ne soit pas plate ! Imaginons que Dieu existe !
Proto-cogniton *(cogniton préhistorique* *andro, managéo, projo* *du MANAGEMENT PROJET* *pour* *l'EMERGENCE METIER)*	**GESTATION METIER** (la PRE-HISTOIRE)	**Acteur projet** *(cogniton humain de l'EQUIPE PROJET)*	décideur	**Maître d'ouvrage projet**	La compagnie cliente de l'Airbus A380.
			coordinateur	**Maître d'œuvre projet**	Le chef de programme de l'Airbus A380.
			contributeur	**Expert projet**	L'expert des vérins piézo-électriques de l'A380.
			exécuteur	**Equipier projet**	Le dessinateur du caisson central de l'A380.
		Evènement projet *(cogniton managérial de la MEMOIRE PROJET)*	borné	**Mission projet**	Dimensionner le châssis mécano-soudé du véhicule.
			ponctuel	**Jalon projet**	La revue majeure GO/NOGO de validation châssis.
			tangible	**Livrable projet**	Le modèle géométrique du châssis mécano-soudé.
			financier	**Budget projet**	Le budget de 14 MdÉ du développement de l'A380.
		Synthèse projet *(cogniton mono-projet de la SYNTHESE PROJET)*	inductive	**Synthèse projet**	Appairer les triangles de suspension au châssis véhicule.
			-	-	-
			-	-	-
Méso-cogniton *(cogniton routinier* *logo, ergo* *de la COMPETENCE METIER*	**CULTURE METIER** (le PASSE)	**Histoire métier** *(cogniton historique de l'HISTOIRE METIER)*	anecdotique	**Anecdote métier**	Les tours peuvent brûler.
			diachronique	**Monographie métier**	La monographie du métier des sabotiers.
			-	-	-
		Espace métier *(cogniton cartographique de la GEOGRAPHIE METIER*	stratégique	**Métier**	Constructeur de boîtes de vitesses automobiles.
			tactique (A-1)	**Filière métier**	Fabrication de pièces unitaires.
			opérationnel (A-0)	**Domaine métier**	Usinage des pièces de révolution.
			experte (A0)	**Compétence métier**	Concevoir la gamme d'usinage d'une pièce de révolution.
		Phénomène métier *(cogniton phénoménologique de la PHYSIQUE METIER*	physique	**Interaction métier**	Usinage par enlèvement de copeaux.
			chimique	**Réaction métier**	Acide + Base = Eau + Sel.
			-	-	-
	ROUTINE METIER (le PRESENT)	**Activité métier** *(cogniton opératoire du PROCESSUS METIER)*	parallèle (ET)	**Do-list métier**	Choisir le matériaux et dimensionner la pièce.
			séquentielle (ET PUIS)	**Séquence métier**	Choisir le montage puis les paramètres de coupe.
			super (OU)	**Alternative métier**	Choisir un montage mixte ou entre-pointes.
			terminale	**Tache métier**	Choisir les paramètres de coupe du couple OutilMtière.
		Règle métier *(cogniton comportemental de l'EXPERTISE METIER)*	prouvée	**Certitude métier**	U = R × I, La terre est sphérique, F = mγ.
			imposée	**Contrainte métier**	La distance entre 2 rivets vaut 4 fois le diamètre du rivet.
			conseillée	**Conseil métier**	Une rotule se positionne plutôt verticalement.
			disjonctive	**Choix métier**	La motorisation est thermique ou électrique.
		Terme métier *(cogniton terminologique du VOCABULAIRE METIER)*	super (ISA)	**Généralisation métier**	PERSONNE.
			composé (ASA)	**Concept métier**	HOMME, FEMME.
			scalaire	**Grandeur métier**	Age, Taille, Poids, Couleur-des-yeux.
			instance (AKO)	**Instance métier**	Napoléon, Joséphine.
		Cas métier *(cogniton expérimental de l'EXPERIENCE METIER)*	modèle	**Référence métier**	La gamme de la pièce de révolution complexe R123.
			erroné	**Bêtise métier**	La gamme de la pièce longue et fine R234.
			exclu	**Exclusion métier**	Les pièces prismatiques ne sont pas usinables ici.
			constant	**Donnée métier**	g = 9,81 ms^{-2}, E_{acier} = 20 000 Mpa.
Bio-cogniton *(cogniton mutant* *phéno, néo* *de l'EVOLUTION METIER)*	**EVOLUTION METIER** (le FUTUR)	**Retour métier** *(cogniton prototype du RETOUR METIER*	contingent	**Feedback métier**	g = 10 ms^{-2} est trop imprécis pour le géostationnaire.
			reformulé	**Reformulation métier**	g = 9,81 ms^{-2} en géostationnaire, F = mA.
			conceptuel	**Idée métier**	Le magnétoscope à enregistrer les rêves.
			réaliste	**Invention métier**	Le baladeur MP3 i-Pod d'Apple inventé en 2004.
		Innovation métier *(cogniton innovant de l'INNOVATION METIER*	terminologique	**Néologisme métier**	Le cybionte *(proposé par Joël de Rosnay).*
			analytique	**Fission métier**	*Le cogniton D est remplacé par les cognitons E et F.*
			synthétique	**Fusion métier**	*Les cognitons A et B fusionnent en le cogniton C.*
Cosmo-cogniton *(cogniton éternel* *paléo, démo* *du SAVOIR)*	**POST-METIER** (l'ETERNITE)	**Fossile métier** *(cogniton périmé)*	erroné obsolète	**Contrevérité métier** **Archaïsme métier**	La terre est plate. Constructeur de pyramide égyptienne, Sabotier.
		Certitude métier *(cogniton reconnu)*	scientifique théorique	**Réalité métier** **Principe métier**	Acide + Base = Eau + Sel. F = m × a *en mécanique générale.*

Tableau 2 : Taxinomie génésique KnoVA v2006.1 organisant 50 types cognitifs différents pour qualifier l'état de maturité cognitive d'un cogniton au cours de sa vie industrielle en ingénierie.

Enfin, la Figure 2 résume l'évolution « biologique et quantique » du cogniton et formalise son cycle de vie à l'aide d'une échelle de maturité.

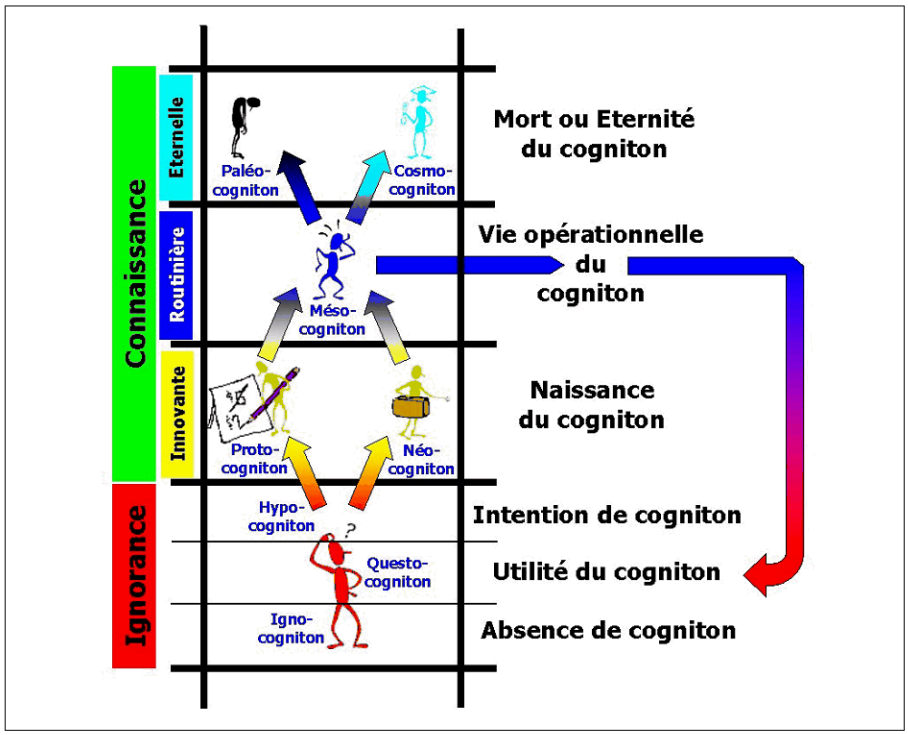

Fig. 2 : Echelle de maturité « bio-quantique » à 8 états du cogniton : de l'inexistence à l'éternité.

7. - Architecture conceptuelle pour la synthèse de connaissances métier

Ainsi armés de 2 modèles conceptuels très structurés, l'un pour les données projet (entrées informationnelles du système de synthèse) et l'autre pour les connaissances métier (sorties cognitives attendues du système de synthèse), nous pouvons maintenant envisager une architecture appropriée pour la génération semi-automatique dans un 1er temps, puis automatique dans un 2ème temps, de compétences métier en ingénierie robuste.

Cette architecture, présentée en Figure 3, implique deux composants majeurs positionnés entre le modèle MD&MV et le modèle Knova :

- **un langage structuré de description des connaissances métier:** dénommé SKL (Standard Knowledge Language) et spécifié formellement à l'aide d'une grammaire XML, le SKL est « aux connaissances ce que le SQL est aux données : un moyen puissant de représentation et d'exploitation des ressources cognitives d'ingénierie ». Le langage SKL est actuellement expérimenté à l'ECL et une première DTD[14] sous forme de schémas XML est disponible,
- **un moteur d'induction et de synthèse de connaissance métier :** dénommé KAD-Induce, ce moteur est en cours de spécification. Les premières méta-règles de transformation des informations projet MD&MV en connaissance métier KnoVA sont en cours d'élaboration à l'UTBM. Une programmation en Java ou en C++ sera ensuite réalisée dans le cadre d'une thèse. Les résultats attendus du moteur KAD-Induce sont des fichiers SKL synthétisant un ensemble de connaissances métier. Ces connaissances seront ensuite soumises à la validation manuelle d'experts-métier à l'aide d'un Broker de Connaissance de l'organisation

[14] Concept XML (eXtended Markup Language) de description de grammaire formelle.

« powered by KAD-Office » afin d'aboutir à la rédaction semi-automatique de Bréviaires de Connaissance structurés.

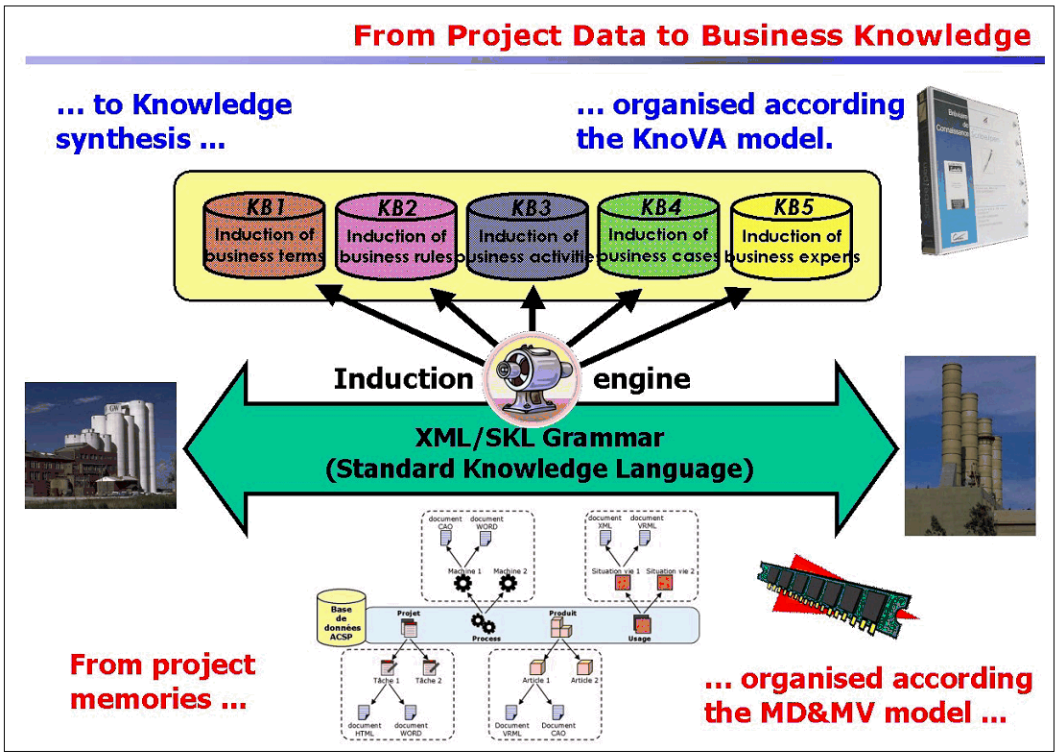

Fig. 3 : Architecture conceptuelle proposée pour la synthèse de connaissances métier à partir des données et informations techniques stockées sous forme de Mémoires Projets Structurées disponibles dans le système ACSP.

Le protocole expérimental de validation de cette architecture conceptuelle et de ces travaux en robustesse des processus d'ingénierie est lourd. Il mobilise, depuis 2002, une Ecurie estudiantine de compétition automobile dénommée EPSA. L'ensemble de ses réalisations techniques, visibles sur http://www.epsa.new.fr, comprend aujourd'hui 5 véhicules et fait l'objet de 26 bréviaires de connaissance rédigés manuellement sur la base de 56 compétences métier clefs identifiées à ce jour.

Ce protocole se propose d'être en mesure d'expliquer, dans quelques années, pourquoi et comment, à partir « du licenciement systématique de 33% des effectifs annuels de l'Ecurie pour obtention du diplôme d'ingénieur ECL ou UTBM », l'Ecurie aura su développer son intelligence industrielle et ses capacités d'apprentissage collectif en réalisant des véhicules de plus en plus performants, dans une logique de progrès continu qui exige chaque année « soit +30% de performance véhicule à iso-budget, soit -30% de coûts véhicule à iso-performance ».

8. - Conclusion

Concevoir de manière performante (i.e. : rapidement, ubiquitairement) des produits/process performants (i.e. : fonctionnels, robustes, économiques, écologiques) suppose la mobilisation d'une quantité importante de connaissances d'ingénierie explicites et partagées.

A partir d'une approche organisationnelle très structurée, à la fois des informations techniques projet en entrée et des connaissances métier en sortie, une synthèse des compétences métier est envisageable.

Ce papier a présenté, sur la base du paradigme managérial des Espaces Cognitifs, du modèle de données MD&MV, du modèle de connaissance KnoVA et du langage XML/SKL, une architecture conceptuelle de synthèse métier en cours d'expérimentation à l'ECL et l'UTBM et appliquée à l'Ingénierie Robuste à Bases de Connaissance de véhicules de compétition automobile.

Ainsi, à l'image de la puissance mécanique (qui est l'accroissement du travail au cours du temps grâce à la transformation de l'énergie potentielle en énergie cinétique par accroissement de l'entropie thermodynamique), peut alors s'envisager – au sein des organisations – une véritable **intelligence industrielle** perçue comme « l'accroissement de compétence métier au cours du temps grâce à la capacité d'apprentissage et d'innovation de l'organisation par la synthèse de ses connaissances métier à partir de ses informations projet ». Cette intelligence dérive alors d'un processus inductif de transformation de l'"énergie informationnelle" en "énergie cognitive", processus de synthèse remontant ainsi l'entropie informationnelle des SGDT pour créer de l'"ordre cognitif dans le désordre informationnel".

En d'autres termes :

- à l'instar de la puissance mécanique qui produit le travail, l'intelligence industrielle produit la compétence métier,
- à l'instar du travail mécanique qui produit des déplacements, la compétence métier produit des informations produit/process robustes.

9. - Bibliographie

[BON 05] Bonnivard D., "Espaces et Management des Connaissances", Groupe de travail ECP/INT, avril 2005.

[CAD 05] Cad.magazine, "Du CAD/CAM au KAD/KAM", n°126, p.53-55, juin-juillet 2005.

[CAS 98] Casenave M., *Aux frontières de la science, Dictionnaire de l'ignorance*, Edition Albin Michel, 1998.

[CHA 05] Chatillon M.M., Jézéquel L., Baggio P., Coutant P., "Démarche « First Design » de conception robuste appliquée à la conception des trains de voitures", 13ème Congrès International SIA *Dynamique du Véhicule et Confort de Suspension*, Ecole Centrale de Lyon, France, 14-15 Juin 2005.

[DOR 96] Dorville G., Lecompte G., Serrafero P., Bourne C., "Flange : assistant métier pour la conception optimale de liaisons à brides", *Conférence Internationale IDMME'96 sur la Conception et la Fabrication Intégrées en Mécanique*, Edition ECN, Nantes, 1996, p. 335-343.

[ERM 96] Ermine J.L., Chaillot M., Bigeon P., Charreton B., Malavieille D., "MKSM: Méthode pour la Gestion des Connaissances", *Ingénierie des systèmes d'information*, AFCET-Hermès, 1996, vol. 4, n°4, p. 541-575.

[ERM 96a] Ermine J.L., "Les systèmes de connaissances", Edition Hermès, 1996, p. 133.

[GOM 02] Gomes S., Sagot J-C., "A concurrent engineering experience based on a cooperative and object oriented design methodology", *Best papers book, 3rd International Conference on Integrated Design and Manufacturing in Mechanical Engineering*, Kluwer Academics Publisher, p. 11-18, 2002.

[GOM 05] Gomes S., Serrafero P., Monticolo D., Eynard B., "Extracting knowledge from PLM systems : an experimental approach", *International Conference in Product Lifecycle Management*, Editions Inderscience, Lyon, p.33-43, Juin 2005,

[GRU 00] Grundstein M., "Repérer et mettre en valeur les connaissances cruciales pour l'entreprise", *10ème Congrès International de l'AFAV*, Paris, 7-8 novembre 2000.

[HAM 99] Hamelin H., Schaaf J., "L'INnovation Assistée par Ordinateur : une nouvelle catégorie d'outils logiciels", *Micad'1999*, Edition Hermès, Paris, 1999, p. 37-42.

[LAR 03] Lartigue N., "Knowledge and Design", Congrès International SIA *Simulation: an essential tool for risk management in industrial product development*, Paris, 17-18 sept 2003.

[LAR 04] Lartigue N., "Opening Speech", Congrès International SIA *Embedded Automotive Electronics: Cooperative Design for Quality Optimisation*, Toulouse, 23-24 juin 2004.

[LIG 04] Lignon S., Jézéquel L., "Damage of a Reinforced Concrete Wall under Earthquake : a Robust Approach", WCCM VI, Pékin, Chine, 5-10 sept 2004.

[MOI 77] Le Moigne J-L., *La théorie du Système Général, théorie de la modélisation*, Edition Puf, Paris, 1977.

[MOI 99] Le Moigne J.L., "Les épistémologies constructivistes", *Collection Que sais-je ?*, Edition Puf, 1999.

[SHA 49] Shannon C., *Théorie Mathématique de la Communication*, 1949.

[SEP 98] "Capitaliser sa mémoire industrielle", *Informatiques Magazine*, Oct. 1998.

[SER 97] Serrafero P., "Du CAD/CAM au KAD/KAM ou de la Conception Assistée par Ordinateur à la Conception Assurée par les Connaissances", *Congrès SIA*, Paris, 1997.

[SER 99] Serrafero P., Vargas C., Renson D., "Knowledge Aided Design : les démarches de PSA et Techspace Aero", *Micad'1999*, Edition Hermès, Paris, 1999, p. 23-36.

[SER 00] Serrafero P., "Cycle de vie, maturité et dynamique de la connaissance : des informations aux cognitons de l'Entreprise Apprenante", *Revue Annuelle U.E. des Arts et Métiers sur le Knowledge Management*, Edition Dunod, 2000, p. 158.

[SER 02] Serrafero P., "Vers la mesure de quantité de connaissance et de compétence industrielle : le modèle KnoVA", conférence invitée, *1er colloque du Groupe de Gestion des Compétences et des Connaissances en Génie Industriel*, Nantes, Décembre 2002, http://www.iknova.com/publi.htm

[TIG 01] Tiger H., "Capitaliser les savoirs et innover dans les projets : deux démarches antinomiques ?", *Journée AIP-PRIMECA Dynamique des connaissances en conception : acquisition, capitalisation et réutilisation*, Grenoble, 22 mai 2001, p. 73-78.

[VAR 95] Vargas C., "Modélisation du Processus de Conception en Ingénierie des Systèmes Mécaniques", *Thèse de Doctorat*, ENS de Cachan, 1995, p. 38-39.

[VIE 92] Vielinga B., Schreiber A & Breuker J., "KADS a modelling approach to knowledge engineering", *Knowledge Acquisition*, 1992, vol. 4, p. 5-53.

[YVA 01] Yvars P.A., "Représentation des connaissances à base de contraintes en ingénierie d'ensembles mécaniques", *Journée AIP-PRIMECA Dynamique des connaissances en conception : acquisition, capitalisation et réutilisation*, Grenoble, 22 mai 2001, p. 29-35.

10. - Remerciements

Les auteurs remercient pour leurs contributions créatives et constructives les élèves-ingénieurs de l'ECL et de l'UTBM participant aux projets d'ingénierie de l'Ecurie EPSA et utilisant les ressources logicielles des systèmes ACSP et KAD-Office.