

## **GESTION DES CONNAISSANCES EN GENIE DE PRECONTRAINTE : ELABORATION D'UNE MEMOIRE METIER DEDIEE AUX PROCEDES DE TRAITEMENT DE SURFACE**

Baiqing Wang, Benoît Eynard, Lionel Roucoules et Philippe Belloy \*

---

Résumé. - Dans un contexte d'ingénierie intégrée, l'enjeu principal est de fournir aux acteurs de la conception des informations entre autres sur les technologies et les procédés de fabrication disponibles dans l'entreprise pour qu'ils puissent les prendre en compte le plus tôt possible dans le processus d'ingénierie. Cet article a pour objet de contribuer à l'élaboration d'une réponse à cet enjeu. Dans le domaine de la fabrication mécanique, nous nous intéressons à la construction d'une mémoire métier, pour rendre disponible les connaissances associées aux procédés de traitement de surface et plus particulièrement celles relatives au grenailage de précontrainte. Après avoir mis en lumière quelques éléments fondamentaux conduisant à poser la problématique de capitalisation des connaissances, nous proposons une classification des connaissances du grenailage de façon à les modéliser et les structurer. Pour expliciter notre approche de construction de mémoire métier et son application au domaine du grenailage : nous avons identifié et structuré les concepts principaux qui caractérisent ce traitement de surface et nous avons développé une maquette informatique.

Mots-clés : gestion des connaissances, mémoire métier, procédés de fabrication, grenailage de précontrainte

### **1. Introduction**

Dans une logique d'ingénierie intégrée (Sohlenius, 1992), il est nécessaire de fournir aux acteurs de la conception des informations entre autres sur les technologies et les procédés de fabrication disponibles dans l'entreprise pour qu'ils puissent les prendre en compte au plus tôt

---

\* LASMIS, Université de Technologie de Troyes, BP 2060, 10010 Troyes Cedex.

dans le processus d'ingénierie. Afin de pouvoir capitaliser les savoir-faire technologiques dans le domaine de la fabrication mécanique, nous nous intéressons à la construction d'une mémoire métier, pour rendre disponible les connaissances associées aux procédés de traitement de surface en génie de précontrainte. L'objectif de notre travail est de répertorier les méthodes et outils de gestion des connaissances afin de proposer une architecture susceptible d'assurer l'identification, la modélisation et la structuration des informations recueillies auprès d'experts et de spécialistes métier. Une autre orientation de nos travaux porte sur l'étude, le mode de restitution et de réutilisation des connaissances capitalisées par les acteurs de la conception.

## 2. Gestion des connaissances

Pour bien positionner notre travail, nous proposons un état de l'art relatif à notre thème de recherche. (Dieng et al., 2000) considèrent que la mémoire métier explicite les référentiels, documents, outils et méthodes employés dans les activités d'un métier donné. Cet article porte sur la construction d'une mémoire métier dédié aux procédés de traitements de surface et plus particulièrement au grenailage. Ainsi les ingénieurs pourraient prendre en compte les caractéristiques de ce traitement au plus tôt. Afin de capitaliser les connaissances relatives à notre domaine d'étude, nous nous sommes naturellement intéressés aux méthodes de gestion des connaissances.

Dans notre société de l'information et de la communication, les connaissances constituent le plus important facteur de succès à long terme pour les individus et les organisations. Les connaissances pourraient bientôt être la seule source de différenciation dans la compétition entre les entreprises. Le capital de connaissances de celles-ci réside en différents lieux (les bases de données, les bases de connaissances, les classeurs et le savoir des individus) et est généralement distribué dans toute l'entreprise. Trop souvent, un service d'une organisation refait le travail d'un autre service car il est impossible d'être au courant et d'utiliser des connaissances acquises par la première. Ceci soulève les problématiques de comment mémoriser et relier les informations de façon à ce qu'elles deviennent des capitaux intellectuels et de comment gérer les connaissances développées par une entreprise au cours de ses activités quotidiennes de façon à les rendre utilisables dans ou à l'extérieur de l'entreprise. Sur la base de ces préoccupations, la discipline de la « gestion des connaissances » a émergé (Ermine, 2003). En fait, la gestion des connaissances a pour but d'identifier, de recueillir, d'enregistrer et de permettre la réutilisation de l'ensemble des connaissances liées aux différents métiers de l'entreprise (Grundstein, 1995, Stock, 1999). Une des applications fréquentes de la gestion des connaissances est la construction d'une mémoire d'entreprise ou encore « mémoire d'organisation » (Dieng et al., 2000). Cette notion de mémoire peut s'appliquer à n'importe quel type d'organisation, qu'il s'agisse d'une entreprise, d'un de ses départements ou services ou bien, à une échelle plus petite, d'un métier. Dans ce dernier cas, nous parlerons de "mémoire métier".

Nous pouvons imaginer que le succès d'une organisation industrielle dépend étroitement d'une bonne maîtrise de ses connaissances. Notre objectif étant de gérer des connaissances, il est utile de définir et préciser le terme de connaissance que nous allons utiliser. (Nonaka, 1994) distingue :

- Les connaissances tacites : connues sans en avoir conscience, difficiles à énoncer, à formaliser et à communiquer par le langage.
- Les connaissances explicites : transmissible dans un langage. Elles peuvent être énoncées, communiquées et explicitées dans un écrit/exposé, dans les documents, des BD, etc.
- Quant à (Le Bortef, 1994), il distingue :
- Les compétences : aptitude à mettre en œuvre les ressources physiques, les savoirs et les savoir-faire constitutifs des connaissances de l'entreprise dans des conditions de travail avec des contraintes données : le poste de travail, une mission spécifique...
- Les savoirs théoriques : concepts, schémas, connaissances disciplinaires, connaissances sur les processus/procédés, connaissances sur matériels/produits, connaissances organisationnelles, connaissances sociales.
- Les savoirs procéduraux : comment faire pour une action.
- Les savoir-faire procéduraux : permettant, après entraînement, d'appliquer lors de l'action les méthodes/procédures connues grâce aux savoirs procéduraux.
- Les savoir-faire empiriques : savoir issu de l'action et comprenant les leçons tirées de l'expérience pratique.
- Les savoir-faire sociaux.

L'histoire du développement des mémoires métier montre de manière récurrente les problèmes qui peuvent être rencontrés ainsi que les méthodes et outils mis en jeu (Dieng et al., 1994). Il est nécessaire pour les développeurs de mémoires d'entreprises de détecter les besoins réels des utilisateurs et de cerner le type de mémoire dont ils ont réellement besoin. Parmi ces besoins, nous pouvons citer (Dieng et al., 2000) :

- Eviter la perte de savoir-faire : capitaliser les savoir-faire individuels en une connaissance collective et la pérenniser.
- Réutiliser l'expérience et les leçons des projets passés.
- Echanger l'information et partager les connaissances.
- Améliorer l'apprentissage et l'intégration des nouveaux personnels dans l'entreprise.

- Diffuser les pratiques efficaces.
- Aider à l'innovation.
- Aider à la stratégie, décision, actions.
- Optimiser la conduite des procédés et la qualité des produits.
- Augmenter la productivité.

Nous trouvons aussi plusieurs méthodes de gestion des connaissances. Parmi ces méthodes citées dans (Dieng et al., 2000), nous avons le Retour d'Expérience (REX) (Malvache et al., 1993 ; Eichenbaum et al., 1994 ; Eichenbaum-voline et al., 1997), le Knowledge Acquisition Documentation Systems (KADS) (Breuker et al., 1994 ; Schreiber et al., 1994, 1999). Ces méthodes ont pour but d'assister le cognicien dans la définition et la modélisation des problèmes à traiter.

Comme défini dans (Ermine, 2003), la Méthode d'Analyse et de Structuration de Konnaissances (MASK) est une méthode de gestion des connaissances qui permet de recueillir et de capitaliser des savoirs tacites d'experts, à partir d'interviews et de modélisations. Cette méthode procède par une logique de recueils des connaissances auprès des "sources de connaissances" de l'entreprise et s'appuie sur la modélisation des connaissances.

L'objectif de cet article n'est pas de comparer différentes méthodes de capitalisation des connaissances mais d'appliquer celles-ci pour construire une mémoire métier. Nous avons donc choisi la méthode MASK qui, au travers du modèle de concepts, permet de décrire les principales connaissances d'un domaine d'étude donné (dans notre cas les traitements de surface).

### **3. Capitalisation des connaissances de grenailage**

#### **3.1 Classification des procédés de fabrication**

L'objectif de notre travail étant de mettre en place une mémoire métier dans le domaine des procédés de traitement de surface, il est nécessaire d'identifier et de formaliser les connaissances en rapport avec le domaine d'étude. Dans une approche « Top-down », nous nous intéressons, tout d'abord, aux procédés de fabrication puisque le traitement de surface constitue une sous catégorie de ces procédés (Marty et Linares, 1999). Rappelons que les procédés de fabrication sont le moyen technique pour élaborer physiquement une pièce mécanique afin d'obtenir les caractéristiques désirées en terme de : formes géométriques, qualités dimensionnelles, tolérances de forme et de position, tolérances de rugosité, structure du réseau cristallin. (Dietrich et al., 1993) classifie les procédés de fabrication en plusieurs types : déformation plastique, traitement de surface, assemblage, usinage. Notre travail vise à

modéliser les connaissances liées au traitement de surface pour constituer une mémoire métier (figure 1). Nous détaillerons plus particulièrement les procédés de grenailage qui constituent une des expertises de notre laboratoire.

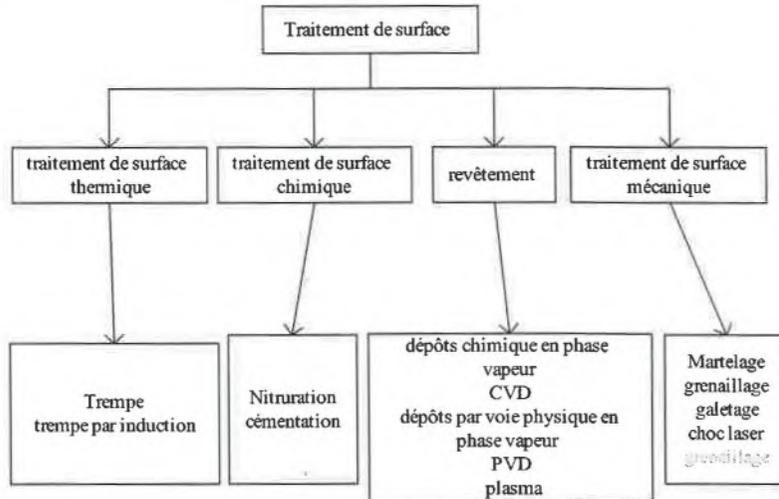


Figure 1 : Classification des traitements de surface

### 3.2 Le grenailage

Le grenailage consiste à projeter à grande vitesse (50 à 120m/s par exemple) sur la pièce à traiter différents types de grenailles de forme sphérique en acier, verre ou céramique (Cetim, 1992). L'impact de ces projectiles peut avoir plusieurs effets combinés :

- création d'une rugosité,
- déformation plastique des couches superficielles du matériau,
- création de contraintes résiduelles de compression.

Les applications du grenailage dans l'industrie sont nombreuses et variées. Les plus connues sont le formage, le redressage, l'amélioration de la résistance à la fatigue ou à la corrosion sous contrainte. Cette multiplicité des applications et la recherche constante d'une amélioration de la qualité des pièces rendent nécessaire la réalisation du traitement dans des conditions bien définies et reproductibles. Or, les facteurs qui influencent la qualité et l'efficacité d'un grenailage sont fort nombreux. Nous pouvons illustrer ces facteurs par la liste suivante (non exhaustive) : la nature, la forme, la densité, la dimension et la dureté du projectile utilisé, la vitesse et le temps de projection, l'angle d'impact, la nature et les caractéristiques mécaniques du matériau soumis au traitement (Cetim, 1992). En général, il existe quatre grandes familles de projectiles : billes d'acier, billes de verre, billes de céramique, billes d'acier inoxydable. Chaque bille possède des avantages et des inconvénients. L'utilisation d'un type de bille dépend de la

condition exigeante (intensité Almen demandée, satisfaction de la rugosité et de la durée de vie de la grenaille). A chaque nature de bille correspond une granulométrie spécifique, cela permet de traiter des pièces de toutes dimensions. La dureté des billes est une caractéristique importante du grenailage. Elle influe directement sur l'amplitude et sur la profondeur des contraintes résiduelles. Lors du grenailage, les billes peuvent avoir une énergie cinétique importante. Elle conditionne directement la répartition des contraintes et plus particulièrement leur profondeur. C'est un paramètre majeur pour définir une opération de grenailage. L'attribut angle d'impact est aussi important car cet angle influence nettement sur la valeur de la contrainte résiduelle superficielle (l'impact en sera plus ou moins grand en regard de l'angle). Enfin, le taux de recouvrement est une donnée importante. Il existe d'autres paramètres dans le traitement du grenailage qui ne seront pas pris en compte dans la suite. Le grenailage influence la résistance à la fatigue des matériaux, les contraintes résiduelles, la modification de la rugosité, etc. Dans le cadre de notre mémoire métier, nous avons tout d'abord considéré deux types de grenailles pour le traitement de deux natures de matériaux différents. Pour illustrer notre démarche, nous avons choisi de structurer les connaissances sur la base de quatre cas prenant en compte les attributs qui vont influencer cette opération de façon à fournir aux concepteurs ou ingénieurs de fabrication des informations détaillées sur le procédé. Il est important de disposer de moyens d'aide au choix du traitement qui soient fiables et adaptés aux diverses applications. Ce type d'outils n'existe pas dans les logiciels CAO du marché. Dans le cadre du projet européen ENSPED (<http://www-ensped.utt.fr/>), ce besoin industriel a été clairement exprimé. Nous avons donc choisi de développer une maquette informatique pour démontrer la faisabilité de notre approche.

### **3.3 Modélisation et structuration des connaissances**

Il est clair que notre objectif est de rassembler des informations liées au grenailage pour les implémenter dans la mémoire. Ceci soulève le problème de la structuration des informations. Pour ce faire, et en accord avec notre état de l'art, nous avons repris le diagramme de concepts de la méthode MASK via l'élaboration par analogie d'un diagramme de classes modélisant les concepts manipulés dans notre domaine d'étude. Pendant le recueil des informations liées au grenailage auprès d'experts et de spécialistes du domaine, nous avons identifié cinq grandes catégories de facteurs caractérisant ce traitement :

1. Matériaux
2. Paramètres de traitement
3. Géométrie de pièce à traiter
4. Grenaille
5. Type de machine

Les matériaux sont divisés en deux catégories : les matériaux à grenailler et les matériaux déjà grenaillés. Dans notre démarche de modélisation, nous assimilons ces concepts comme des sous-classes du grenaillage. Chaque facteur comprend des paramètres qui peuvent influencer le procédé de grenaillage, nous les considérons comme les attributs de chaque sous-classe. Nous énumérons les attributs pris en compte :

- Matériaux à grenailler : le procédé d'élaboration, la corrosion, la fatigue, l'usure, le frottement.
- Matériaux déjà grenaillés : la contrainte résiduelle, la flèche Almen, la rugosité, la corrosion, la fatigue, l'usure, le frottement.
- Paramètres de traitement : la pression, le taux de recouvrement, le temps du traitement, l'angle d'impact.
- Géométrie de pièce à traiter.
- Grenaille : le vieillissement, la taille, la forme, la nature.
- Type de machine.

Comme nous l'avons dit précédemment, notre objectif est de prendre quelques exemples de cas de grenaillage pour illustrer notre démarche dans la construction d'une mémoire métier. La figure 2 présente notre modélisation des concepts liés au grenaillage sous la forme d'un diagramme de classes en utilisant le langage UML. Cette modélisation ne fournit que la liste et les attributs des concepts liés au grenaillage. Pour évaluer et renseigner notre mémoire métier, nous avons choisi d'exploiter les données issues de la comparaison entre deux natures de billes (bille de verre spéciale et bille de verre classique) appliquées sur deux matériaux, Alliage de titane (TA6V) et Alliage d'aluminium (2024). Nous pouvons également noter (figure 2) les liens d'association entre classes qui permettront de faire une recherche croisée à partir des informations de plusieurs classe. Par exemple, de tels liens permettent de trouver les caractéristiques du matériau grenaillé connaissant les paramètres du procédé.

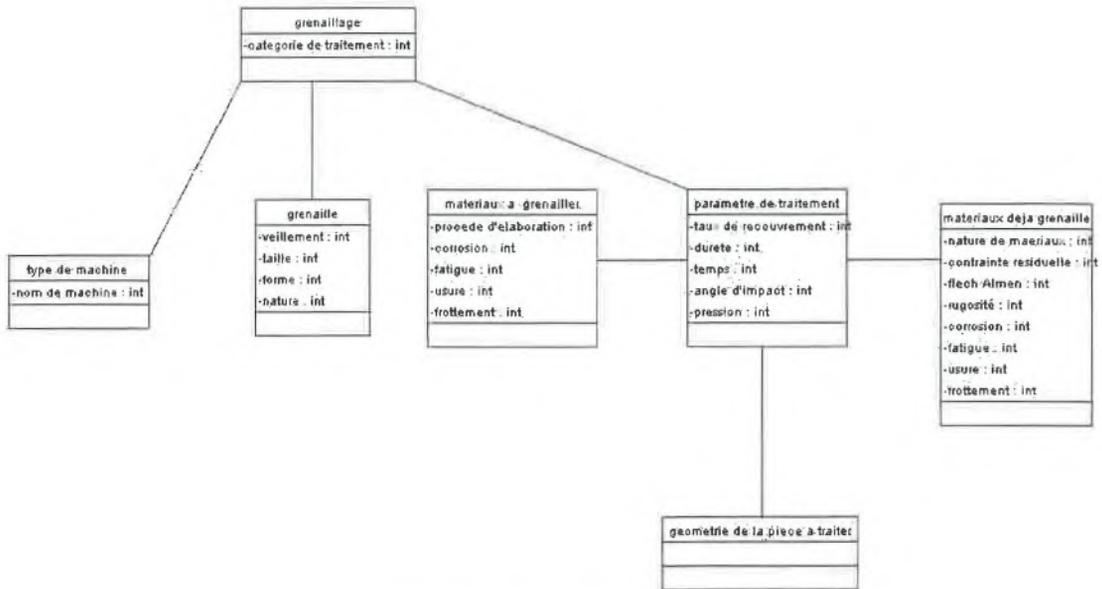


Figure 2 : Structuration des connaissances de grenailage

#### 4. Développement d'un démonstrateur informatique

Dans notre approche, la mémoire métier doit stocker les connaissances relatives au grenailage. Pour satisfaire ce but, nous avons repris une architecture logicielle proposée par (Roucoules, 2003) qui présente les fonctionnalités suivantes (figure 3) :

- dissociation : elle doit permettre de dissocier la structuration et la représentation des données.
- filtrage : elle autorise le filtrage de l'affichage de l'information que l'utilisateur souhaite consulter.
- gestion dynamique : elle offre une gestion dynamique des données (création, modification, suppression, définition des filtres).
- formats d'export et connectivité : elle propose plusieurs types de formats d'export de l'information dont XML qui permettent des échanges de données entre applications.
- adaptabilité : l'application étant générique, elle offre la possibilité de la personnaliser en fonction de l'utilisateur, c'est-à-dire de la mémoire métier qui doit être créée.

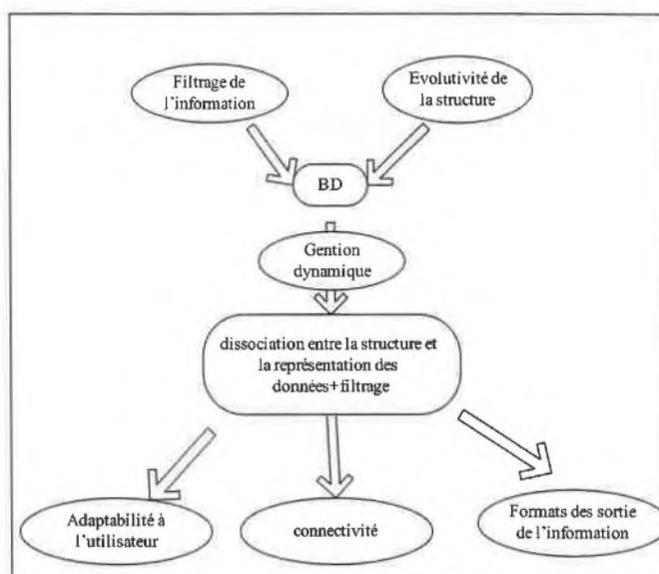


Figure 3 : Fonctionnalités de l'architecture logicielle

Nous avons utilisé les technologies PHP et MySQL pour implémenter ces fonctionnalités. PHP, dans notre travail, est utilisé comme langage de scripts qui permet de filtrer les informations pour l'affichage, de fournir une gestion dynamique des fichiers du système, de générer différents types de formats d'export de l'information et d'adapter l'application aux besoins de l'utilisateur (i.e. de la mémoire métier à construire). En tant que base de données, MySQL répond aux objectifs de stockage et de structuration de l'information.

## 5. Implémentation des connaissances

Dans ce paragraphe, nous ne présenterons que la procédure d'implémentation des connaissances que nous avons structurées. Grâce aux fonctionnalités d'administration de l'outil développé, il est facile de créer les tables de la base de données où seront implémentées les connaissances. Pour illustrer notre démarche de construction d'une mémoire métier, il est nécessaire de prendre en considération quelques cas de traitement par grenailage. Comme nous l'avons mentionné ci-dessus, nous avons choisi des données issues de la comparaison entre deux natures de billes appliquées sur deux types de matériaux. Il est ainsi possible d'implémenter les concepts du grenailage précédemment structurés (figure 2), leurs attributs ainsi que des groupes de valeur cohérents et représentatifs des cas de traitement considérés (figure 4). Nous arrivons ainsi pas à pas à la construction de la mémoire métier : chaque enregistrement signifie que pour un cas de grenailage, telle nature de bille fonctionne avec tels matériaux et cela va générer tels résultats en terme de comportement du matériaux ou d'état de surfaces. Nous stockons toutes ces connaissances dans la mémoire pour que les concepteurs puissent les réutiliser.

TABLEAU: test de grenailage

<u>MATERIAUX</u>	<u>RUGOSITE</u>	<u>CORROSION</u>	<u>FATIGUE</u>	<u>USURE</u>
Alliage de titane	Ra=3.4µm			
Alliage de titane	Ra=3.8µm			
Alliage d'aluminium	Ra=2.9µm			
Alliage d'aluminium	Ra=2.9µm			

Figure 4 : IHM avec toutes les informations

Dans la partie interface utilisateur, grâce à la fonctionnalité de filtrage, l’affichage des attributs du grenailage, que nous avons renseignés, est automatique. Prenons l’exemple d’une rugosité après le grenailage (Figure 5). Nous effectuons la requête pour l’attribut rugosité, nous obtenons automatiquement les informations suivantes, avec la valeur disponible comme 2.3µm. Nous pouvons consulter les autres attributs correspondant à la valeur de la rugosité. Cela permet aux concepteurs de savoir si tel procédé est convenable pour telle condition demandée par l’utilisateur.

POSSIBLES VALEURS DU CRITÈRE : rugosité

rugosité: Ra=2.3 µm
rugosité: Ra=2.9 µm
rugosité: Ra=3.4 µm
rugosité: Ra=3.8 µm

Figure 5 : Possibles valeurs de rugosité

A l’heure actuelle, la structuration des données est celle définie à partir d’entretiens avec les experts que nous avons rencontrés pour construire cette mémoire métier et présentée sur la figure 2. De nouveaux experts ou de nouveaux résultats de recherche pourraient être exploités

pour enrichir cette structuration. L'application informatique, comme cela est évoqué précédemment, fournit une totale liberté quant à ces futures mises à jour et modifications.

## 6. Conclusion et perspectives

Nous avons présenté une démarche de construction d'une mémoire métier et une application au grenailage. Nous avons identifié et structuré les concepts principaux qui caractérisent ce procédé de traitement de surface. Pour l'implémentation de ces connaissances, nous avons utilisé une application informatique s'appuyant sur les technologies PHP et MySQL. Enfin, nous avons structuré et implémenté dans la mémoire métier quatre fichiers de données issues de l'expertise de notre laboratoire sur le grenailage. Du point de vue de la capitalisation des connaissances sur les traitements de surfaces, il y a d'autres sous-classes de procédés comme le traitement thermique, le traitement chimique auxquels nous ne nous sommes pas intéressés. De même pour le grenailage, nous n'avons structuré que les connaissances les plus importantes. Des développements complémentaires permettraient l'implémentation de connaissances qui, aux yeux des experts, sont de moindre importance. D'un point de vue informatique, il reste des fonctionnalités à développer pour faciliter la consultation de l'affichage des connaissances.

Afin de réellement confirmer les résultats présentés, il sera nécessaire de valider l'utilisation d'une telle mémoire métier en contexte industriel. L'utilisation d'une telle application est en effet contrainte par le mode d'acquisition et de saisie des informations ainsi que par leur mode de restitution au cours d'un projet d'ingénierie.

## 7. Bibliographie

- Breuker J. et Van de Velde W. (éd), « CommonKADS Library for Expertise Modelling, Reusable Problem Solving Components ». IOS Press, Amsterdam, 1994.
- Cetim, 12e conférence internationale, « Le grenailage de précontrainte », Centre Technique Industries Mécaniques (CETIM), 1992, ISBN 2-85400-201-2.
- Dieng R., Corby O., Giboin A., Golebiowska J., Matta N., Ribière M., « Méthodes et outils pour la gestion des connaissances », Dunod, Paris, 2000, ISBN 2-10-004574-1.
- Dieng R., Corby O. et Labidi S. -Agent-based knowledge acquisition. In L. Steels, G. Schreiber et W. Van de Velde(éd), A Future for Knowledge Acquisition: Proc. of the 8th European knowledge Acquisition Workshop, EKAW'94, Springer-Verlag, Hoegaarden, Belgique, septembre 1994, pp.63-82.
- Dietrich R., Facy G., Hugonnaud E., Pompidou M., Trotignon J.P., « Précis de construction mécanique. 2, méthodes, fabrication et normalisation », Editeur, ville, 1993, ISBN 2-12-355339-5.
- Eichenbaum Ch., Malvache P. et prier P.. « La maîtrise du Retour d'Expérience avec la méthode REX ». Performances Humaines et Techniques, vol. 3-4, n°69, mars-avril 1994, pp. 6-20.

- Eichenbaum-Voline Ch. et Tamisier S., « Gestion des connaissances sur réacteurs avec le projet ACCORE », Document Numérique, vol. 1, n°2, 1997, pp.189-204.
- Ermine J.L., « La gestion des connaissances », Hermès sciences publication, Paris, 2003, ISBN 2-7462-0660-9.
- Grundstein M., « la capitalisation des connaissances de l'entreprise, système de production de connaissances ». Colloque de l'Entreprise Apprenante et les Science de la Complexité, Aix-en-provence, mai 1995.
- Le Bortef G. « De la compétence : Essai sur un attracteur étrange ». Les Editions d'Organisation, Paris, 1994.
- Malvache P. et Prieur P. -Mastering Corporate Experience with Rex Method. In J.P. Barthès (éd), « Proc. of the International Synposium on the Management of Industrial and Corporate Knowledge (ISMICK'93) », Compiègne, 27-28 octobre 1993, EC2, paris, pp. 33-41.
- Marty C. et Linares J.M., « Industrialisation des produits mécanique. 3, procédé de fabrication », Hermès sciences publication, Paris, 1999, ISBN 2-7462-0022-8.
- Nonaka I., « Dynamic Theory of Organizational Knowledge Creation ». Organizational Science, vol. 5, n°1, 1994, pp. 14-37.
- Roucoules L., Montes Sanchez F., « Information management framework based on PHP, MySQL and XML technologies; application to Design for Manufacture », Proc. of Concurrent Engineering 2003 Conference, Madeira (Portugal), 26-29 July, 2003.
- Sohlenius G., « Concurrent engineering », Annals of the CIRP 41(2), pp 645-655, 1992.
- Schreiber G., Wielinga B., Akkermans H., Van de velde W., et Anjewierden A. -CML: The CommonKADS Conceptual Modelling Language. In L. Steels et al. (éd), « A Future for Knowledge Acquisition »: proc. Of EKAW'94, Hoegaarden, Belgique, septembre 1994. Springer-Verlag; LNAI 867, pp. 1-25.
- Schreiber A. Th., Akkermans J.M., Anjewierden A., de Hoog R., Shadbolt N., van de Velde W. et Wielinga B.J. « Knowledge Engineering and Management: The CommonKADS Methodology. ». MIT Press, 1999.
- Stock R., « Gestion des connaissances métiers des entreprises. Enjeux, état de l'art et mise en œuvre d'applications industrielles », Revue internationale de CFAO et d'informatique graphique, vol 14, pp. 226-239, 1999.