

# Application de la méthode QFD comme outil d'extraction des connaissances métier en conception intégrée

Estelle FREY, Samuel GOMES, Jean-Claude SAGOT

Laboratoire Systèmes et Transports – Equipe ERgonomie et C Onception de Systèmes  
Université de Technologie de Belfort-Montbéliard, 90010 BELFORT Cedex

## Résumé

Le contexte industriel actuel de forte compétitivité nous amène de plus en plus à utiliser le retour d'expérience, voire le knowledge management, dans le développement des produits. Certaines méthodes de conception telles que le QFD mettent en jeu des connaissances expertes qu'il serait intéressant de collecter puis de formaliser. Peu de travaux se sont penchés sur cette problématique, c'est la raison pour laquelle nous avons proposé une méthodologie et développé un outil logiciel associé, permettant au concepteur de préserver une traçabilité des décisions de conception, tous en tentant de formaliser les connaissances mises en jeu. Pour confirmer nos hypothèses de recherche, une expérimentation a été réalisée avec deux groupes de concepteurs, avec des niveaux d'expertise différents. Après étude des résultats obtenus, des invariants et des règles de formalisation des connaissances ont pu être dégagées. Ces résultats ont montré qu'un véritable potentiel d'extraction des connaissances expertes est possible à partir de la méthode QFD.

## Mots clés

Méthode QFD, connaissances expertes, règles métier, knowledge based engineering.

## 1. Introduction

Aujourd'hui, dans un contexte industriel très concurrentiel où de plus en plus d'experts métier quittent leur entreprise, pour des raisons de mobilité ou de départ à la retraite, la transmission des connaissances et les retours sur expérience sont peu ou pas réalisés. Il devient donc important de mettre à la disposition du concepteur expert tous les outils lui permettant de capitaliser ses connaissances et expériences, afin de les rendre facilement réutilisables par des novices.

A ce jour, plusieurs méthodes offrant la possibilité de capitaliser les connaissances ont été élaborées telles que les mémoires projet [Djaiz, 2006], le modèle KnoVA-Sigma [Serrafero, 2004] ou la méthode GAMETH [Grundstein, 2002]. Ces outils et méthodes sont très utiles, mais sans doute encore trop peu nombreuses pour pouvoir prétendre à une reconception basée sur les connaissances expertes. Il existe d'autres méthodes non encore exploitées en « knowledge based engineering », mais qui sont susceptibles d'encapsuler de nombreuses connaissances expertes. Il s'agit, par exemple, des méthodes AMDEC (Analyse des Modes de Défaillance, de leur Effets et de leurs criticité) ou QFD (Quality Function Deployment) [L-K. Chan, 2002], qui contribuent, soit à fiabiliser

le produit ou le process étudié, soit à conserver une traçabilité des choix de conception en lien avec les besoins du client. Ces méthodes sont régies par une ou plusieurs connaissances expertes non formalisées dans les outils actuels.

Le but de ce travail de recherche est donc de juger de la pertinence et de l'intérêt de mettre en évidence les connaissances et règles expertes mises en jeu lors de l'application de la méthode QFD et de trouver un moyen judicieux de les extraire, les capitaliser afin de permettre leur réutilisation. Pour ce faire, nous nous appuyons sur le référentiel proposé par la méthode KnoVA-Sigma de cartographie des connaissances qui propose une typologie des connaissances [Serrafero, 2002] comprenant, en particulier :

- La culture métier : qui traduit l'histoire cognitive de l'organisation étudiée,
- Les processus métier : qui représentent les activités, ressources et livrables requis (activités séquentielles, parallèles, terminales, etc.),
- L'expertise métier : qui traduit les règles expertes sous forme de conseils, contraintes, choix métier (cahier des règles),
- Le vocabulaire métier : qualifié aussi de glossaire métier, regroupant les différents

termes métier et des liens entres eux (réseau sémantique), avec à la clé, des exemples, des synonymes, etc .

- L'expérience métier : regroupant des recueil de cas décrivant des cas de référence, des bêtises ou des exclusions métier.

Pour ce faire, une expérimentation a été réalisée, afin, dans un premier temps, d'étudier en détail la méthode QFD en vue de déterminer les étapes qui font intervenir des connaissances expertes dans le processus de conception. A partir de cette analyse, nous avons formulé des hypothèses de recherche, puis nous avons spécifié et développé un prototype d'outil logiciel qui nous a, dans un deuxième temps, permis d'expérimenter nos hypothèses dans plusieurs projets de conception. Enfin, à partir des résultats de nos expérimentations, nous avons pu identifier les différents types de connaissances que l'on peut extraire d'un QFD.

## 2. Analyse de la méthode QFD

La méthode du Quality Function Deployment (QFD) est utilisée en début de conception d'un produit. Elle aide le concepteur à prendre en compte les besoins clients dès les premières étapes de développement. Pour cela, on utilise des matrices QFD de différents niveaux qui croisent la "voix du client" (besoin) avec le "voix du technicien" (solution) et donnent la possibilité de comparer les solutions (partielles), deux à deux afin d'évaluer leur compatibilité via le toit de corrélation de la matrice, pour une intégration dans une solution globale. Puis,

via une pondération affectée à chaque besoin client, le concepteur calcule une note finale pour chaque solution proposée (Figure 1). Un des principes fondateurs de la méthode QFD est la propagation, d'une matrice à l'autre, des évaluations réalisées, et ceci à travers le jeu des coefficients de pondération. Cette propagation des pondérations traduit le déploiement de la voix du client sur l'ensemble du processus de conception.

A l'issue du traitement de chaque matrice, il convient ensuite de choisir les solutions que l'on veut retenir au final : celles qui respectent le mieux la voix du client tout en étant compatibles entres-elles.

Suivant les cas, on peut trouver trois ou quatre niveaux de matrices. Pour notre étude nous avons choisi d'utiliser la méthode avec trois matrices seulement, car les projets expérimentés n'étaient pas adaptés au quatrième niveau.

En étudiant cette méthode et en l'appliquant à des exemples de base, nous avons remarqué que derrière chaque note de comparaison entre deux éléments il y a une connaissance du concepteur. En effet, lorsque l'ingénieur saisit sa note, il pense à un principe, une règle ou autre connaissance qui lui permet de déduire cette notation. Or, il n'existe actuellement aucun modèle permettant de capitaliser les connaissances qui ont engendrées la note. Nous avons donc décidé, dans notre application, de donner la possibilité au concepteur de justifier chacune de ses notations, mais aussi de pouvoir fournir les arguments inhérents au choix des solutions effectué.

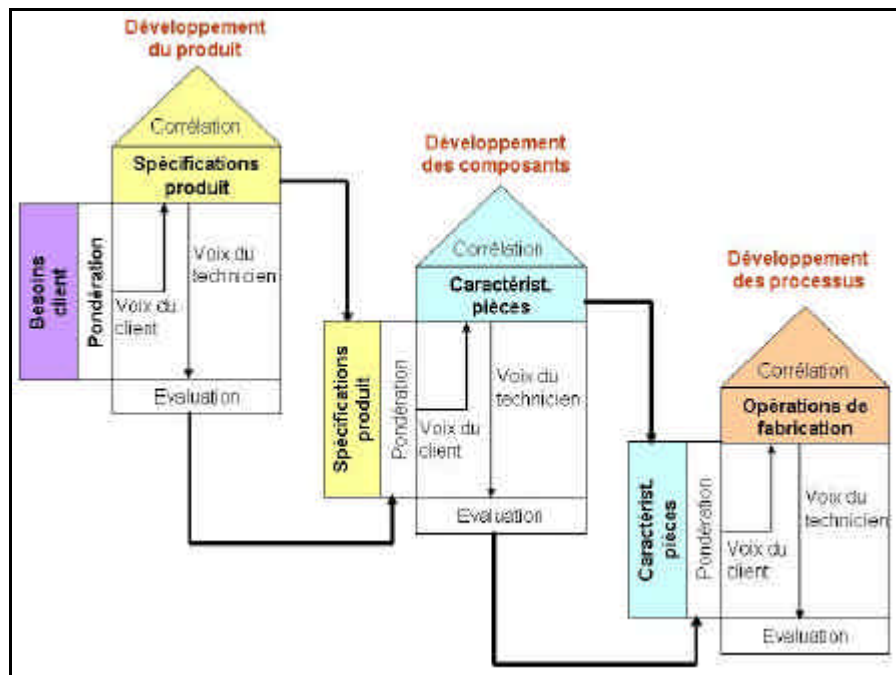


Figure 1 : Synoptique de déroulement de la démarche préconisée par la méthode QFD

### 3. Outil QFD Matrix

Le développement de l'application QFD Matrix a été réalisé en Visual Basic, dans un environnement MS Excel. L'application finale est donc un fichier tableau relativement simple d'utilisation, permettant d'automatiser la création des matrices et la propagation des pondérations d'une matrice de niveau n à celle de niveau n+1, afin de donner au concepteur la possibilité de se concentrer principalement sur la notation des solutions (colonnes des matrices) et des argumentaires justificatifs formulés.

Nous avons réalisé notre application QFD Matrix dans l'idée de guider l'utilisateur au mieux durant sa conception. Effectivement, pour chaque solution retenue, le concepteur est d'abord amené à saisir les besoins clients et les spécifications produit avant de passer sur la partie triangulaire en haut de la matrice pour juger de la compatibilité des solutions entre elles. Ensuite, l'utilisateur est invité à noter les différentes comparaisons besoin client/spécification produit tout en justifiant chaque évaluation dans un champ dédié à un argumentaire. La propagation des évaluations est alors réalisée

automatiquement et le concepteur peut choisir, suivant les notes finales, les spécifications produit qu'il souhaite retenir en les surlignant en couleur, générant automatiquement la voix du client sur la matrice suivante.

Il peut, de la même façon que pour les notes, saisir dans une case accolée, la justification de la notation proposée. Il ne lui reste alors plus qu'à générer la matrice de second niveau : spécifications produit / caractéristiques pièces. (Figure 2)

La démarche est ainsi la même pour les deux autres niveaux. Enfin, arrivé à la matrice finale (de troisième niveau), il ne reste plus qu'à générer le récapitulatif de toutes les justifications de notation et de choix de solutions en un seul clic. Les données sont alors à portée de main sous forme d'une liste d'arguments pour une conception ultérieure ou une insertion dans une base de données. Ce sont ces arguments qui, de notre point de vue, sont porteurs de connaissances et nécessitent donc un post-traitement pour faire émerger les connaissances associées.

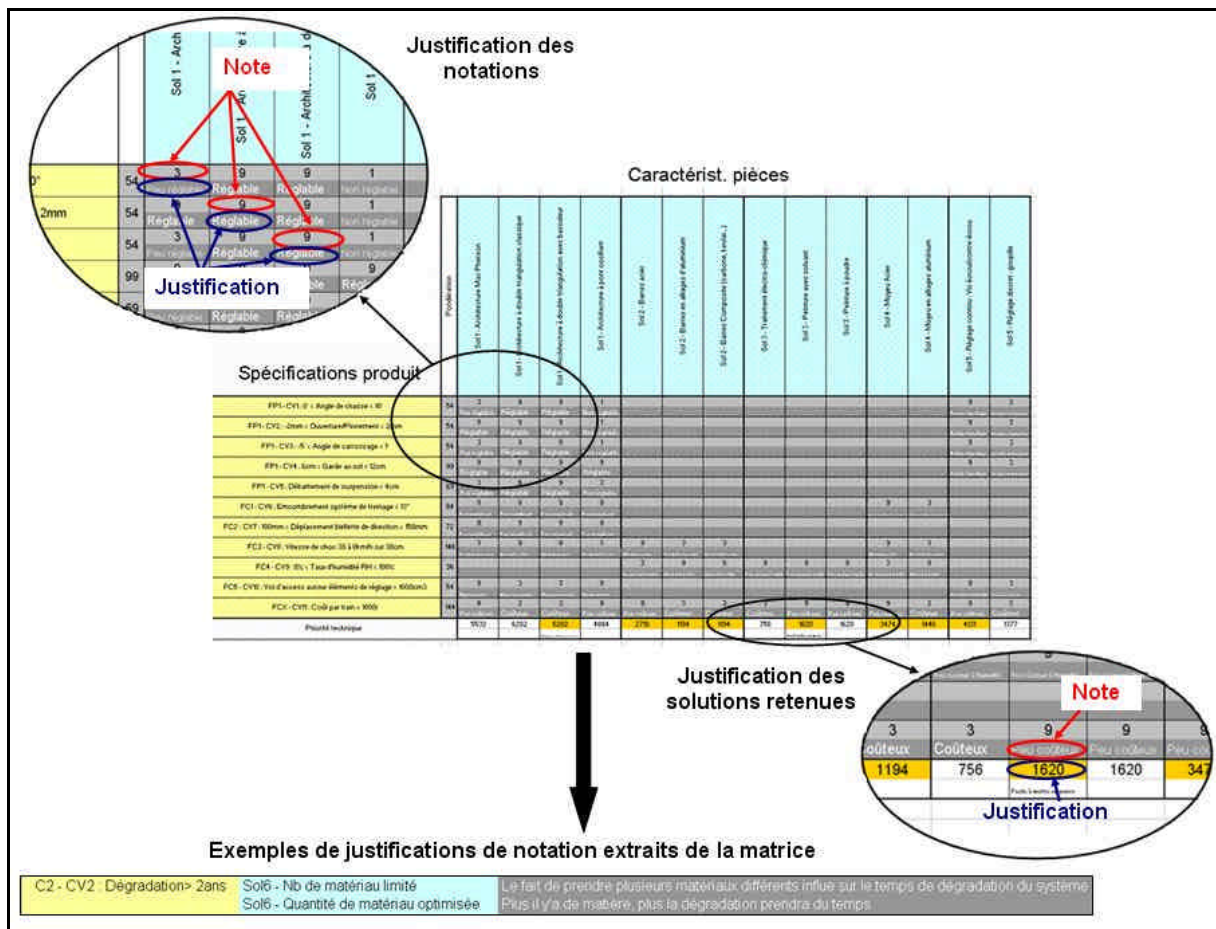


Figure 2 : Extrait de la matrice 2 de l'outil "QFD Matrix" et des justifications extraites

#### 4. Expérimentation

Afin d'expérimenter nos hypothèses et l'outil QFD Matrix associé, nous avons mis en place un protocole expérimental impliquant plusieurs projets de conception de produits et de systèmes mécaniques, et ceci, dans un contexte académique. Le protocole expérimental se déroule en 2 étapes (voir Figure 3).

Dans un premier temps, ce sont 7 groupes de 4 ou 5 concepteurs novices (élèves-ingénieur en première année, donc de niveau bac+3) qui ont utilisé l'outil QFD Matrix pour développer leurs projets de conception. Après un rapide explicatif du fonctionnement de l'application, ils ont été capables de compléter leurs 3 matrices QFD en y intégrant les connaissances expertes justificatrices des notes affectées. Ils ont ensuite, grâce aux fonctionnalités proposées par l'outil QFD Matrix, extrait un bilan de

toutes les justifications des évaluations portées.

Dans un second temps, ce sont des concepteurs plus aguerris (élèves-ingénieur en dernière année, niveau bac+5) qui ont appliqué la méthode QFD à leur projet via l'application QFD Matrix. La démarche a été la même que précédemment, et nous avons donc récupéré les fichiers de données, à l'issue des projets.

Il est important de noter que parmi les projets menés par les étudiants, plusieurs sont proposés et suivis par des entreprises, faisant par ailleurs l'objet de véritables contrats industriels, ce qui, compte tenu de la forte implication et du sérieux des étudiants concernés, donne une bonne crédibilité aux résultats obtenus, dans ce contexte académique.

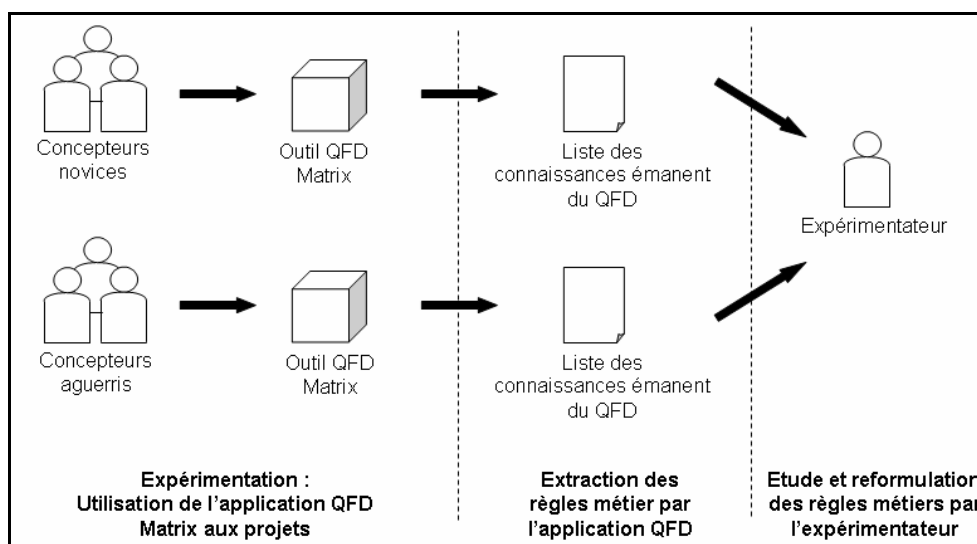


Figure 3 : Déroulement de l'expérimentation

De plus, le fait de mener l'expérience avec différents types de concepteurs nous permet d'enrichir les résultats, de nous assurer de la généralisation des résultats obtenus ou des éventuelles différences suivant le niveau des concepteurs ou l'enjeu du projet développé (étudiant ou industriel).

#### 5. Résultats

Après avoir analysé les tableaux récapitulants les justifications apportées par les concepteurs sur la notation et sur les choix de solution, nous avons pu dégager des invariants dans les différents types de formulations.

Tout d'abord, en ce qui concerne la première matrice, les types de syntaxe qui

apparaissent souvent sont : « **plus...**, **plus...** », « **si...**, **alors...** », « ... **influe sur...** », « ... **implique...** », « ...**entraîne...** ». Il semblerait donc que cela puisse être généralisé. Dans tous les cas de syntaxe, on reconnaît les « règles métiers » définies par [Serrafero, 2002], cependant ces règles restent textuelles alors que certaines d'entre-elles pourraient être reformulées et mises en équation.

Ensuite, dans la seconde matrice, on retrouve certaines formulations similaires aux précédentes, on déduit donc également de cette matrice des « règles métier ».

Enfin, dans la dernière matrice, les types de connaissances ne sont pas aussi clairement identifiables. Effectivement, les différences

trop importantes entre les syntaxes et le contenu des justifications ne nous permettent pas de trouver des similitudes et d'identifier des invariants. Par contre ces justifications semblent être exploitables dans le cadre de l'élaboration de la gamme de fabrication,

puisqu'elles donnent des détails sur les différentes opérations à réaliser, donc sur des connaissances de type « processus métier » au sens de la typologie KnoVA-Sigma [Serrafero, 2002].

Concepteurs novices	Concepteurs aguerris
<b>Plus</b> le travail sur les formes du produit est important, <b>plus</b> le coût de celui-ci sera élevé	<b>Plus</b> l'armature en acier du toit est lourde, <b>plus</b> le mécanisme pilotant son ouverture doit être robuste
<b>Si</b> le produit n'est pas recyclable à 98%, <b>alors</b> une taxe verte est à payer	<b>Si</b> le système résiste à un taux d'humidité de 80%, correspondant à un IP55, <b>alors</b> il est utilisable en extérieur
Le choix de matériaux légers et performants <b>entraîne</b> une hausse du prix final du produit	Chaque position de l'armature en acier <b>implique</b> un effort maximum exercé différent
La qualité des composants utilisés <b>influe sur</b> le produit final	Le fonctionnement du système de verrouillage du toit <b>influe sur</b> le nombre d'utilisateurs nécessaires à cette tâche

Figure 4 : Tableau des résultats des deux groupes

Pour les deux groupes de concepteurs (novices et experts), les résultats obtenus semblent similaires (Figure 4). En effet, on retrouve les mêmes types de règles dans les travaux des concepteurs aguerris que dans ceux des concepteurs novices. La seule différence qui peut être faite est sur le contenu technique et la précision de ces règles, dans la mesure où les connaissances des concepteurs aguerris sont plus poussées que celles des novices. Ce premier résultat devra être validé dans le cadre d'une expérimentation à plus grande échelle, dans un contexte industriel.

D'autre part, les résultats générés automatiquement par l'application QFD Matrix nous donnent la liste : des critères de valeur à respecter du cahier des charges (spécifications produit), des solutions retenues (caractéristiques des organes et des pièces) et des technologies et des opérations de fabrication retenues pour la réalisation de ces solutions. En plus de ce récapitulatif des choix réalisés, l'application logicielle synthétise les arguments justificatifs, formulés par le concepteur. Ceci permet d'instituer une traçabilité des décisions sur l'ensemble du processus de conception, dans la mesure où il est possible de savoir à tout moment pourquoi telle ou telle solution a été écartée ou retenue, ce qui représente souvent un gain de temps considérable, pour les futurs projets.

## 6. Discussion

D'un point de vue global, les résultats des deux premières matrices sont assez satisfaisants puisqu'il est possible de dégager des règles métier. Ces règles ne sont

cependant que des expressions textuelles, qui encapsulent la plupart du temps des formules mathématiques (expertise métier au sens KnoVA-Sigma). Il serait intéressant de pouvoir atteindre ces équations dans le but de les rendre plus explicites pour les futures conceptions. Ceci nécessitera certainement un travail supplémentaire du cognicien, auprès des experts métier, afin de préciser les connaissances mises en jeu.

En ce qui concerne les résultats de la troisième matrice, ils sont peu exploitables dans leur état brut. Une des explications proposée réside dans le fait que les groupes de concepteurs ayant participé aux expériences sont spécialisés dans le domaine de la conception de produit et ne sont donc pas experts dans le domaine de la fabrication. Il serait certainement utile de réaliser cette expérience auprès de groupes de concepteurs plus orientés processus de fabrication, voire auprès de groupes de concepteurs mixtes.

Dans tous les cas, l'auto-extraction des connaissances par les experts reste très difficile à mettre en œuvre, car on observe toujours de la part des concepteurs une retenue dans la divulgation de leurs connaissances ou une non rigueur dans la formulation de celles-ci. Il serait donc important de faire intervenir une tierce personne, experte en management des connaissances (cognicien) s'occupant d'extraire les connaissances à partir de la « matière première » que constitue les justifications apportées par le concepteur, notamment en transformant ou en précisant les relations « en langage naturel » en équations. Ceci paraît un champ d'exploration

prometteur, puisque des connaissances plus clairement exprimées, utilisant des termes génériques, sont plus aisément réutilisables. Dans ce contexte, il serait intéressant de proposer une syntaxe générique pour aider les concepteurs à rédiger les justifications des évaluations apportées, avec pour objectif final une exploitation plus facile, pour le cognicien, des résultats obtenus.

Enfin, du point de vue de l'application QFD Matrix en elle-même, l'expérience réalisée a montré qu'elle est relativement fiable et simple d'utilisation à une exception près : il serait utile d'avoir un bouton de suppression d'une ligne ou d'une colonne de la matrice. En effet, la suppression de certaines lignes manuellement a, quelques fois, provoqué des erreurs d'exécution du code Visual Basic et ainsi bloqué les utilisateurs.

Pour disposer d'une plus grande fiabilité sur ces premiers résultats obtenus, en environnement académique, une expérimentation en entreprise, mettant en jeu des concepteurs professionnels pris par leurs obligations quotidiennes de délais et de qualité, devrait être réalisée en complément aux deux expérimentations effectuées.

## 7. Conclusion

Cette étude, lancée à partir de l'hypothèse qu'il est possible de préserver une traçabilité des décisions de conception, et par la même occasion, d'extraire des connaissances expertes en conception à partir de la méthode QFD, nous a montré qu'il est nécessaire de se pencher sur des méthodes pas encore bien explorées en knowledge based engineering. L'une des perspectives de recherche sur cette étude QFD réalisée serait qu'un cognicien tente d'établir un arbre des causes pour chaque justification de note défini par le concepteur en se basant sur la méthode des 5M par exemple (Méthode, Main d'œuvre, Machine, Milieu, Matière).

D'autre part, si cette méthode QFD est capable de nous aider à extraire les règles

prises en jeu lors du processus de conception du couple produit-process, il est probable que d'autres méthodes mettent en jeu d'autres connaissances expertes intéressantes. L'AMDEC par exemple, méthode qui analyse les modes de défaillance, leurs effets et leurs criticités, peut certainement révéler des connaissances expertes utiles dans le domaine de la fiabilisation du couple produit-process (connaissances de type « expériences métier » au sens KnoVA-Sigma). Il est donc tout à fait cohérent d'envisager, voir de programmer une étude similaire à celle-ci sur la méthode de l'AMDEC. Ceci a déjà été réalisé [A. Hassan, 2007], mais il serait sans doute intéressant d'approfondir les expérimentations afin d'enrichir les résultats obtenus.

## 8. Références

- C. Djaiz, N. Matta (2006) Stratégies de regroupement des connaissances dans les mémoires projet. Colloque CITE.
- P. Serrafero (2002) , Vers la mesure de quantité de connaissance et de compétence industrielle : le modèle KnoVA. Conférence invitée, 1er colloque du Groupe de Gestion des Compétences et des Connaissances en Génie Industriel, Nantes
- M. Grundstein, C. Rosenthal-Sabroux, A. Pachulski (2002) Reinforcing decision aid by capitalizing on company's knowledge : future prospect. European Journal of Operational Research 145 (2003) 256-272.
- L-K. Chan, M-L. Wu (2002) Quality function deployment : A literature review. European of Operational Research, Volume 143, Issue 3, Pages 463-497.
- A. Hassan, A. Siadat, Jean-Yves Dantan, Patrick Martin (2007) Utilisation de l'AMDEC comme outil de formalisation des connaissances pour la gestion de la qualité en conception et en industrialisation. Workshop C2EI, Belfort, France.