

Localisation des connaissances dans les systèmes de production : approches multiples pour différents types de connaissance

Patrick Bougé¹, Dominique Deneux², Christophe Lerch³, Jérôme Euzenat^{4}, Jean-Paul Barthès⁵, Michel Tollenaere⁶*

\$.1 Introduction

La gestion des connaissances a pour objectif de fournir la bonne information à la bonne personne au bon moment pour que cette personne puisse prendre une bonne décision (ou, plus généralement, faire une action adaptée). Il n'est pas utile de revenir sur l'intérêt porté depuis quelques années à la gestion des connaissances [Wiig 1994 ; Nonaka & Takeushi 1995 ; Liebowitz 1999]. Le nombre d'articles et d'ouvrages sur la capitalisation des connaissances est très grand [Harvard business review 1999 ; Bakema 1999]. Du côté de l'offre, pour certains éditeurs de logiciel de base de connaissance [Adam 1998], la gestion de connaissances consiste à stocker, consulter, diffuser et mettre à jour la mémoire technique d'une l'entreprise. Du côté de la demande, pour une entreprise travaillant sur le long terme comme le CEA, [Ermine 1996] la gestion de connaissance a pour buts de rassembler le savoir et le savoir faire sur des supports facilement accessibles, de faciliter leur transmission en temps réel à l'intérieur de l'entreprise et en différé aux successeurs, et enfin, de garder la trace de certaines activités ou actions sur lesquelles l'entreprise pourrait avoir à rendre des comptes.

¹ Dassault systèmes & INRIA Rocquencourt, Patrick.Bouge@inria.fr

² LAMIH, dominique.deneux@univ-valenciennes.fr

³ BETA, lerch@cournot.u-strasbg.fr

⁴ INRIA Rhône-Alpes, Jerome.Euzenat@inrialpes.fr

* Correspondance : Jérôme Euzenat, INRIA Rhône-Alpes, 655 avenue de l'Europe, 38330 Montbonnot Saint-Martin, France

⁵ Université de Technologie de Compiègne, barthes@utc.fr

⁶ Institut National Polytechnique de Grenoble, Michel.Tollenaere@inpg.fr

2 Titre de l'ouvrage

On retrouve ces objectifs dans plusieurs projets engagés au sein du programme Prosper du CNRS :

- améliorer la performance du processus de conception en redéfinissant le fonctionnement et l'interface homme machine d'un progiciel de conception assistée par ordinateur (ARDECO) ou la disponibilité de l'information sur les produits et leurs évolutions (POSEIDON) ;
- anticiper l'évolution du système de production en construisant des représentations visualisant les flux physiques, les profils de compétences et la structure du système de production (RESYPROQ) ou en développant une méthode de caractérisation des impacts sur le système de production en termes de coûts et de valeur, des décisions de conception (METACOG) ;
- améliorer la performance du système de production en favorisant l'acquisition, la mémorisation et la distribution des connaissances (CACIC) ;
- optimiser les processus d'ordonnement dans les systèmes de gestion de production (FMS) dans un environnement évolutif en représentant les mécanismes cognitifs mis en œuvre au niveau individuel et collectif dans la résolutions des problèmes induits par la modification des produits (CHMOPI) ;
- partager les connaissances techniques et organisationnelles (mise à jour des meilleures pratiques) lors des évolutions produit/process entre bureau d'études, antenne technique et sites de production (POSEIDON).

On le voit dans cette rapide énumération, la nature des connaissances prises en compte peut être très diverse. C'est sur ces connaissances, objet des activités de gestion de connaissance, que porte cette présentation. Elle ne se focalisera donc pas sur les mécanismes permettant de gérer la connaissance largement étudiés par les courants principaux et rappelés dans le texte d'Alain Mille.

Une gestion de connaissance effective nécessite, dans une certaine mesure, de caractériser et de localiser la connaissance considérée. On identifie ainsi de nombreuses typologies des connaissances à considérer qui seront brièvement rappelées dans la section suivante. Mais la pertinence de ces typologies dans le cadre des systèmes de production et dans le contexte de diverses approches du problème de la gestion des connaissances, n'est pas claire. Pour tenter d'apporter des éléments de réponse concrets à cette question, on examinera l'approche des projets évoqués ci-dessus.

Chacun des projets, en fonction de sa problématique scientifique propre et de l'application considérée, est amené à identifier et localiser les connaissances qui lui sont nécessaires. Il est alors souhaitable de savoir si les approches convergent vers une représentation globale des facteurs immatériels (que l'on juge important) susceptibles d'influencer la performance du système de production ou, dans le cas

contraire, d'établir si les facteurs jugés importants le sont du fait des approches ou de celui des applications mises en œuvre.

Précisons d'emblée que les résultats obtenus ne seront que parcellaire puisqu'ils portent sur un nombre de projets restreints, pas forcément représentatifs et analysés de manière qualitative. Cette étude ne permet donc de n'avoir qu'une première idée des réponses aux questions posés ci-dessus et des difficultés se présentant à qui tenterait d'y répondre de manière définitive.

Dans la suite, différentes classifications appliquées aux connaissances sont présentées de manière à fixer le vocabulaire utilisé. Une première discussion permet alors d'organiser la présentation en deux axes dépendants de l'objet observé et/ou modifié. Ensuite, un ensemble de projets Prosper sont décrits suivant ces deux axes en fonction de leurs objectifs, de leur approche et des types de connaissances, dans les typologies qu'ils considèrent et qui leur sont pertinentes. La synthèse cherchera à classer les connaissances utilisées en fonction des disciplines mobilisées et des objectifs définis.

§.2 Connaissance, connaissances...

Les perspectives offertes à qui veut appréhender la connaissance ou les connaissances propres à une entreprise (ou un système de production) sont nombreuses et ont été largement exposées [Harvard business review 1999 ; Bakema 1999]. Il est cependant utile d'en reprendre quelques grandes lignes ici afin de fixer le cadre et de pouvoir étudier par la suite les positions ou omissions des différents projets par rapport à ces typologies.

Les typologies présentées ci-dessous sont décomposées en grandes catégories (souvent deux) qui semblent s'opposer. Cependant, en réalité, il s'avère que la connaissance manipulée est plutôt répartie suivant un gradient dans un continuum.

Trois points de vue ont été adoptés pour classer les différentes taxonomies identifiées : la nature des connaissances concerne la place de la connaissance par rapport au sujet connaissant ; l'objet de connaissance concerne ce qui est connu (sont factuelles les connaissances sur les faits) ; et la forme de la connaissance concerne la manière dont la connaissance est rendue, stockée ou manipulée par le sujet connaissant (sont procédurales les connaissances exprimées sous forme de procédures).

4 Titre de l'ouvrage

§.2.1 Nature des connaissances

L'un des premiers aspects à considérer est le type d'information manipulé dans le fonctionnement du système de production. On distinguera la nature de la connaissance mais aussi son degré de partage.

Faits, informations, connaissances, compétences

Il est sans doute banal de commencer par distinguer certains termes que la pratique amène à souvent rapprocher. Un *fait* ou *donnée*, de manière générale, permet de caractériser une situation (par exemple, « la couleur du ciel est grise », « la température est de 25°C »). Il ne faut pas prendre ici le mot fait comme établi (ou vrai) ni le mot donnée comme donnée initiale. Ces mots recouvrent plutôt ici des assertions qui peuvent être assorties de modalités (être vraies ou fausses). On peut encore parler d'un descripteur de situation.

Ainsi, un fait peut être plus ou moins révélateur et l'on pourra dire en s'inspirant de Shannon [Shannon 1949] qu'une *information* est un fait réducteur d'incertitude. L'information est aussi parfois décrite comme le fait en contexte (« aujourd'hui le ciel est gris », « il fait 25° dans la cour le 10 juillet ») car c'est en fonction du contexte que le fait acquiert son statut d'information (s'il était déjà connu, il n'est pas une information). Il s'en suit que c'est l'information et non le fait qui est déterminant dans la prise de décision.

Une *connaissance*, selon [Pitrat 1990], est un fait qui ne sert pas à décrire une situation et qui n'est pas non plus inféré par le système (« un ciel gris nous invite à nous munir d'un parapluie », « il fait chaud »). Selon d'autres, une connaissance ne peut être définie qu'en liaison avec un sujet connaissant (qui peut être un système). Dans ce qui suit, la connaissance est un ensemble de ressources immatérielles qui peuvent être mises en œuvre (sous forme de processus cognitifs ou informationnels) pour accomplir un but. Cela rejoint l'acception retenue par Daniel Kayser [1997] où le fait de connaître est lié à celui d'être susceptible d'agir.

La *compétence* est alors la capacité à exploiter/mettre en œuvre une connaissance : cette information est exploitée par quelqu'un pour organiser son action. Le terme de compétence fonctionne encore comme un concept fourre tout [Le Boterf 1994]. Le concept n'est pas vraiment stabilisé et les mélanges entre connaissances déclaratives, procédurales et savoir-faire, entre savoir quoi faire et savoir comment faire restent fréquents.

Il existe cependant de nombreuses études qui portent sur la compétence individuelle (Le Boterf, Zarifian, Levy-Leboyer). De ces travaux nous retenons que la compétence n'existe que dans l'action : « la compétence est l'art de mobiliser des savoirs et des savoir-faire, de mettre en œuvre des capacités dans le contexte de

l'action ». La notion de capacité regroupe les talents, les potentialités de l'individu, par exemple, il sait effectuer des calculs mentalement, il parle anglais, il peut soulever 90kg, il court vite, a une détente verticale de 1 mètre... Pour pouvoir être compétent dans le contexte d'une action, par exemple être un bon joueur de demi de mêlée au rugby, il devra mobiliser ses capacités mais également faire appel à son savoir (les règles du jeu, les tactiques rugbystiques, les capacités de ses partenaires et de ses adversaires, les informations lui permettant de décoder les intentions de ses adversaires...). Ainsi seulement, il sera en mesure d'opérer les choix gagnants pour son équipe : « faut-il effectuer une course ou une passe ? », « faut-il tenter la pénalité ou botter en touche ? », « faut-il orienter le jeu au près ou au large ? ». En d'autres termes, l'individu met en œuvre, à travers son action, aussi bien des connaissances que des attitudes et des stratégies cognitives.

Les compétences mettent donc en œuvre des connaissances d'usage (à opposer aux connaissances techniques) [de Azevedo 1997]. Elles comprennent des connaissances sur les connaissances, correspondant à la façon de se servir des connaissances techniques et des connaissances de tous les jours utiles permettant de mener à bien un projet (il peut s'agir de divers types de métaconnaissance [Pitrat 1990]). Dans un système interactif de connaissances, elles jouent un rôle fondamental. Le projet CACIC a pour objectif de construire un système capitalisant et gérant les connaissances d'usage.

Connaissances individuelles ou collectives

Une distinction importante intervient entre la connaissance que peut avoir un individu et celle que peuvent avoir un groupe d'individus. Nonaka et Takeuchi [1995] ont mis l'accent sur la transmission de la connaissance dans l'entreprise, c'est-à-dire les moyens par lesquels elle est convertie d'explicite en tacite et vice-versa (voir figure 5.1). Ce schéma peut autant être interprété comme concernant l'élaboration de la connaissance par les processus intellectuels d'un individu que d'une société.

La compétence collective ajoute une dimension supplémentaire à la compétence. S'il suffisait à un entraîneur de rugby de disposer de 15 joueurs compétents individuellement sa tâche serait grandement facilitée : il suffirait de choisir le joueur le plus compétent à chaque poste pour disposer de la meilleure équipe possible. Or nous savons que dans le rugby, comme dans les systèmes de production, la compétence collective du groupe n'est généralement pas égale à la somme des compétences des individus qui le composent. Il existe des collectifs performants sans grandes individualités, il existe de grandes individualités qui ne parviennent pas à se constituer en collectif performant.

Sous un angle logique, on distinguera *connaissance commune* (qui est détenue par tous les acteurs) de la *connaissance distribuée* (qui est détenue par au moins un des acteurs) [Fagin et al. 1995]. Il est clair que dans le cadre sociologique, cette

6 Titre de l'ouvrage

distinction est bien trop abrupte et devrait être affinée en fonction des différents sous-groupes parties prenantes dans le système de production.

Il semble clair que le but de la gestion des connaissances est de gérer les connaissances collectives au sein de l'organisation. Mais parfois, il peut s'agir de diffuser et de valoriser la connaissance d'individus particuliers. Ainsi, à côté de la gestion de procédures propres à l'entreprise (POSEIDON, METACOG) d'autres projets s'intéressent à acquérir la connaissance à partir de l'observation du travail d'individus (ARDECO).

\$.2.2 Objets de connaissances

On peut distinguer plusieurs types de connaissances dans un projet d'ingénierie : des connaissances de sens commun (« moins cher c'est, mieux c'est »), le contexte (« je conçois une pièce d'automobile »), les objectifs (« la pièce que je conçois devra s'insérer ici »), les connaissances techniques (« un cercle n'a pas d'arête »), les connaissances stratégiques au sens de la résolution du problème (« comment forer au mieux un alésage »).

On examine ici les différents objets de connaissance que l'on désire manipuler. Il peut s'agir de connaissances générales sur le fonctionnement d'un type de système de production (au sens large), de connaissances spécifiques au système de production installé dans un atelier, de connaissances relatives à un produit particulier réalisé sur le système.

Connaissances techniques ou managériales

Si l'on considère maintenant l'entreprise comme un système de transformation de biens et services en la découpant en activités correspondant à des lignes de produits, on peut distinguer plusieurs niveaux de connaissances : les connaissances locales, les connaissances liées à un produit, les connaissances au niveau de l'entreprise [Barthès 1997].

Les *connaissances locales* sont celles qui sont nécessaires à un individu ou un groupe d'individus de culture homogène pour accomplir une tâche précise. Elles peuvent prendre la forme de procédures pour aider à la conduite ou d'un système expert d'aide au diagnostic. Ce sont les connaissances que mobilise, par exemple, un « ingénieur calculs » confronté à une tâche de simulation lors de la conception d'un produit : elles peuvent être encore divisées en connaissances de nature physique (phénomènes mis en jeu, comportement des matériaux...) et en connaissances de nature contingente aux outils logiciels utilisés. À titre d'exemple, la capitalisation de ce type de connaissances dans une optique de partage et de coopération dans [Troussier 1999] s'est attachée à distinguer ces deux natures de connaissances.

Les *connaissances liées à un produit* sont celles qui concernent ce produit tout au long de sa vie. Elles comprennent tous les documents associés au produit, tous les tours de main qui ont été utilisés pour concevoir, fabriquer, vendre, maintenir et éventuellement recycler le produit, et toutes les informations, souvent non écrites, mais importantes pour le produit (décisions de conception, raisons des modifications, erreurs et échecs...). Ces informations sont nécessaires pour la mise en place par exemple d'une approche de type ingénierie concourante.

Les *connaissances sur l'entreprise* sont celles qui permettent la coordination et la coopération des acteurs de l'organisation. Elles concernent les aspects d'organisation globale des activités et des processus de l'entreprise et sa stratégie. Ce sont plutôt celles utilisées par la direction. Une part importante du projet POSEIDON a porté sur la mise au point de nouveaux processus organisationnels pour la conduite et le suivi des modifications sur produits en production. Les systèmes d'information qui les supportent sont évidemment étroitement dépendants de ces processus. On inclura dans ces dernières les connaissances inter-entreprises qui sont des connaissances organisationnelles, donc partagées, portant sur l'environnement de l'entreprise. Elles permettent à l'entreprise d'évoluer dans cet environnement en complétant les autres types de connaissances. Elles comprennent aussi bien des connaissances tacites (par exemple : les lois du marché, les règles de bonne pratique issues d'un partenariat établi) que des connaissances explicites (par exemple la législation).

Il est important de réaliser que ces différents types de connaissances ne sont pas de même nature et que leur organisation ne fera pas appel aux mêmes méthodes, ni aux mêmes outils.

Connaissances en conception : structure, fonction, comportement

Structure, fonction, comportement, situation de vie, paramètres... Ces notions interviennent très tôt dans les processus de conception, dès la phase de conception fonctionnelle et jusqu'au recyclage du produit ou au démantèlement du système de production. Dans un contexte coopératif, le partage de ces connaissances est un enjeu majeur [Tollenaere 2000].

Selon [Krause 1993], l'assistance informatique de l'activité de conception nécessite de disposer d'un modèle de produit suffisamment riche sémantiquement et de savoir gérer le processus de conception, par définition non algorithmique et non monotone. Plusieurs auteurs dont [Suh 1990 ; Jacquet 1998] ont d'autre part souligné le fait que l'activité de conception nécessite une interaction continue entre des modèles physique, fonctionnel et de processus.

- Le *modèle physique ou structurel* cerne aussi bien les aspects architecturaux du produit (organisation des organes fonctionnels, nomenclature) que les

8 Titre de l'ouvrage

aspects morphologiques (topologie et géométrie) ou matériels (propriétés physico-chimiques).

- Le *modèle fonctionnel* permet de représenter le besoin tel que l'exprime le client du produit, mais aussi l'interprétation qui en est faite lors des phases amont de la conception (conception conceptuelle).
- Les aspects *processus* concernent aussi bien les activités auxquelles participe le produit, notamment la conception (processus d'obtention ou de validation de solutions de conception, processus de calcul...), la réalisation (usinage, assemblage, contrôle), la commercialisation (commande, livraison, mise en service), l'utilisation (modes de marche), de maintenance (démontage, remplacement...), de fin de vie (démantèlement, recyclage...) que le produit lui-même, auquel cas on parlera plutôt de comportement (statique, cinématique, dynamique, fatigue, endommagement, corrosion...). Lorsqu'un processus caractérise une activité et non un comportement, il peut se décomposer récursivement en tâches.

Mais la conception a aussi une dimension économique tout à fait évidente dans le contexte des systèmes de production, qui n'est pas perceptible dans les modèles exposés ci dessus. Pour introduire cette dimension, on peut mentionner le fait que dans l'approche ABC (« Activity Based Costing ») des tâches ou des processus auxquels on associe des ressources (auxquelles un coût de consommation est alors affecté) sont appelées activités [Lorino 1991].

Les connaissances sur les structures, les fonctions et les processus sont donc susceptibles d'accroître la performance des systèmes de production.

§.2.3 *Forme de connaissance*

Enfin, on s'intéresse à la forme que prennent les connaissances non plus en fonction de leur objet mais de leur forme. Deux classifications ont ici retenu notre attention.

Connaissances déclaratives ou procédurales

On distingue communément [Pitrat 1990 ; Winograd 1975] deux types de connaissance:

- *déclarative* qui permet de décrire une situation ou d'établir des faits séparés de leur mode d'emploi (la réponse à la question « quoi ? »),
- *procédurale* qui permet d'énoncer des règles ou les conditions d'exécution d'une tâche (la réponse à la question « comment ? »).

Une même connaissance peut s'énoncer selon une formulation déclarative ou procédurale

- « une voiture a 4 roues et un moteur » est une formulation déclarative,
- « si je suis une voiture alors j'ai 4 roues et un moteur » est une formulation procédurale dérivée de la formulation précédente.

L'important dans cette distinction est que la forme déclarative ne préjuge pas de l'utilisation de la connaissance (elle peut être exploitée de multiples manières) alors que la connaissance procédurale est en quelque sorte figée dans une utilisation particulière. On pourra aussi dire que le sens de la première est donnée de manière *dénotationnelle* alors que celui de la seconde ne l'est que de manière *opérationnelle*. Dans ce second cas, il sera difficile d'établir la correction des processus d'exploitation de la connaissance.

Cette distinction est différente de la distinction chomskienne entre *compétence* (qui permet de reconnaître si quelque chose est vrai ou faux) et *performance* (qui permet de dire ce qui est vrai) même si l'on peut aussi considérer la compétence comme de la performance compilée pour n'être utilisée que d'une seule manière.

Connaissances tacites ou explicites

Selon qu'elles sont explicites ou tacites [Polanyi 1967], les connaissances ne pourront être traitées de la même façon.

Les *connaissances explicites* sont celles qui sont déjà exprimées et intelligibles. Elles comprennent les procédures, les plans, les modes d'emploi, les manuels d'entretien, les manuels de dépannage, les documents technico-commerciaux, les notes techniques, les bases de données, les systèmes experts, les enregistrements audio, vidéo, les photos, les films, etc. On pourrait rajouter à cela les documents commerciaux, financiers, ou comptables. Dans toutes les entreprises dépassant une certaine taille, ces documents sont très volumineux et les connaissances qu'ils contiennent ne sont pas toujours facilement accessibles.

Un des problèmes auxquels se heurtent les entreprises à ce niveau de connaissances est la gestion de l'obsolescence et des versions de l'information dans des organisations aujourd'hui extrêmement changeantes. De plus, dans des organisations à périmètre variable (entreprises étendues), les périmètres de confidentialité de l'information sont difficiles à mettre en place et à maintenir : les données « sensibles », également à plus forte valeur ajoutée, sont donc naturellement mal partagées.

Les *connaissances implicites ou tacites* concernent les savoir faire qui résident dans la tête des employés. Souvent ces connaissances sont essentielles, ne serait-ce

que pour pouvoir utiliser les connaissances explicites (par exemple, savoir où rechercher l'information pertinente dans la documentation). Les connaissances tacites ne sont pas toutes explicitables [Barthès 1997].

Cette perspective est en particulier considérée par Ikujiro Nonaka et Hirotaka Takeushi [1995]. Les savoirs de l'entreprise sont le résultat d'une suite d'opérations qui, partant de la dimension privée et non formalisée des connaissances individuelles, détermine la dimension collective des connaissances de l'entreprise. Sous peine d'être fossilisés et perdre toute valeur d'usage, ces savoirs doivent être revitalisés en permanence. C'est ce processus global qu'il s'agit de renforcer, selon un axe de progrès favorisant la production de connaissances individuelles et leur passage de leur état « non formalisé et privé » à un état « formalisé et disséminé », selon le cycle de conversion de Nonaka et Takeushi (voir figure \$.1). Ce cycle identifie quatre mécanismes de conversion :

- Socialisation (tacite vers tacite),
- Externalisation (tacite vers explicite),
- Combinaison (explicite vers explicite),
- Internalisation (explicite vers tacite).

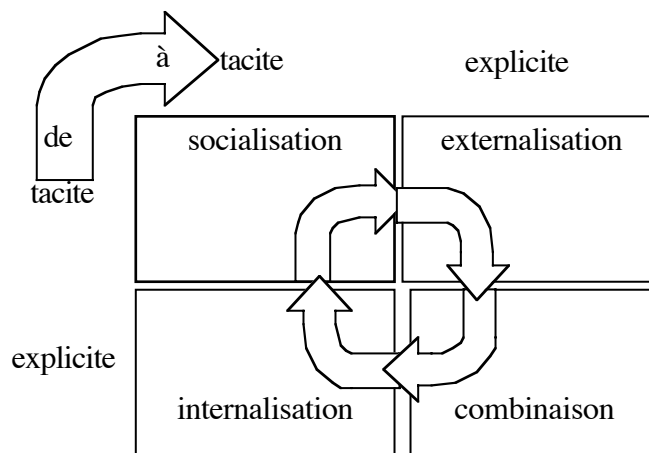


Figure \$.1 : Conversion de la connaissance (d'après [Nonaka et Takeushi 1995]).

\$.3 Première synthèse

Dans la suite, différents projets vont être présentés afin de déterminer les connaissances sur lesquelles ils portent et où ces connaissances peuvent être localisées. Les deux dimensions de variation de ces projets identifiables a priori sont les problèmes qu'ils s'attachent à résoudre et les techniques utilisées pour cela. Le tableau \$.1 reprend ces caractéristiques.

Projet	Disciplines	Problème considéré
ARDECO	Psychologie cognitive	Réutilisation en conception mécanique
ARDECO	Intelligence artificielle	Réutilisation en conception mécanique
CACIC	Intelligence artificielle	Acquisition et réutilisation des connaissances d'usage
METACOG	Modélisation technico-économique des produits et systèmes	Impact d'une innovation sur les coûts et valeurs pour l'ensemble des acteurs et sur la totalité du cycle de vie
POSEIDON	Informatique, Sociologie des organisations	Développement et déploiement de système d'information produit
RESYPROQ	Théorie des organisations	Aide à l'évolution des systèmes de production

Tableau \$.1 : Les différents projets considérés dans l'étude, leur discipline d'attaque et le problème abordé.

On pourrait classer ces projets par discipline ou par leur champ d'action (local, produit, entreprise...). Nous avons choisi de les classer suivant la dichotomie connaissance individuelle/collective parce qu'elle identifie relativement clairement l'objet d'étude dans le cas présent et parce qu'elle est révélatrice d'au moins une division importante dans la localisation des connaissances. D'autre part, lorsque l'on touche à la création des connaissances au sein du système de production il est important de dissocier :

- Les aspect individuels qui conduisent à s'interroger (1) sur la pertinence des modes d'acquisition et de formalisation des connaissances individuelles en vue de leur diffusion et (2) la dimension psychologique des acteurs afin d'assurer l'ergonomie des modèles de connaissance en vue de leur utilisation.
- Les aspects organisationnels qui conduisent à s'interroger (1) sur les conditions d'émergence d'un collectif performant et (2) sur les dispositifs organisationnels facilitant le partage des connaissances techniques.

\$.4 Approche des connaissances individuelles dans le projet Ardeco

12 Titre de l'ouvrage

Le but du projet ARDECO est d'aider l'utilisateur dans la réutilisation en conception mécanique. Le projet s'attache, avec son développeur, à améliorer le système de conception assisté par ordinateur CATIA afin qu'il puisse soutenir cette réutilisation. Il est clair qu'ici, la part importante de la connaissance considérée est détenue par les utilisateurs de CATIA et que le but du système est d'utiliser cette connaissance. Le système devrait permettre ainsi le partage de la connaissance entre plusieurs concepteurs, médiatisé par un outil technique : CATIA. Le projet dispose de deux angles d'attaque avec deux approches complémentaires :

- Instrumenter le système CATIA de telle sorte d'acquérir des traces de son utilisation et à « apprendre » à partir de ces traces. Cette approche s'accommode des principes du raisonnement à partir de cas [Kolodner 1993 ; Aamodt & Plaza 1994 ; Mille 1998] : une fois conservées les traces d'un grand nombre d'actions de l'utilisateur, nous n'allons pas chercher à expliciter dans le système ces connaissances, implicites chez l'utilisateur, mais à reproduire leurs effets. Ainsi, on se rapproche plus de la fonction de socialisation de [Nonaka & Takeushi 1995].
- Extraire les connaissances de l'utilisateur à l'aide des techniques de la psychologie cognitive. Ceci correspond à l'appréhension plus classique d'externalisation des mêmes auteurs.

Les deux approches ont pour but de faire, conjointement, un meilleur système d'aide, la seconde apportant des informations utiles à la première et la première permettant à la seconde d'affiner son modèle.

§.4.1 Aspect instrumentaliste

Une simplification du projet ARDECO, c'est qu'il est relativement lié à un outil de conception qui oblige à expliciter certaines de ces connaissances (en particulier les connaissances techniques). Ainsi, si les connaissances de conception sont bien entendu localisées dans la tête des concepteurs, l'approche instrumentée les appréhende et les restitue au travers de leur utilisation dans l'outil CATIA. Par conséquent, contrairement à de nombreuses techniques classiques de représentation de connaissances, nous pouvons nous appuyer sur la connaissance de l'outil qu'a l'utilisateur et sur sa manière d'employer l'outil.

Il convient toutefois d'identifier, dans les traces d'utilisation, des « unités réutilisables », que nous appelons *épisodes de conception*. La forme des traces d'utilisation devrait donc permettre :

- d'identifier deux instants délimitant un épisode, c'est-à-dire tels que la partie de l'activité de conception qu'ils délimitent soit relativement identifiable. Ce

processus doit faire appel aux connaissances explicitées, autant que possible, par l'utilisateur.

- de comparer des épisodes en vue de la réutilisation, et bien sûr de les réutiliser à proprement parler, dans un contexte plus ou moins différent du contexte d'origine. Ici encore, un minimum de connaissances explicitées par l'utilisateur peuvent être utiles (par exemple, catégoriser la pièce réalisée dans une classe de pièces génériques, afin de ne la comparer qu'avec d'autres pièces comparables).

Deux types d'approches sont possibles pour tracer les actions de l'utilisateur afin d'y délimiter des épisodes : une approche ascendante qui part d'une vue dynamique énumérant toutes les actions élémentaires (de l'utilisateur) et une approche descendante qui part d'une vue statique du résultat de la conception (le produit fini). L'approche ascendante a le mérite d'être proche de ce que l'on peut acquérir comme trace mais pose le problème aigu de la délimitation des épisodes et des objets manipulés. À l'inverse, l'approche descendante part uniquement du résultat de la conception (que l'on peut voir comme une unique opération, d'un très haut niveau d'abstraction) et cherche à le décomposer en opération de niveau d'abstraction plus bas. Cette approche peut être hasardeuse dans le cas général, mais est tout à fait envisageable dans le cas particulier de CATIA : en effet, les objets CATIA ont une structure arborescente (voir figure \$.2) et l'on peut considérer chaque niveau comme un plan, c'est-à-dire une suite d'opérateurs (voir figure \$.3). D'autre part, les utilisateurs connaissent et utilisent cette structure dans leur travail avec CATIA (voir figure \$.2). Ces décompositions ont donc une signification pour l'utilisateur.

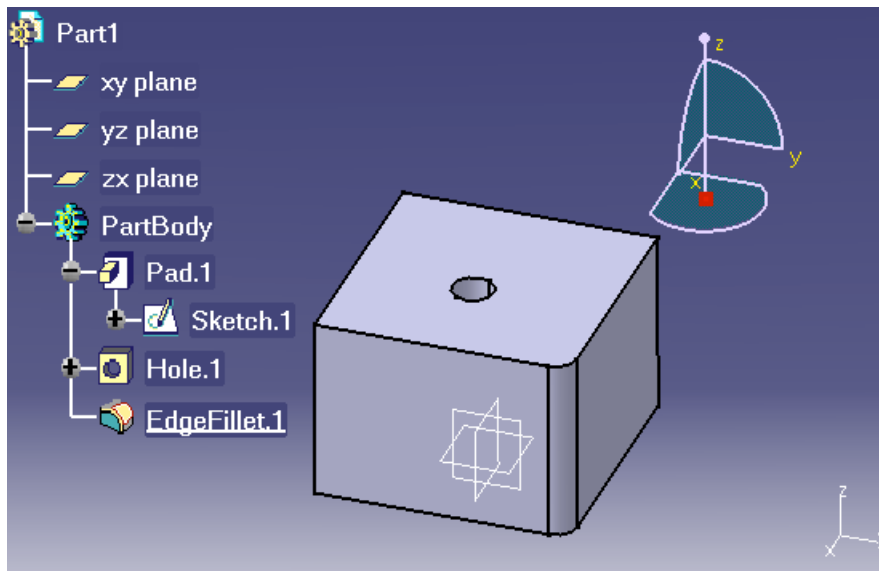


Figure \$.2: Contenu d'une fenêtre CATIA ouverte sur un modèle de type Part. La structure arborescente du modèle est exposée à l'utilisateur. Celui-ci peut également la manipuler, pour modifier la structure de l'arbre en y insérant, déplaçant ou supprimant des opérateurs. Notons qu'un assemblage est également composé de contraintes, non représentées ici.

Dans le cadre d'une capture descendante des épisodes, on peut facilement contrôler la profondeur de la décomposition grâce à cette structure hiérarchique, ainsi que la cohérence entre l'exploration de chaque branche (arrêt au niveau *Product / Part / Body*).

Il faut également noter que tous les niveaux n'ont pas une structure ordonnée comme le niveau *Body*, mais on peut toujours considérer ces niveaux comme des plans dont l'ordre des opérations est indifférent.

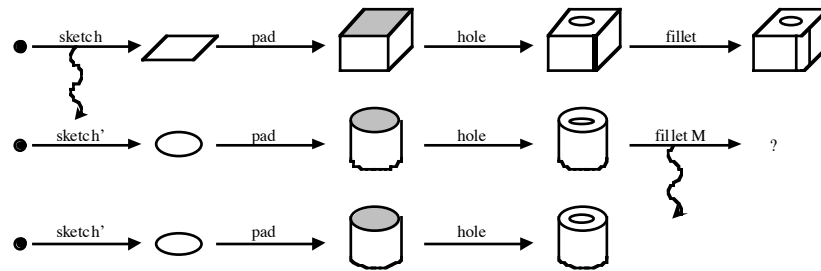


Figure \$.3: Épisode et essais. Cette figure représente un niveau *Body* de la structure hiérarchique. À ce niveau, un corps de pièce est représenté comme une série d'opérateurs CATIA, chacun s'appliquant au résultat du précédent ou à une partie de ce résultat. Bien que cette succession ne respecte pas forcément l'ordre des opérations de l'utilisateur (il a pu supprimer, modifier ou déplacer certains opérateurs), elle représente un épisode minimal.

L'approche descendante paraît plus prometteuse que l'approche ascendante. Cependant elle présente un inconvénient majeur : ne capturant pas l'épisode réel mais un épisode minimal, privé des adaptations successives effectuées par le concepteur, l'approche descendante pure ne nous permet pas de capturer des connaissances d'adaptation, uniquement des connaissances statiques de conception (sous forme de « bons » artefacts de conception). Pour pallier cette lacune, nous proposons une approche mixte, inspirée de l'approche descendante mais utilisant tout de même une vue dynamique de l'activité de conception. Nous supposons que nous disposons non plus d'un seul document CATIA, mais d'une séquence de sauvegardes appelées « essais » (voir figure \$.3). En plus de la séquence d'essais, les épisodes stockeront les différences repérées entre deux essais successifs.

§.4.2 Aspect psychologique

L'intérêt de la psychologie cognitive est de fournir une description et une explication de la manière par laquelle chaque personne acquiert, gère et utilise ses connaissances de manière individuelle. Dans le cadre d'un projet tel que ARDECO, cette perspective permet de fournir un support aux applications destiné aux concepteurs au cours de leur activité quotidienne.

Pour étudier ce problème, deux cadres théoriques sont nécessaires :

- le premier relatif au support des connaissances (la mémoire) ;
- le second relatif à la forme que ces connaissances prennent pour l'individu.

On suppose que plus les outils et les données proposées seront corrélés avec ces deux aspects plus il sera aisé pour l'individu de gérer ses connaissances [Bonnet, Hoc & Tiberghien 1986]. Un système artificiel s'inspirant à la fois de la mémoire humaine et de la structuration des connaissances établit un pont entre la manière de gérer et de traiter les données par un ordinateur et celle de l'utilisateur [Grumbach 1994 ; Le Ny 1991 ; Gordon & Paugam-Moisy 1997]. Ce système deviendra donc capable de traduire et d'interagir efficacement avec l'individu afin de résoudre une même tâche.

Le support des connaissances : la mémoire humaine.

La mémoire, ou l'ensemble des processus qu'elle englobe, est le support principal des connaissances [Schacter & Tulving 1994]. C'est elle, qui permet à l'individu de :

- les acquérir lorsque cela est nécessaire ;
- les stocker sous une forme pertinente [Murdock 1982, 1993] ;
- les récupérer dans un contexte particulier [Murdock 1982, 1993 ; Metcalfe Eich 1982 ; Rugg 1990 ; Rugg & Doyle 1992] ;
- les classer, les organiser et les associer [Shiffrin & Raaijmakers 1984] ;
- les hiérarchiser selon leur importance relative ;
- les oublier lorsqu'elles sont erronées ou lorsqu'elles ne sont pas utiles ;
- les utiliser dans un contexte approprié.

Ces fonctions sont intimement reliées aux données qu'elle doit stocker [Gillund & Shiffrin 1984 ; Tiberghien 1991, 1994, 1997]. Il découle donc que la mise en œuvre de ces processus sont dépendants de l'ensemble des connaissances dans tous leurs aspects : savoir, ignorance et croyance.

On distingue trois formes de mémoires différentes selon les données qu'elles permettent de gérer [Tiberghien 1991, 1994, 1997]. Ces différents types de mémoire

permettent notamment de faire intervenir les connaissances nécessaires à un traitement donné sous la ou les formes les plus appropriées :

- La *mémoire sémantique* relative aux symboles et au sens : Il s'agit d'une mémoire intégrative, c'est-à-dire émergeant de l'association de plusieurs sensations différentes.
- La *mémoire épisodique* relative aux événements datés (donc situés dans le temps) et localisés (situés dans l'espace).
- La *mémoire des actions ou des procédures* qui permet à l'individu d'agir ou de modifier l'état de son environnement.

Si dans leur expression quotidienne ces trois mémoires semblent distinctes, certains résultats de la littérature [Hintzmann 1984, 1986, 1988 ; Landauer & Dumais 1996, 1997 ; Lund & Burgess 1996 ; Lund, Burgess, & Atchley 1995] permettent de penser que les interactions et l'interdépendance de ces trois mémoires, tant dans l'acquisition, que le stockage ou la récupération, sont très fortes. Il semble donc nécessaire, d'adopter une démarche visant à étudier et à définir les relations entre ces trois types de mémoire plutôt que de chercher à les dissocier [Buckner 1996]. Toutefois, ces trois types d'informations existant, il est également nécessaire, dans le cadre d'une application de bien déterminer dans quel contexte ces trois types de mémoire s'expriment afin de fournir, par exemple à un individu, l'information sous la forme la plus adaptée à sa représentation.

Nous pouvons supposer que les variables principales qui définissent les différentes fonctions de la mémoire et que nous pouvons étudier sont :

- Les fonctions d'activation, de désactivation, d'inhibition et de modulation d'activation des unités du réseau ;
- Les différentes natures des données stockées dans les unités ;
- Le nombre, l'orientation et la nature des relations qu'elles entretiennent ;
- Les fonctions d'association et de dissociation de ces relations ;
- L'ordre, la position et le sens d'activation des unités en fonction de ces relations ;
- Le fonctionnement et la coopération des structures qui se définissent en fonction de ces relations ;
- Les fonctions, unités et relations globales qui émergent de l'interaction de ces fonctions, unités et relations locales.

Dans ce cadre, nous étudions l'influence de ces paramètres indirectement par l'observation et l'étude de l'activité des individus confrontés à une tâche donnée.

Structure des connaissances

Tout d'abord on suppose que la structure des connaissances émerge de deux éléments :

- du système mnésique, c'est-à-dire de la mémoire telle qu'elle a été décrite précédemment ;
- du contexte occurrent (la situation à laquelle est confronté l'individu à un instant et un lieu donné).

La trace (ou souvenir) en mémoire laissée par une situation donnée serait alors corrélée avec :

- les connaissances déjà présentes en mémoire lors de cette confrontation ;
- le degré d'activation de ces connaissances (le contenu de la mémoire de travail) ;
- la représentation du contexte, c'est-à-dire les données et les relations entre ces données que l'individu infère automatiquement ;
- le focus d'attention, c'est-à-dire, le degré d'importance des données de la situation dans la représentation de l'individu ;
- le degré de corrélation entre les données du contexte et de la mémoire.

La résolution de problèmes comme interaction mémoire-connaissances-monde

La résolution de problème correspond un enchaînement de buts et de sous-buts permettant d'atteindre un état donné dans le monde, ce monde correspondant autant à l'état du monde extérieur à l'individu qu'à son propre état. Cet enchaînement est construit par le parcours du réseau de connaissance stocké en mémoire.

Ce parcours se construit par l'intermédiaire de l'activation qui se propage par des relations associant les données correspondant au but à atteindre et les données composant les connaissances. Par un processus de diffusion d'activation, les connaissances directement activées vont activer à leur tour les connaissances qui leur sont reliées.

Ce parcours se modifie ensuite en fonction du feed-back des actions sur le monde (modification de l'état du monde) et de la représentation de l'état du monde qui en découle. Ainsi, les données ou les configurations de données perçues associées aux données contenues dans le focus d'attention et différentes de la représentation de l'état du monde prévue activeront à leur tour de nouveaux buts.

Cette vision opportuniste de la résolution de problème nous laisse penser que l'ordre de traitement des tâches en mémoire de travail est également opportuniste. C'est-à-dire, que l'aspect séquentiel, parallèle, continu ou interrompu du traitement de

l'information dépend du contenu de la mémoire de travail et de l'importance relative de ce contenu et donc des événements non prévisibles provenant du monde extérieur.

La trace épisodique gardée en mémoire correspondra donc à l'empreinte laissée par la partie dirigée des processus d'activation, l'inhibition et la désactivation des données ou des configurations de données en mémoire de travail. Cette trace pourra à son tour être activée en tant que telle sous la forme de connaissance épisodique ou en interaction avec d'autres traces sous la forme de connaissance sémantique.

Nous effectuerons une série d'expériences concernant a) le transfert d'un épisode de résolution de problème vers une ou plusieurs résolutions de problème secondaires ; b) le transfert de connaissances sémantiques générales/métiers vers une ou plusieurs résolutions de problème ; c) La sélection d'épisodes ou de connaissances à partir d'un problème donné. Ces expériences permettront de répondre à trois questions différentes :

- Comment caractériser les données (voir les facteurs cités ci-dessus) concernant le produit ou la procédure, extraites de connaissances sémantiques ou épisodiques, pour les récupérer et les réutiliser dans un problème précis ?
- Quelle est la probabilité que ces données soient réutilisées prochainement dans un second problème selon le nombre de données que les deux problèmes partagent ?
- Quelle est la vitesse de récupération de ces données et donc la disponibilité ou la facilité de récupération en fonction d'un contexte spécifique ?

Ces expériences permettront de décrire et classer le contenu d'épisodes de conceptions ou de connaissances (orientées produit ou processus) en fonction de paramètres permettant de les récupérer et de prévoir leur réutilisation en fonction de leur pertinence relative à un contexte spécifique.

Mettre ces résultats en parallèle avec la trace produite par les outils lors de leur utilisation par les concepteurs et identifier dans cette trace les épisodes problématiques devrait permettre de proposer à l'approche instrumentaliste du projet des points d'ancrage des outils d'aides et de proposition de réutilisation.

\$.5 Les connaissances sur l'organisation

Les connaissances sur l'organisation et les connaissances collectives rassemblent la plupart des projets considérés. Les quatre projets suivants concernent l'évolution des compétences des acteurs de l'entreprise, la capitalisation des connaissances de projet, l'évolution des procédures et des outils et la modélisation de l'impact de l'innovation. Ils concernent donc a priori des connaissances très diverses.

§.5.1 RESYPROQ et les compétences collectives

L'objectif du projet RESYPROQ est de concevoir des représentations constituant des supports d'aides à la décision pour les responsables stratégiques soucieux d'orienter l'évolution de leur entreprise. Par évolution du système de production nous entendons notamment l'évolution :

- du portefeuille de produits et de clients,
- des compétences individuelles et collectives,
- de la structure du système de production.

Ici, nous allons concentrer notre attention sur les difficultés posées par le pilotage de l'évolution des compétences au sein du système de production.

C'est en fonction de la compétence collective qu'il faut penser l'évolution des systèmes de production... La thèse évolutionniste affirme à ce propos que c'est la nature même des compétences accumulées au sein de l'entreprise qui détermine les trajectoires dans lesquelles elle peut s'engager : « Bien que les compétences individuelles soient essentielles, leur valeur dépend de leur emploi dans des montages organisationnels particuliers » [Dosi, Teece & Winter 1990]. La question devient alors pour les évolutionnistes de repérer les compétences et les connaissances « secondaires » à travers lesquelles existent des possibilités de développement de compétences spécifiques qui permettent à l'entreprise d'envisager des changements de trajectoire.

Les compétences et l'évolution du système de production

Le transfert des compétences d'un domaine à un autre, s'il est conceptuellement imaginable, pose en pratique des problèmes insoupçonnés parce que les compétences reposent en partie sur des procédures « non codifiées ou non-codifiables », c'est-à-dire des savoir-faire tacites. On peut distinguer deux niveaux dans le transfert : le niveau individuel et le niveau collectif.

Le travail mené par l'équipe RESYPROQ (notamment chez Balzer) a permis d'évaluer les compétences individuelles disponibles au sein de l'organisation, de proposer une méthode susceptible de planifier et d'évaluer leur évolution, ainsi que de déterminer les combinaisons d'acteurs pour réaliser de nouvelles activités. L'hypothèse de base repose sur la corrélation entre activité et compétence comme le souligne P. Lorino [1997].

Décider d'un changement d'activité, c'est programmer une nouvelle combinaison de compétences. On peut prévoir les évolutions souhaitables des compétences individuelles qui permettront d'assurer le nouveau processus. À partir de nouvelles activités prévues, on peut identifier les nouveaux savoir et savoir-faire qui seront

mobilisés dans l'exécution et, par voie de conséquence, on peut par comparaison entre profil de compétences requises et profil de compétences acquises, déterminer les formations et les recrutements à mettre en œuvre pour assurer la gestion préventive et prévisionnelle des emplois et des compétences.

À partir de l'identification des compétences possédées par les individus, il est possible de déterminer les configurations dans lesquelles ils pourront s'inscrire pour assurer un travail exigeant l'intervention de plusieurs acteurs. La question qui reste en suspens est celle de la transférabilité et de la décontextualisation-recontextualisation des connaissances : tel individu était capable de mettre en œuvre ses connaissances dans une situation A (donc être compétent), mais perd ses repères dans une nouvelle situation B. Enfin, une analyse plus personnalisée des compétences individuelles permet d'identifier des savoir-faire individuels qui dépassent le profil de compétences requises. On identifie des savoir-faire et des capacités détenus par des individus, mais non mis en œuvre dans la fonction qu'ils occupent à l'heure actuelle au sein de l'organisation.

Cependant la question de l'évolution des compétences collectives est plus complexe. Par exemple, en principe le laminage de tôle relève de la même logique que l'étalement des pâtes pour la confection des nouilles. Il existe probablement des capacités et des connaissances communes qui doivent être mobilisées dans ces deux métiers. Mais, on comprend aisément que les cultures de références métallurgiques et agro-alimentaires ne sont pas les mêmes et que, par conséquent, un « métallo » ne se prendra pas du jour au lendemain pour un « spaghettiste ». Dans ce cas c'est moins au niveau du geste ou de la procédure que réside la difficulté que dans celui de la représentation collective et de l'identité professionnelle. En effet, la construction des compétences collectives est profondément liée à l'organisation du travail, aux interactions entre les pôles de compétences, aux réseaux de relations et d'informations et aux rituels sociaux, aux représentations identitaires. Une nouvelle combinaison de compétences individuelles n'est pas performante par décret, les nouvelles interactions entre les acteurs doivent retrouver leur cohérence et leur dynamique. Et cette mise en cohérence, lorsqu'elle s'opère, est généralement un phénomène émergent difficilement contrôlable par des prescriptions.

Les facteurs conditionnant les compétences collectives des systèmes de production

Plutôt que ne nous intéresser au contenu spécifique de la compétence collective (de quoi est elle faite ? quand dira-t-on qu'il y a compétence collective ?), dans le cadre de RESYPROQ, nous nous sommes préoccupés des conditions favorables à son émergence. Nous avons pu identifier un certain nombre de facteurs (la liste n'est pas exhaustive) qui agissent sur la performance collective d'un groupe d'individu. Ces facteurs sont complémentaires et leur importance stratégique dépend de la structure de l'organisation [Mintzberg, 1982] dans laquelle évoluent les individus :

Le *leadership*, désigne en quelque sorte la qualité de direction et prend une importance toute particulière dans la construction des compétences collectives des structures entrepreneuriales : « ce dont nous avons tous besoin ici, c'est [...] de direction, de quelqu'un de capable de dire à tout le monde [où] il doit aller » [Mintzberg 1989, pp. 372-373]. L'entrepreneur a dans ce contexte vocation à orienter l'apprentissage des acteurs en cohérence avec sa vision (*leadership visionnaire*). La capacité d'un individu à influencer les autres dépend notamment de son pouvoir de négociation, mais également de la correspondance de son caractère avec ses stratégies comportementales et celles de ses subordonnés. Il n'existe pas de règle prescriptive définissant « un bon leader », en revanche plusieurs types et stratégies de leadership ont été définis dans la littérature, notamment :

- le modèle bidimensionnel du leadership de l'université de l'Ohio qui distingue les comportements de considération, des comportements liés à la structure [Stodgill & Coons 1957];
- la grille de Blake et Mouton [1964] qui distingue les types de leadership en fonction de l'intérêt du leader pour l'élément humain ou pour la production ; ce modèle a été enrichi par Hersey et Blanchard [1988] qui y intègrent la maturité des collaborateurs ;
- les études qui indiquent les variables situationnelles qui influencent le comportement du leader notamment les travaux de House [1977], ceux de Wallace et Szilagyi [1987], le modèle de contingence de Fiedler [1967] ;
- le modèle unidimensionnel du leadership qui définit le style de direction en fonction de la liberté d'action donnée au subordonné [Tannenbaum & Schmitt, 1973];
- le logigramme de Vroom et Yetton [1973] qui proposent une démarche pour définir la stratégie du leader en fonction de la nature de la décision.

Les *standards et normes* désignent les règles portant sur les modalités d'exécution des activités ou les résultats à atteindre. Ces règles ont une importance particulière dans les organisations bureaucratiques : « ce dont nous avons tous besoin ici c'est d'ordre, c'est de règles et de standards pour notre travail afin d'être sûr que toute chose sera faite comme nous l'avons planifié » [Mintzberg 1989, p. 373]. Les standards et les normes ont pour vocation dans ce nouveau contexte de garantir l'efficacité et le contrôle du travail collectif. Les organisations formalisent le comportement des individus pour en réduire la variabilité et en fin de compte pour le prédire et le contrôler. On institue une spécialisation pour permettre la répétition, puis la formalisation pour imposer les procédures efficaces [Bjork 1975]. La formalisation sert aussi de système d'assurance qualité pour garantir les prestations de service aux clients ou pour protéger les ouvriers.

La *compétence individuelle des acteurs*, est le moteur de la compétence collective dans les organisations professionnelles (Universités, Hôpitaux, Cabinets de

consultants) : « laissez-nous tranquilles, nous sommes des professionnels ; laissez nous affûter nos qualifications et les appliquer de façon autonome de sorte que tout aille pour le mieux » [Mintzberg 1989, p. 373]. Les compétences individuelles vont permettre d'agir sur la compétence collective dans la mesure où elle constitue un *support de capitalisation de l'expérience de l'organisation*. Lorsque les modalités d'exécution d'un travail sont complexes et que la nature des problèmes auxquels est confrontée l'entreprise est diversifiée le système de production est conduit à s'appuyer en priorité sur les compétences individuelles de ses membres pour répondre aux attentes de ses clients. Par exemple, la compétence collective d'une entreprise de travaux publics dépend en grande partie des compétences individuelles des artisans qui assurent la diversité des ouvrages nécessaires à la construction d'un bâtiment.

Les liaisons entre les acteurs, le partage d'expériences en situation, le réseau des échanges informels, désignent des mécanismes favorisant la collaboration entre les membres de l'organisation. Ces mécanismes sont particulièrement déterminants dans les structures innovatrices : « ce dont l'organisation a réellement besoin, c'est de changement, d'adaptation, travaillons tous en commun pour innover » [Mintzberg 1989, p. 373]. Une grande partie des apprentissages collectifs consiste, pour un atelier de production, à changer de régulation. Lorsque l'on veut réorganiser un atelier de production, les difficultés viennent moins de leur ignorance que de leur savoir. Il faut faire table rase des idées toutes faites et redéfinir de manière collective, en s'appuyant sur les réseaux d'échanges informels, de nouveaux objectifs, de nouveaux modes de fonctionnement. De telles évolutions conduisent les individus à entrer dans un processus de négociation qui peut très bien se faire par l'engagement dans l'action. Ces forces de collaboration ont pour vocation, dans ce contexte, de dynamiser l'apprentissage en provoquant des *ruptures de trajectoires dans les compétences collectives*.

Nous sommes loin d'avoir recensé l'ensemble des facteurs stratégiques déterminant l'évolution des compétences collectives d'un système de production. Cependant les facteurs que nous avons identifiés éclairent les forces en jeu dans la constitution et le maintien d'un collectif compétent : le leadership a vocation à orienter de manière cohérente les compétences individuelles ; les normes et les standards doivent permettre d'assurer l'efficacité et le contrôle de l'action collective ; les compétences individuelles sont un support performant de capitalisation de l'apprentissage dès que les problèmes traités par le système de production se complexifient ; enfin les mécanismes de collaboration sont les seuls moyens pour le système de production d'envisager des ruptures de trajectoires par la création de compétences collectives nouvelles.

\$.5.2 CACIC et les connaissances d'usage

L'objet de CACIC est la capitalisation des connaissances de projets de recherche et développement à l'aide de systèmes d'agents cognitifs. Un premier objectif est donc de définir une architecture générique d'un système de capitalisation à base d'agents. Un deuxième objectif de CACIC est de tester une méthode de recueil de connaissances à partir d'annotations faites par les utilisateurs du système. CACIC a donc une dimension technologique et une dimension organisationnelle.

Les connaissances dans CACIC ne sont pas les connaissances d'expert directement utilisées pour résoudre les problèmes techniques, mais toutes les connaissances annexes — que l'on peut qualifier de manageriales ou d'usage — nécessaires pour mener à bien le projet. En particulier, on y trouve toutes les informations concernant les comptes-rendus de réunion, les différentes notes de travail, les documents utilisés, les documents extérieurs, le planning, les coûts, etc. L'idée de CACIC est de fournir à chaque membre de l'équipe de projet un « portail » sur le projet, lui permettant de retrouver le plus rapidement possible les informations dont il peut avoir besoin. Par ailleurs, on analysera la possibilité de lui laisser annoter l'information correspondante pour vérifier si ces annotations peuvent constituer une source significative de nouvelles connaissances, c'est-à-dire des connaissances qui pourraient être utiles pour d'autres projets du même type.

\$.5.3 POSEIDON et le partage des connaissances techniques

L'objet du projet POSEIDON est de développer des méthodes pour l'ingénierie des *systèmes d'information produit* (SIP) et leur déploiement dans l'entreprise. Les systèmes d'information produit sont les systèmes d'information dédiés à la gestion des produits aussi bien en phase de conception, que d'industrialisation, de maintenance et de gestion technique : ils structurent le patrimoine informationnel lié aux produits au sein d'une entreprise. Pour ce faire, le projet POSEIDON combine une approche organisationnelle visant à définir la meilleure organisation humaine des processus SIP et des responsabilités et une approche informatique visant à l'usage de *patrons d'objets* adaptés à l'activité d'ingénierie. Ce périmètre permet d'appréhender la palette des connaissances que le projet est amené à manipuler et à côtoyer. Nous chercherons dans la suite à clairement faire la part des connaissances gérées au sein des processus qu'adresse POSEIDON et celles que POSEIDON ne prétend au mieux que structurer.

Le projet collabore au niveau industriel avec plusieurs natures d'acteurs des organisations :

24 Titre de l'ouvrage

- le service central en charge des développements informatiques (demandeur initial de l'action de recherche),
- les acteurs d'une division d'activités (ligne de produits) au niveau conception bureau d'études, gestion technique (en charge des produits en production) et enfin sites de production (l'ensemble de ces acteurs est au minimum concerné par une évolution sur les produits existants). Ces acteurs sont coordonnés au niveau décisionnel par un *chef de projet utilisateur*.
- les acteurs d'autres divisions d'activités à même d'uniformiser leurs outils et leurs processus avec ceux des projets en cours.

Trois structures de connaissance sont principalement étudiées et prises en compte dans le projet :

La documentation technique des produits. Le projet aborde l'organisation de l'information qui supporte les produits de l'entreprise. Cette information est extrêmement abondante et diverse : sous forme documentaire tels que nomenclatures de produits, plans, maquette numérique 3D, fichiers de simulation, logiciels de pilotage, documents de spécification, d'industrialisation, de tests, de maintenance... et sous forme de base de données locales encapsulées dans des outils divers (gestion de composants, gestion des modifications par exemple). Ces bases documentaires renferment évidemment un précieux savoir faire de l'entreprise. La maintenance de cohérence de ces bases d'information lors d'évolutions est une tâche complexe, hautement collaborative, organisée en processus (de correction, de demande de modification, d'ordre de modification...) et largement supportée par la mise en place d'un système d'information adapté. En effet, un tel système permet d'offrir des fonctionnalités essentielles lors des évolutions telles que la recherche des cas d'emploi, les notifications, les liens de représentation... permettant une réelle étude des impacts.

Le dispositif organisationnel. Le projet POSEIDON étudie les logiques qui conduisent à la mise en place de dispositifs organisationnels particuliers pour la gestion et le pilotage des nombreuses propositions d'évolution que subit une ligne de produits. Ce dispositif comporte un filtrage avant « *prise en compte* » de la demande d'évolution, un comité choisit alors parmi les demandes d'évolution celles qui feront l'objet d'une *décision d'étude* qui nécessite la désignation d'un trinôme d'acteurs qui exécuteront ces études de faisabilité en se coordonnant de façon externe au système. Si l'étude est concluante, la mise en application de la modification requiert un planning, un rapport de faisabilité, un rapport de qualification et parfois des essais. La décision de *réaliser la modification* appartient au comité.

La documentation support au développement des applications logiciels. Le projet aborde l'organisation des processus de développement de systèmes de gestion de documentation technique. Cette organisation s'appuie sur un ensemble de documents

élaborés lors des phases d'analyse, de conception, de développement et de maintenance. Nous avons intentionnellement basé le formalisme de ces documents sur UML ("Unified Modelling Language") en encourageant une démarche basée sur la réutilisation et la spécification par écart par rapport à des ressources disponibles.

Cette documentation est organisée sous forme de « patrons » et décrit donc une connaissance générique du domaine des SIP avant d'évoluer vers la prise en compte des spécificités organisationnelles et techniques des projets en cours. À titre d'exemples, la gestion des composants de type mécanique est radicalement différente de celle des composants électroniques. À ce stade est alors élaboré un dossier qui permet d'assurer le continuum analyse — conception — développement. Sur ces plans, notre approche privilégie des concepts de réutilisation.

\$.5.4 METACOG et la gestion préventive de l'innovation

L'objectif général du projet METACOG est de contribuer à l'élaboration d'une méthode de caractérisation des impacts que peut avoir une décision prise en conception, lors de l'introduction d'une innovation, sur les coûts associés aux processus de conception, fabrication, d'usage et de démantèlement, corrélativement à la valeur perçue par chacun des acteurs du cycle de vie du produit.

Il est important de remarquer d'emblée que nous ne prenons pas en compte le processus d'invention, qui est au périmètre d'analyse projet, mais que notre intérêt concerne plutôt le processus d'intégration des inventions dans le produit qui peuvent apporter de nouveaux services à un ou plusieurs acteurs du cycle de vie. Cette hypothèse nous permet de considérer le processus d'innovation comme un processus de conception non routinière, c'est-à-dire par définition incertain. Le problème central auquel s'attache le projet METACOG n'est pas non plus de se substituer aux décideurs (aval), ni de suggérer de nouvelles alternatives d'innovations (amont), mais d'instrumenter le système support de la conception de manière à offrir, à différents niveaux ou instants de décisions clés, des indicateurs pertinents pour l'analyse des impacts globaux de décisions potentielles, sur le coût et sur la valeur.

Le système support de la conception et de l'instrumentation coût valeur que nous cherchons à formaliser, se compose principalement :

- d'un modèle de produit multi-niveaux (du besoin à la technologie) distinguant une situation actuelle de référence et différentes alternatives de conception, afin de permettre une analyse comparative,
- d'un modèle des différents processus mis en œuvre au cours du cycle de vie et cohérent avec le plan de l'entreprise et permettant l'évaluation coûts-valeurs aux moments clés.

- d'un réseau de relations devant être caractérisées pour chaque hypothèse d'innovation, entre les décisions de conception, explicitées dans le modèle produit, et les activités génératrices de coût et de valeur, explicitées dans le modèle de processus.

L'objectif de ces modèles est de réduire les risques de mauvaises décisions, en fournissant une vision plus proche de la réalité des impacts de l'innovation considérée sur les produits et processus pendant tout leur cycle de vie (impact sur le coût de développement produit /processus, impact sur le coût de production, valeur ajoutée pour le client, nouveaux services pouvant être valorisés en après vente, risques après vente, coût de recyclage...).

Dans la section suivante, nous commençons par introduire les éléments de connaissance issus de notre analyse de terrain chez le partenaire industriel, avant d'aborder la question de leur localisation.

Quelles connaissances

Le scénario nominal (AS-IS). L'innovation désigne la différence de prestation entre une situation ou un scénario de référence (par exemple, au niveau macroscopique : le véhicule le plus convoité du segment de marché) et la situation ou le scénario dont on envisage la sortie sur le marché, et qui fait l'objet de la conception. Le scénario de référence est appelée l'AS-IS. Il s'agit d'une donnée.

Le marché structurel et la stratégie d'entreprise. L'automobile obéit aux lois du marché, qui ont une composante structurelle (pouvoir d'achat des ménages, besoin en déplacement, infrastructure routière...) et une composante conjoncturelle (fluctuation de la bourse, fiscalité sur les carburants, effet des médias sur l'opinion publique...). Ces deux aspects, dans la mesure où ils préexistent au projet véhicule, présentent une certaine stabilité et sont externes au cadre de METACOG, peuvent être considérés comme des faits constants.

Le scénario innovant (TO-BE). Tout scénario innovant candidat est appelé TO-BE. Contrairement au AS-IS, le TO-BE est constaté par le système d'instrumentation de METACOG, à chaque incrément positif ou négatif de la conception (selon les hypothèses et les revers du projet véhiculé). Il s'agit d'une information.

La tactique et le marché conjoncturel. La stratégie d'entreprise se manifeste surtout par les décisions qui ponctuent le calendrier des sphères dirigeantes. Chaque décision, qui caractérise la tactique de l'entreprise, comporte potentiellement des faits nouveaux susceptibles de bouleverser le poids et la nature des paramètres influents sur les décisions (fermeture d'un site, nouvelle alliance ou fusion, qualification d'un nouveau fournisseur optima...). De même, les caprices du marché peuvent modifier

profondément la valeur d'un TO-BE (apparition d'un modèle concurrent révolutionnaire, identification d'un nouveau besoin...).

Le coût. Notre intérêt pour les coûts en conception repose sur l'hypothèse généralement admise que, bien que les coûts dépensés pendant cette phase soient relativement faibles, c'est durant celle-ci que les coûts futurs sont, pour une très large part, déterminés et engagés. Pour de nombreux auteurs, l'approche basée sur les activités constitue la démarche d'estimation des coûts la mieux adaptée pour rendre compte de l'impact réel de la complexité (richesse organique et fonctionnelle du produit) sur les coûts futurs, notamment sur les coûts indirects de support. C'est dans le respect de cette considération qu'a d'emblée été abordé le projet METACOG. Le coût estimé, dans ce projet, est perçu comme une information fondamentale dans l'instrumentation du système de conception.

La valeur. L'estimation du coût n'est pas suffisante, car la minimisation de celui-ci, si elle est bien sûr constamment recherchée, n'a de sens que pour une prestation donnée. La mesure, par celui qui la reçoit, de la prestation offerte, est communément appelée valeur. Mais dans METACOG, la valeur perçue par d'autres acteurs que l'utilisateur (concepteur, fournisseur, co-traitant, assureur, pouvoirs publics...) a également son importance. La valeur, dans METACOG est considérée comme une information dont l'origine, externe au cadre du projet, n'est pas précisée. La genèse des critères de valeur, comme le processus de quantification d'un scénario de conception sur une échelle de valeur, sont laissés au soin des experts, qui au demeurant existent chez l'industriel.

La constellation d'acteurs. La construction des coûts et des valeurs perçus implique plusieurs acteurs décideurs et /ou usagers, qui doivent être identifiés a priori, pour pouvoir estimer l'effet probable d'une décision prise en phase de conception. Les acteurs concernés par une modification du modèle produit redevable à l'introduction d'une innovation sont implicitement organisés au sein d'une constellation autour du constructeur, sur une orbite plus ou moins éloignée selon l'intensité des conséquences de l'innovation sur l'activité de cet acteur. Sur la base de ce cadre d'analyse, qui constitue une connaissance réutilisable il faut déterminer au moment opportun et au sein de la constellation d'acteurs, ceux qui sont affectés par l'innovation étudiée. La constellation d'acteurs est une connaissance explicite à un niveau de granularité macroscopique, mais tacite au niveau des relations interindividuelles.

Le cycle de vie. Dans le cas de l'automobile, l'horizon du cycle de vie est d'environ 17 ans. On mesure alors la difficulté de toute tentative d'estimation dans un environnement social, économique et technologique très changeant. La connaissance du cycle de vie est liée d'une part à la connaissance du produit dont les vertus sont représentées dans le modèle produit (aspects fonctionnels, structurels,

comportementaux) et d'autre part à la connaissance du processus opératoire auquel est destiné le véhicule (l'enchaînement des activités qui le font naître, vivre puis disparaître), qui peut être considéré comme relativement stable et prévisible. Il s'agit de connaissances explicites.

Les impacts. Sur la base de ce cadre d'analyse, il faut donc déterminer, au sein de la constellation d'acteurs, ceux qui sont particulièrement affectés par l'innovation. Pour produire une évaluation, dans ce cadre diffus, il est nécessaire de borner le périmètre. Ceci nous a amené à définir la notion d'impacts, et à tenter d'identifier les impacts génériques. Notre hypothèse est que ces impacts multiples sont déterminés par un certain nombre de règles génériques corrélées à des caractéristiques de l'innovation considérée (innovation organisationnelle, technologique, technique, métier ou transversale, produit ou procédé, d'attaque ou de défense, en rupture ou incrémentale...) qui peuvent être identifiées a priori, pour permettre ultérieurement des simulations utiles à la prise de décision. Les impacts sont des connaissances implicites, pour lesquels nous recherchons actuellement des critères génériques d'appréciation.

Localisation

Les deux concepts fondamentaux qui dirigent le projet METACOG, auxquels nous nous intéressons très en amont de la conception, ne seront rendus explicites que lors de l'extinction du produit. Ce n'est qu'à ce moment ultime que l'on pourra juger sur tout le cycle de vie, et acteur par acteur, ce qu'il a coûté (en termes monétaires) et rapporté (en également monétaires, mais aussi en termes de services rendus, d'activité valorisée, d'estime...) à chacun. C'est pourquoi la question de la localisation des connaissances tacites et collectives revêt une importance majeure dans ce projet.

La valeur est un concept partagé entre tous les acteurs. Il nous est facile de nous représenter la valeur pour le client ou pour l'utilisateur d'un véhicule, car notre propre vécu nous amène pour la plupart à incarner ces acteurs dans la réalité. Mais le consortium industriel qui produit collectivement le véhicule a bien d'autres moyens de caractériser la valeur du même véhicule (valeur d'estime ou fierté, d'autant plus grande que le véhicule est innovant, valeur nourricière induite par le volume d'emploi suscité par le projet, valeur cognitive par le volume d'expérience nouvelle capitalisée grâce au projet...). La notion de valeur est donc manifestement partagée par l'ensemble des acteurs et l'estimation qui en est faite, pour être significative, doit tenir compte de ce partage. L'interdépendance des caractéristiques est flagrante si l'on considère le fait que l'estimation que chaque acteur fait de la valeur pour les autres acteurs est susceptible de modifier sa propre perception de la valeur.

Au niveau de la localisation des informations de coût, les approches de coûts cibles actuellement en vogue demeurent dans la plupart des cas bornées à l'analyse des coûts futurs pour les producteurs. Notre hypothèse est que cette relation doit être

étendue aux coûts d'utilisation et aux coûts de recyclage permettant ainsi d'aborder le coût global du cycle de vie. Pour les coûts comme pour la valeur, il est donc nécessaire de prendre en compte l'ensemble des acteurs pour avoir une représentation réaliste du coût.

§.6 Synthèse et conclusion

Comme on peut le voir dans les projets présentés ci-dessus la gestion des connaissances (et ceci n'est sans doute pas spécifique aux systèmes de production) est une activité si totalisante qu'elle ne se laisse pas enfermer dans une catégorie particulière.

Le tableau \$.2 fait la synthèse des types de connaissance manipulés par les différents projets examinés. On peut y observer une différence importante de projet à projet. Il serait instructif de croiser les tableaux \$.1 et \$.2 (mais les techniques d'analyse dimensionnelles sont peu adéquates en raison de l'absence d'ordre sur les dimensions).

Projet	D o n	In fo	C o n n	C o m p	In di v	C o l	S t r u c t	F o m p	C o m p	L o c a l e	P r o d	E n t r	E x p	U s a g e	T a c	E x p l	D e c l	P r o c
ARDECO	U		A	A	U	A	X	A		X	/		X		X			X
ARDECO	U		A	A	X		/	/	/	X			X		U	A		X
CACIC					U	A												
METACOG	U	U	U			X	X		X		X	X				U	X	X
POSEIDON					/	X		X	X		X	X	X	X		X		
RESYPROQ				X	/	X						X	X		X	X		

Tableau \$.2 : Croisement des projets avec les types de connaissances (U=utilisées, A=acquises, X=tout).

On retrouve certaines associations traditionnelles entre certaines disciplines et certains types de connaissance (par exemple, une association entre sociologie et collectif et entre psychologie et individuel). Le biais disciplinaire existe donc mais n'explique pas tout. On peut ajouter quelques commentaires à ce tableau :

- Le projet ARDECO est abordé sous deux angles différents et l'on peut voir qu'il accorde son attention à des connaissances de même nature et ayant même objet. Par contre la forme de cette connaissance pourra être postulée de manière différente ;

30 Titre de l'ouvrage

- Les projets ARDECO et CACIC abordent deux applications différentes avec le même point de vue de l'intelligence artificielle. On peut alors remarquer que cette approche de l'intelligence artificielle (que l'on qualifie de symbolique) semble orienter le travail vers l'explicitation (du tacite vers l'explicite) des connaissances.
- Le projet POSEIDON aborde deux problèmes distincts : la gestion des connaissances d'utilisation d'un produit informatique et celle des connaissances de développement de ce produit. Cela fausse un peu la synthèse.

Savoir si cette disparité provient de l'application ou de l'angle sous lequel cette application est abordé est une question difficile qui ne peut être tranchée en l'état. Pour hasarder un diagnostic, il semble que la nature et la localisation des connaissances soit plus dépendante des applications manipulées que des disciplines (sachant que certaines approches sont tout de même mieux adaptées à certains types de problèmes).

D'autre part, s'il existait une classification de la connaissance apte à mieux discriminer les différents projets présentés ici, c'est plutôt l'axe connaissance locale/produit/entreprise.

Nous n'avons décrit qu'une première tentative d'analyser la nature des connaissances mise en jeu dans les systèmes de production sous les angles croisés des disciplines mobilisées et des objectifs considérés. Obtenir des résultats plus indiscutables nécessiterait une étude beaucoup plus fouillée (sans parler de compléter la matrice des disciplines et des applications).

Remerciements

Les projets présentés ci-dessus ont été partiellement financés par le programme Prosper du CNRS. Les auteurs tiennent à remercier leurs collaborateurs dans ces projets qui ont pris une part importante aux travaux décrits ici. On remerciera particulièrement Pierre-Antoine Champin, Michel Soontag et Jean-Pierre Vaudelin.

Références

- Aamodt A., Plaza E., Case-Based Reasoning: Foundational Issues, Methodological Variations, and System Approaches, *AICommunication* 7(1):39-59, 1994
- Adam R., Knowledge aided design and engineering solutions, Séminaire MICADO sur la CFAO et l'ingénierie de la connaissance, ENSAM Paris (FR), 1998

- Bakema F., A review of Literature on Knowledge Management, Proceedings of ISMICK'99. IIIA, Compiègne (FR), 1999
- Barthès J.-P., Capitalisation des connaissances et intelligence artificielle, Journées Franco-finlandaises, Tampere (FI), 1997
- Baudet, S. (1990). Représentation d'état, d'événement et d'action. In J. F. François & G. Denhière (Eds.), *Cognition et Langage* (pp. 45-64). Langages, 100.
- Bjork L.E., An experiment in Work Satisfaction, *Scientific American*, March 1975
- Blake R.R., Mouton, J.S., *The Managerial Grid*, Gulf Publishing Co., Houston (TX US), 1964
- Bonnet C., Hoc J.-M., Tiberghien G., *Psychologie, intelligence artificielle et automatique*, Pierre Mardaga, Bruxelles (BE), 1986
- Buckner R.L., Beyond HERA: contributions of specific prefrontals brain areas to long term memory retrieval, *Psychonomic Bulletin & Review* 3:149-158, 1996
- de Azevedo H., Contribution à la modélisation des connaissances à l'aide des systèmes multi-agents, Thèse d'informatique, Université de technologie de Compiègne, Compiègne (FR), 1997
- Dosi G., Teece D.J., Winter S., Les frontières des entreprises, *Revue d'Economie Industrielle* 1er trimestre 1990
- Ermine J.-L., *Les systèmes de connaissances*, Hermès, Paris (FR), 1996
- Fagin R., Halpern J., Moses Y., Vardi M., *Reasoning about knowledge*, The MIT press, Cambridge (MA US), 1995
- Fiedler F.E., dans White D.D., Bednar D.A. (éds.), *Organizational Behavior, Understanding Managing People at Work*, Allyn and Bacon, 1967
- Gillund G., Shiffrin R., A retrieval model for both recognition and recall, *Psychological Review* 91(1):1-67, 1984
- Gordon M., Paugam-Moisy H. (éds.), *Sciences cognitives, diversité des approches*. Hermès, Paris (FR), 1997
- Graesser A.C., Clark, L.F., Structure and procedures of implicit knowledge, dans Freedle R.O. (éd.), *Advances in discourse processes*, Ablex, Norwood (NJ US), pp. 47-81, 1985
- Grumbach A., *Cognition artificielle : du réflexe à la réflexion*, Addison-Wesley, Paris (FR), 1994
- Harvard Business Review, *Le Knowledge Management*, Éditions d'organisation, Paris (FR), 1999
- Hersey P., Blanchard K.H., dans Schermerhorn J.G., Hunt J.G., Osborn R.N. (éds.), *Managing Organizational Behavior*, John Wiley & Sons, New-York (NY US), 1988
- Hintzman D.L., MINERVA 2: A simulation model of human memory, *Behavioral Research Methods, Instruments & Computers* 16(2):96-101, 1984

32 Titre de l'ouvrage

Hintzman D.L., "Schema abstraction" in a multiple trace memory model, *Psychological Review* 93:411-428, 1986

Hintzman D.L., Judgements of frequency and recognition memory in a multiple-trace memory model, *Psychological Review* 95(4):528-551, 1988

House R.J., A theory of Charismatic Leadership, dans Hunt J.G., Larson L.L. (éds.), *Leadership: The cutting Edge*, Southern Illinois Press, Carbondale (IL US), 1977

Jacquet L., Contribution à l'élaboration d'une démarche de spécification fonctionnelle, Thèse, Université de Valenciennes, Valenciennes (FR), 1998

Kayser D., *La représentation des connaissances*, Hermès, Paris (FR), 1997

Kolodner J., *Case-based reasoning*, Morgan Kaufman, San Mateo (CA US), 1993

Krause F. L., Kimura F., Kjellberg T., Lu S., Product Modelling, *Annales du CIRP* 42(2), 1993

Landauer T.K., Dumais S., How come you know so much? From practical problem to theory, dans Hermann D., Hertzog C., McEvoy C., Hertel P., Johnson M. (éds.), *Basic and applied memory: Memory in context*, Lawrence Erlbaum, Hillsdale (NJ US), pp. 105-126, 1996

Landauer T.K., Dumais S., A solution to Plato's Problem: The latent semantic analysis theory of acquisition, induction, and representation of knowledge, *Psychological Review* 104(2):211-240, 1997

Le Boterf G., *De la compétence, essai sur un attracteur étrange*, Éditions d'organisation, Paris (FR), 1994

Le Ny J.-F., *Intelligence naturelle et intelligence artificielle*, PUF, Paris (FR), 1991

Liebowitz J., *Knowledge Management Handbook*, CRC Press, Boca Raton (FL US), 1999

Lorino P., *Méthodes et Pratiques de la performance : le guide du pilotage*, Éditions d'organisation, Paris (FR), 1997

Lorino P., *Le contrôle de gestion stratégique : la gestion par les activités*, Dunod, Paris (FR), 1991.

Lund K., Burgess C., Producing high-dimensional semantic spaces from lexical co-occurrence, *Behavioral Research Methods, Instruments & Computers* 28(2):203-208, 1996

Lund K., Burgess C., Atchley, R.A., Semantic and associative priming in high-dimensional semantic space, *Proceedings of the Cognitive Science Society*, Lawrence Erlbaum, Hillsdale (NJ US), pp. 660-665, 1995

Metcalf Eich J., A Composite Holographic Associative Recall Model, *Psychological Review* 89(6):627-661, 1982

Mille A., *Associer expertise et expérience pour assister les tâches de l'utilisateur Mémoire d'Habilitation à diriger des recherches*, Université Claude Bernard, Lyon (FR), 1998

- Mintzberg H., *Structure et Dynamique des Organisations*, Éditions d'organisation, Paris (FR), 1982
- Mintzberg H., *Le management : Voyage au centre des organisations*, Éditions d'organisation, Paris (FR), 1989
- Murdock B.B., A theory for the storage and retrieval of item and associative information, *Psychological Review* 89(6):609-626, 1982
- Murdock B.B., TODAM 2: A model for the storage and retrieval of item, associative, and serial-order information, *Psychological Review* 100(2):183-203, 1993
- Nonaka I., Takeuchi H., *The knowledge creating company*, Oxford university press, Oxford (UK) (tr. fr. *La connaissance créatrice : La dynamique de l'entreprise apprenante*, de Boeck Université, Bruxelles (BE), 1997), 1995
- Pitrat J., *Métacognition : futur de l'intelligence artificielle*, Hermès, Paris (FR), 1990
- Polanyi M., *The tacit dimension*, Garden city (NY US), 1967
- Pomian J., *La mémoire d'entreprise*, Sapia, Ivry-sur-Seine (FR), 1996
- Rugg M. D., Event-related brain potentials dissociate repetition effects of high- and low-frequency words, *Memory and Cognition* 18:367-379, 1990
- Rugg M. D., Doyle M. C., Event-Related potentials and recognition memory for low-frequency and high-frequency words, *Journal of Cognitive Neuroscience* 4:69-79, 1992
- Schacter D.L., Tulving, E., What are the memory systems of 1994? Dans Schacter D.L., Tulving E.T. (éds.), *Memory systems*, The MIT Press, Cambridge (MA US), pp. 11-37, 1994
- Shannon C. et al. (traduction de 1975), *Théorie mathématique de la communication*, Retz-CEPL, Paris (FR), 1949
- Shiffrin R., Raaijmakers J., The SAM Retrieval model: A retrospective and prospective. dans Healy A.F., Kosslyn S.M., Shiffrin R.M. (éds.), *From learning processes to cognitive processes*, Lawrence Erlbaum, Hillsdale (NJ US), pp. 69-86, 1984
- Stogdill R., Coons, A. E., *Leader Behavior : its Description and Measurement*, Ohio State University, Columbus (OH US), 1957
- Suh N. P., *The principles of design*, Oxford University Press, Oxford (UK), 1990.
- Tannenbaum R., Schmidt, How to choose a Leadership Pattern, *Harvard Business Review*, 1973
- Tiberghien G., Psychologie de la mémoire humaine, dans Van Der Linden M., Bruyer R. (éds.), *Neuropsychologie de la mémoire humaine*, Presses Universitaires de Grenoble, Grenoble (FR), pp. 9-37, 1991
- Tiberghien G., Psychologie cognitive de la mémoire humaine, dans Seron X., Jeannerod M. (éds.), *Neuropsychologie humaine*, Pierre Mardaga, Liège (BE), pp. 225-281, 1994

34 Titre de l'ouvrage

Tiberghien G., La mémoire humaine : connaître ou se souvenir, dans Gordon M.B., Paugam-Moisy H. (éds.), Sciences cognitives: diversité des approches, Hermès, Paris (FR), pp. 139-152, 1997

Tollenaere M., Menand S., Canella C., Collaborative knowledge supported functional design: a case study in automotive industry, Proceedings COOP2000, Sophia-Antipolis (FR), 2000

Troussier N., Pourroy F., Tollenaere M., Trebucq B., Information Structuring for Use and Reuse of Mechanical Analysis Models in Engineering Design, *Journal of Intelligent Manufacturing* 10(1):61-72, 1999

Vroom V.H., Yetton P.W., Leadership and Decision Making, University of Pittsburg Press, Pittsburg (PA US), 1973

Wallace M., Szilagyi A.D. Jr, Organizational Behavior and Performance (4e éd), Scott Foresman and Company, Glenview (IL US), 1987

Wiig K., Roles of knowledge-based systems in support of knowledge management, dans Liebowitz J., Wilcox L. (éds.), Knowledge management and its integrative elements, CRC press, Boca Raton (FL US), pp69-87, 1997

Wiig K., Knowledge management: the central management focus for intelligent-acting organizations, Schema press, Arlington (TX US), 1994

Winograd T., Frame representation and the declarative/procedural controversy, dans Bobrow D., Collins A. (éds.), Representation and understanding: studies in cognitive science, Academic Press, New-York (NY US), pp185-210, 1975