

---

# Implémentation de KBE

## Etude de cas en conception mécanique

**Pierre Nowak — Romain Postansque — Pascal Lafon  
Benoît Eynard**

*Laboratoire des Systèmes Mécanique et d'Ingénierie Simultanée (LASMIS)  
Université de Technologie de Troyes (UTT)  
12, rue Marie Curie, BP 2060, 10010 Troyes Cedex  
{pierre.nowak;romain.postansque;pascal.lafon;benoit.eynard}@utt.fr*

---

*RÉSUMÉ. L'utilisation des systèmes d'ingénierie à base de connaissances prend une place de plus en plus importante dans les industries mécaniques. Les besoins d'implémentation rapide de ce type de système demande des méthodes simples et des logiciels performants pour leur mise en œuvre, exploitation et maintenance. Ce constat a conduit les éditeurs de logiciels CFAO et en particulier Dassault Systèmes à étendre les capacités d'intégration de connaissances au sein de leurs produits. Pour CATIA V5, les fonctions les plus avancées passent par un module de gestion des connaissances (KnowledgeWare) et par l'utilisation du langage Visual Basic. L'étude de cas que nous présentons porte sur le développement d'une application KBE sur la base de ces outils et de la démarche préconisés. Nous avons tout d'abord exprimé puis implémenté les règles et les connaissances issues du génie mécanique nécessaires aux formulations mathématiques qui régissent et contraignent complètement la définition du modèle 3D d'une pièce mécanique. Cette approche permet un développement rapide d'application KBE pour une aide au prédimensionnement et au choix de la meilleure solution, et réduit ainsi le temps de conception d'un sous-ensemble mécanique.*

*ABSTRACT. Knowledge based systems are more and more used in design and manufacturing by companies. The needs to quickly develop this kind of systems require relevant method and efficient software for their implementation, use and maintenance. That led CAD/CAM/CAE software vendors and especially Dassault Systèmes to enhance the knowledge integration capabilities in their products. In CATIA V5, those possibilities are offered by the workbench KnowledgeWare and the use of Visual Basic. In our study, we have developed a KBE application using those customisation capabilities. A mechanical part has previously been designed. This part is fully constrained using mathematics formulas and knowledge rules implemented in KnowledgeWare. This approach allows a quick development of KBE in order to support the decision-making and the selection of the best solution and also reduce the design time of mechanical sub-assembly.*

*MOTS-CLÉS : conception de produits, gestion de connaissances, KBE, CAO.*

*KEYWORDS: engineering design, knowledge management, KBE, CAD.*

---

## 1. Introduction

Dans le monde actuel de la conception de produits, la proportion de tâches répétitives augmente par rapport à celle des tâches à forte valeur ajoutée. Les applications KBE (*Knowledge Based Engineering*) ou systèmes d'ingénierie à base de connaissances prennent donc de plus en plus d'importance dans les entreprises fortement centrées sur leurs activités de conception (Susca *et al.*, 2000). Ce type d'applications informatiques s'appuie sur des connaissances métier pour permettre l'automatisation ou la semi-automatisation des tâches de conception dites routinières. Elles ont donc pour but de réduire les délais de conception et de favoriser l'innovation en libérant du temps de créativité aux concepteurs.

La première étape du développement d'une application KBE est l'acquisition des connaissances. La gestion de connaissances (KM) est là pour aider à identifier, expliciter, gérer et mettre à disposition ces savoirs et savoir-faire. C'est donc un outil indispensable à la réalisation d'applications KBE.

Nous proposons dans cet article une démarche pour l'implémentation d'une application KBE utilisant les nouvelles possibilités mises à disposition dans le logiciel de CAO (conception assistée par ordinateur) CATIA V5. Ce logiciel offre un module de gestion des connaissances (KnowledgeWare) et intègre un environnement de programmation utilisant le langage Visual Basic. Selon (Coppens, 2002), les 4 phases de développement d'une application KBE sont les suivantes :

- analyse du périmètre métier concerné, des activités, des savoir-faire associés (coordonner, repérer) ;
- recueil de savoir-faire (préserver) ;
- mise en œuvre informatique dans un environnement de KBE (valoriser) ;
- mise à jour du recueil, de l'application (actualiser).

Notre étude vise ainsi à faciliter les étapes 3 et 4 au travers d'une implémentation informatique utilisant un langage simple et directement connecté à un outil de CAO.

Dans la première partie, nous verrons le contexte dans lequel cette étude a été effectuée. L'état de l'art cernera plus précisément les concepts de KM et KBE. Nous aborderons ensuite le développement d'une application KBE traitant d'un cas de conception mécanique simple mais permettant d'illustrer concrètement l'intégration de formulations mathématiques et de règles de connaissances dans un modèle numérique 3D utilisant les diverses possibilités du logiciel de CAO CATIA V5. Pour finir, nous concluons sur l'étude réalisée et les résultats obtenus.

## 2. Contexte de l'étude et état de l'art

Les thèmes qui sont abordés dans cet article sont la conception et les outils CAO, les applications KBE, et plus largement la gestion des connaissances. Rappelons que

cette problématique n'est pas nouvelle, depuis l'utilisation des premiers « systèmes experts » à la fin des années 80 (Farreny, 1989), de nombreuses technologies issues de l'intelligence artificielle ont vu le jour et ont fait l'objet d'application dans le domaine de la conception et de la CAO (Gero, 1996 ; Vancza, 1999). A la section 2.2 nous reviendrons plus longuement sur cet historique important. Notre objectif est de démontrer ici l'intérêt et l'apport de nouvelles technologies plus maniables, très rapides à mettre en œuvre et facilitant l'intégration de connaissances dans un modèleur CAO.

La conception peut se définir comme étant le fait d'imaginer, de formuler des solutions technologiques pour satisfaire des besoins exprimés par l'utilisateur final du produit tout en considérant un ensemble de contraintes technico-économiques. De manière générale, la définition d'une solution passe tout d'abord par le choix de concepts et de principes de solution s'appuyant sur les phénomènes et lois physiques. Ensuite, une solution préliminaire est élaborée et évaluée pour vérifier si les contraintes technico-économiques sont satisfaites. La solution est alors modifiée et ce processus est itéré jusqu'à ce que toutes les contraintes soient vérifiées.

L'introduction de la gestion des connaissances (section 2.1) dans les entreprises a notamment permis de recueillir et de formaliser ces connaissances. Elles peuvent alors être explicitées, structurées et intégrées dans une application KBE (section 2.2) afin de faciliter le travail des concepteurs et de leur permettre de gagner du temps. L'évolution des technologies informatiques offre maintenant un développement simplifié de ces applications. Nous nous proposons donc de détailler dans cet article une étude de cas pour la formulation et l'intégration de connaissances métier dans un modèleur CAO illustrant la démarche que nous préconisons.

## **2.1. La gestion des connaissances**

### *2.1.1. Définition*

Les connaissances d'une entreprise consistent en des éléments tangibles (base de données, procédures, dessins, modèles, algorithmes...) et des éléments intangibles (règles non écrites, secrets, contextes de prise de décisions, environnements économiques tels que les clients ou les concurrents, etc.) (Nelson *et al.*, 1982, Grundstein *et al.*, 2003). Toutes ces connaissances caractérisent une entreprise et lui permettent de concevoir, produire, vendre, et maintenir ses produits et ses services. Elles sont représentatives de la culture et de l'expérience de l'entreprise.

L'approche multifacette définie par (Grundstein *et al.*, 1999) pour solutionner le problème de la capitalisation des connaissances d'une entreprise est caractérisée par cinq facettes et leurs interactions. Cette approche stipule que pour gérer efficacement des connaissances il faut les repérer, les préserver, les valoriser, et les actualiser.

### 2.1.2. Méthodes de gestion des connaissances

Plusieurs méthodes ont été proposées pour la gestion de connaissances ou le développement de systèmes à base de connaissances. Ces méthodes ont pour but d'assister le cognitif dans la définition et la modélisation des problèmes à traiter. Des méthodes telles que *Structured Analysis and Generation of Expert Systems* (STAGES), *Knowledge Acquisition Documentation Systems* (KADS) (Blount *et al.*, 1995) et Modélisation, Analyse et Structuration de Connaissances (MASK) (Ermine, 2003) ont généralement été appliquées à d'autres domaines que la conception mécanique et n'ont pas été explicitement utilisées pour le développement d'applications KBE.

Comme défini dans (Callot *et al.*, 1999), la méthode MOKA (*Methodology and Tools Oriented to Knowledge*) a pour objectif de fournir aux utilisateurs industriels une approche formelle pour analyser et modéliser les produits, les processus de conception et les connaissances associées, ce qui représente une grande part des savoir-faire dans l'entreprise. Cette méthode fournit les moyens d'acquérir et de représenter les connaissances liées au produit et à son processus de conception. Elle facilite l'intégration des caractéristiques techniques du produit et du processus, qui ne sont pas traitées par les autres méthodes, ceci afin de développer des applications KBE.

## 2.2. Du système expert en conception aux applications KBE

### 2.2.1. Historique des applications d'IA en conception

Notre travail s'inscrit dans une problématique bien identifiée et où de nombreux développements issus de l'intelligence artificielle ont fait l'objet d'application dans les domaines de la conception et de la CAO. Historiquement les premiers travaux ont porté sur des systèmes experts couplés à des logiciels CAO (Brown *et al.*, 1985 ; Gardan, 1990). Ces systèmes ont malheureusement montré leurs limites en termes de pertinence des résultats et surtout de lourdeur des temps de développement et de mise en œuvre (Ingrand, 1987 ; Tsang *et al.*, 1987 ; Tollenaere, 1991 ; Silberberg, 1994 ; Caillaud, 1995). Sont apparus ensuite les systèmes à base de connaissances (Sriram *et al.*, 1989) et systèmes de raisonnement à partir de cas (Kolodner, 1993). En termes d'applications nous pouvons citer (Trousse, 1989) et (Grabowski *et al.*, 1995) pour la première catégorie ou encore (Maher, 1998) et (Duprieu *et al.*, 2000) pour la seconde. Ces applications ont souvent rencontré des problèmes similaires à ceux des systèmes experts en ce qui concerne les temps de développement, d'évolutivité et de maintenance des logiciels. Enfin, signalons des applications plus particulières comme les approches par contraintes (O'Sullivan, 1999 ; Véron, 2001 ; Yvars, 2001) qui proposent de très robustes capacités de résolution de problème. Pour ce type d'approche la difficulté majeure réside dans la bonne formulation de la stratégie de résolution à partir des connaissances du domaine étudié.

Notre étude est par ailleurs complémentaire avec des systèmes visant la distribution de connaissances plus générique. En effet, un système tel qu'IPPOP (Girard *et al.*, 2002) s'inscrit quant à lui dans une démarche d'intégration des dimensions produit-processus-organisation plus globale qui vise à gérer les informations de l'ensemble du projet de conception à travers ces dimensions. Il s'agit ainsi d'un environnement de communication, d'organisation et de partage d'informations accessible par les différents acteurs et leurs outils experts. Les applications KBE telles que nous les envisageons ont pour but d'être utilisées pour la résolution de problèmes récurrents, connus et bien spécifiés.

### 2.2.2. Définition d'une application KBE

Une des techniques d'intelligence artificielle les plus appropriées pour la gestion des connaissances et le partage d'informations entre les équipes de conception est l'utilisation d'une application de *Knowledge Based Engineering* (KBE) (Susca *et al.*, 2000). C'est une application informatique nécessitant un traitement de l'information préalable, ce qui induit un travail, une représentation des connaissances et de modélisation du raisonnement effectué sur la base de celles-ci. A la différence des traditionnels outils CAO, une application KBE permet l'acquisition des intentions se situant en amont de la conception en représentant les « pourquoi » et « comment » d'un modèle en plus de la description du « quoi ». C'est également une approche prometteuse de l'intelligence artificielle qui est utilisée par les plus grands groupes industriels pour modéliser et capitaliser la conception de leurs produits (Saxena *et al.*, 1994 ; Chapman, 1997 ; Franck, 1999 ; Coppens, 2002).

Soulignons cependant que le développement d'une application KBE constitue un réel investissement pour une entreprise. En s'intéressant au développement des applications KBE pour les PME, (Lovett *et al.*, 2000) ont mis en évidence le manque de méthodologies permettant une mise en œuvre rapide et peu onéreuse d'un KBE. De plus, l'implémentation informatique est une phase cruciale du développement d'un KBE (Su *et al.*, 2000). Elle doit en effet rester suffisamment simple ou modulaire pour permettre sa maintenance et son évolutivité. Enfin, une application KBE, visant à être utilisée par des non experts, doit comporter une interface graphique et être en liaison avec un outil de CAO (Susca *et al.*, 2000).

Comme défini par (Ping Hew *et al.*, 2001) une application KBE est issue de l'IA et exploite différentes techniques :

- représentation des connaissances : pour acquérir les connaissances de la conception. Elle modélise ou représente les connaissances d'un expert. Les formulations s'appuyant sur la programmation orientée objet et sur le langage naturel sont utilisées pour décrire les connaissances de l'expert ;

- mécanisme de raisonnement : cela s'inscrit dans la recherche et la sélection de règles de production et dans l'évaluation et la génération d'arguments utilisant les objets. Ce processus de raisonnement est souvent conditionnel et inclut des

formulations de la forme « si A alors B sinon C », où A, B et C sont des propositions ;

– interface : les KBE offrent un environnement de développement sophistiqué, voire complexe pour programmer un objet à base de connaissances. Ceci inclut un éditeur de connaissances, un moteur de recherche et un navigateur. Ces fonctionnalités offrent au programmeur des facilités pour éditer et déboguer les systèmes à base de connaissances.

### **2.3. Les systèmes CAO**

Dans un contexte de marché concurrentiel, il est logique de songer à améliorer les performances des services d'études et d'ingénierie. Le pari des entreprises est que la CAO permet une hausse sensible de la productivité des concepteurs. Les avantages de la CAO sont de trois ordres, elle permet la création de modèles 3D, leur analyse à l'aide d'outils experts, et la modification et réutilisation de ces modèles.

La CAO de manière générale a évolué en direction de la gestion des connaissances. La première évolution notable fut l'apparition des formes technologiques (*form features*) et du paramétrage, ce dernier permettant, à partir de relations simples, de piloter les dimensions géométriques (longueur, diamètre, etc.) d'un modèle 3D en fonction de certaines grandeurs caractéristiques. Puis, le logiciel CATIA V5 de Dassault Systèmes a franchi un nouveau seuil avec un module intégré de gestion des connaissances appelé KnowledgeWare. Celui-ci permet d'intégrer au modèle des valeurs non géométriques, des règles et des formulations mathématiques complexes. Enfin, les acteurs majeurs du marché de la CAO offrent actuellement une possibilité « externalisée » de gestion des connaissances en utilisant des API (*Application Program Interface*).

La figure 3 présente les niveaux de configuration offerts par CATIA V5. Nous retrouvons le module KnowledgeWare et, à un niveau plus haut, l'utilisation de Visual Basic et des API de CATIA pour automatiser des séquences de constructions de géométries 3D. Enfin, le dernier niveau de configuration est la création de CAA qui permet le développement de module (*Workbench*) sur la base de bibliothèques logicielles Dassault Systèmes.

### **3. Etude de cas : accouplement mécanique par plateaux**

Nous nous intéressons ici aux activités de conception et de dimensionnement optimal d'un accouplement par plateaux déjà connue et dont les connaissances métiers ont été clairement formulées. Ces activités font l'objet du développement de l'application KBE sur la base de KnowledgeWare que nous détaillons par la suite.

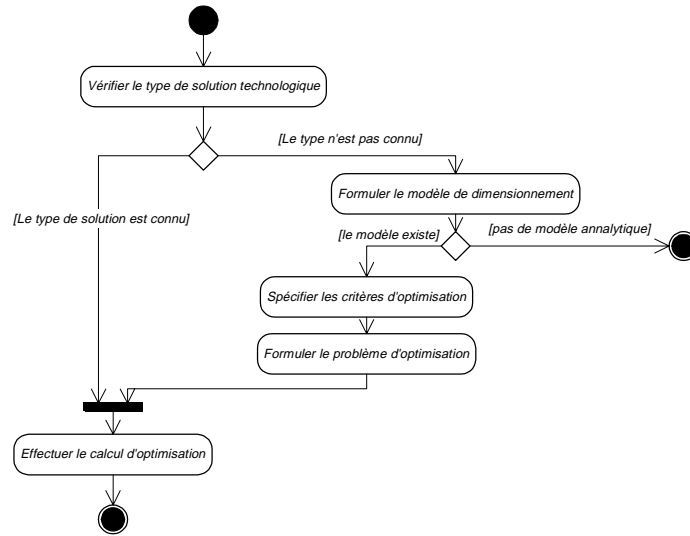
Le cas traité ici est assez simple, cependant il permet d'illustrer les possibilités d'intégration de connaissances dans un modèle CAO, qui pourront par la suite être appliquées à des cas plus complexes. Le projet MOKA (Callot *et al.*, 1999) qui comptait dans ses membres PSA et EADS visait à aider le développement d'applications KBE, notamment dans les domaines de l'automobile et de l'aéronautique. MOKA doit en effet fonctionner même pour des systèmes complexes, cependant il est préconisé pour la facilité d'utilisation des applications de les séparer en modules élémentaires. De même (Coppens, 2002) qui décrit l'utilisation d'outils KBE chez PSA, précise ce besoin de décomposition en modules minimaux afin d'assurer la convergence du système en regard d'un nombre raisonnable de règles.

Nous nous positionnons clairement dans cette logique car le traitement de systèmes fort complexes semble peu réaliste, d'une part, et demanderait une telle simplification du modèle de référence qu'il ne serait plus représentatif du comportement réel ou attendu du système, d'autre part.

### **3.1. Modélisation du problème de dimensionnement et transcription en un problème d'optimisation**

Comme définie par (Lafon, 1994), cette étape a pour objet l'identification des différents éléments de l'énoncé mathématique du problème d'optimisation. Une fois que les choix technologiques et la configuration du mécanisme sont spécifiés, il est possible de décrire le mécanisme par un certain nombre de paramètres. Ils peuvent être d'ordre fonctionnel, structurel, géométrique ou lié aux matériaux. Tous ces paramètres descriptifs sont liés par un ensemble de relations fonctionnelles spécifiques du mécanisme étudié.

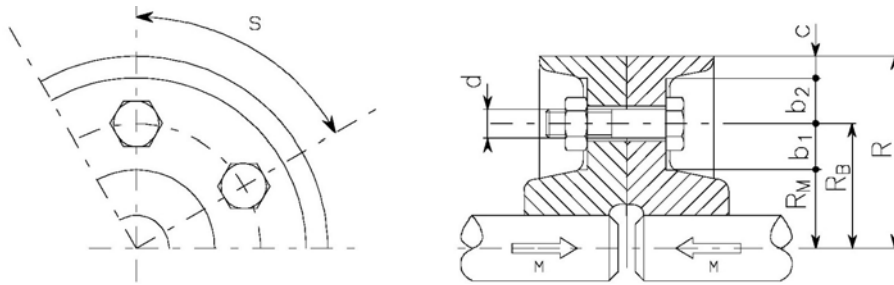
Comme le montre la figure 1 ci-dessous, la première étape de la résolution d'un problème d'optimisation est la vérification du type de solution technologique. Si ce type est connu, le calcul peut être directement effectué. Si le type n'est pas déjà connu, il faut alors formuler le problème et identifier les connaissances métiers qui permettront de déterminer les paramètres spécifiques et les relations fonctionnelles minimales. Cette étape est cruciale et demande un important travail d'analyse et d'interprétation des connaissances possédant un haut niveau sémantique (dimensionnement des éléments filetés, expression d'un problème d'optimisation suffisamment générique, etc.). A partir de ces connaissances peuvent alors être explicités les paramètres et relations nécessaires pour la formulation et l'implémentation des règles dans l'application KBE.



**Figure 1.** Formulation et résolution d'un problème d'optimisation

### 3.2. Cas de l'accouplement à plateaux

Considérons le mécanisme décrit par (Lafon, 1994), représenté sur la figure 2, constitué de liaisons élémentaires, et destiné à transmettre par adhérence un couple entre deux arbres coaxiaux.



**Figure 2.** Accouplement à plateaux

Le problème de conception que l'on cherchera à exprimer est : « Déterminer le nombre de boulons  $N$ , de diamètre  $d$  et de qualité donnée, disposés sur le rayon  $R_b$ , transmettant par adhérence un couple  $M$  et tel que l'encombrement diamétral du mécanisme soit le plus faible possible. » L'étude qui est faite suppose que la liaison



encastrement arbre-plateau a déjà été choisie et dimensionnée. La forme des plateaux est également supposée imposée par les conditions de fabrication.

La quantité à minimiser est :  $R = R_M + b_1 + b_2 + c$

Avec :  $R_M$  plus grand rayon d'encombrement des liaisons arbre-moyeu,

$c$  épaisseur de la jante extérieure de protection.

L'ensemble des relations fonctionnelles, des conditions fonctionnelles limites et des conditions géométriques sont décrites dans (Lafon, 1994) et ne seront pas détaillées ici. Dans le cas particulier de ce problème d'optimisation, une analyse s'appuyant sur une représentation graphique du problème permet de déterminer l'ensemble des solutions optimales du problème.

Les formules qui suivent sont les expressions des solutions potentielles du problème d'optimisation. La solution finale sera choisie parmi ces quatre points. Tout d'abord le ou les points qui ont la plus grande valeur de  $R_b$  seront retenus, puis celui pour lequel la valeur de  $N$  est maximale sera choisi.

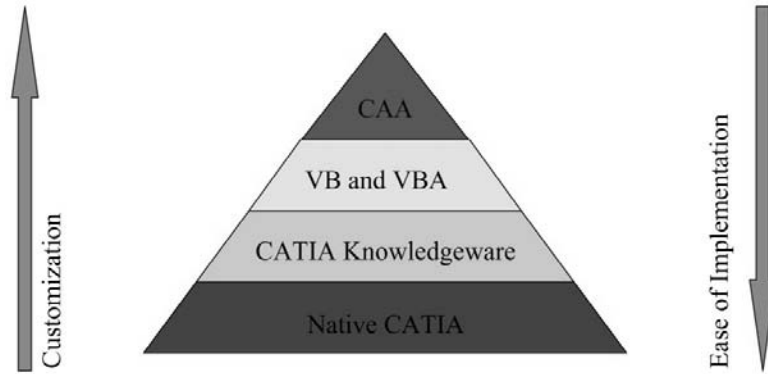
$$\text{Point A: } \begin{cases} N_1 = \text{Ent} \left( \sqrt{\frac{2\pi \cdot \alpha \cdot M_T}{\phi_5(d) \cdot K(d)}} \right) \text{ et } R_{B1} = \frac{\alpha \cdot M_T}{K(d) \cdot N_1} \\ N_2 = \text{Ent} \left( \sqrt{\frac{2\pi \cdot \alpha \cdot M_T}{\phi_5(d) \cdot K(d)}} + 1 \right) \text{ et } R_{B2} = \frac{\phi_5(d) \cdot N_2}{2\pi} \\ R_{B1} < R_{B2} \rightarrow (N_1, R_{B1}) \text{ solution sinon } (N_2, R_{B2}) \text{ solution} \end{cases}$$

$$\text{Point B: } \begin{cases} N = \text{Ent} \left( \frac{\alpha \cdot M_T}{K(d) \cdot (R_M + \phi_4(d))} \right) + 1 \\ R_B = R_M + \phi_4(d) \end{cases} \text{ Point C: } \begin{cases} N = N_m \\ R_B = R_M + \phi_4(d) \end{cases} \text{ Point D: } \begin{cases} N = N_m \\ R_B = \frac{\phi_5(d) \cdot N_m}{2\pi} \end{cases}$$

### 3.3. CATIA V5 : KnowledgeWare et Visual Basic

KnowledgeWare est le module de gestion des connaissances intégré à CATIA V5 (figure 3). Il est notamment possible d'écrire des formules et des relations entre les paramètres qui ont été précédemment définis. Ces relations permettent de spécifier des contraintes sur les paramètres. Une formule est considérée comme une « entité de construction ». Elle fait partie de l'arbre de construction de la pièce et peut être activée ou désactivée.

D'autres possibilités telles que la vérification de contraintes ou l'utilisation de règle de constructions sont également disponibles. Une règle s'écrit de manière simple et utilise le langage Visual Basic. Elle permet notamment d'écrire des conditions de la forme « si A alors B Sinon C » où A, B et C sont des paramètres. Les règles offrent ainsi la possibilité d'intégrer des connaissances dans le modèle numérique 3D.



**Figure 3.** Possibilité de configuration de CATIA V5

Le langage Visual Basic permet l'intégration de connaissances dans le modèle de la pièce et la réalisation d'une interface homme-machine autorisant une utilisation plus simple et conviviale dans les tâches pour laquelle elle a été créée. La manipulation d'une pièce demande ainsi un effort moins important à l'utilisateur. Il gagne du temps en n'allant pas chercher dans le logiciel les sous-menus pour les actions qu'il veut effectuer puisque celles-ci se présentent à lui directement par l'intermédiaire de l'interface qui a été créée.

### 3.4. Développement de l'application KBE

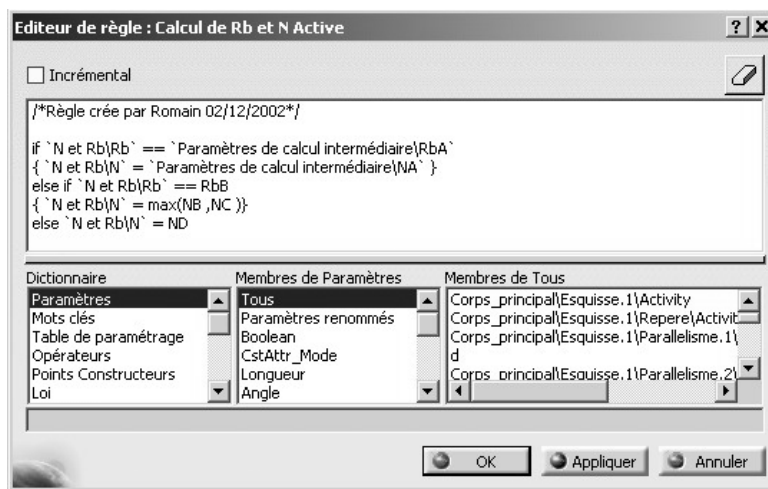
La première phase du développement d'une application KBE comme la nôtre réside dans la construction du modèle de référence sous CATIA. Un modèle paramétré de l'accouplement à plateaux est donc un prérequis.

#### 3.4.1. Intégration des formulations mathématiques

Comme nous l'avons vu précédemment, les formules définies dans CATIA V5 servent à contraindre le modèle en fonction de certains paramètres qui sont directement dérivés dans les connaissances métier nécessaires à la conception et au dimensionnement mécanique de l'objet de notre étude de cas. Elles sont également utiles pour appliquer des unités à des entités qui sont différentes du système de mesure dans lequel nous travaillons. En intégrant les formulations mathématiques relatives à l'optimisation de l'accouplement au modèle numérique 3D de la pièce, nous pouvons piloter les paramètres des plateaux de l'accouplement en agissant sur certaines grandeurs. Une valeur par défaut a été affectée à ces différents paramètres et les unités ont été spécifiées afin d'assurer la cohérence du modèle.

### 3.4.2. Intégration des règles de connaissances

En s'intéressant au calcul des différentes valeurs des points A, B, C et D définis à la section 3.2, nous pouvons introduire une « règle » dans CATIA V5 pour le calcul du nombre de boulons (NA). En effet, la distance par rapport au centre pour le point A est en fait le minimum de deux valeurs et NA qui en découle n'est pas le même selon qu'il s'agisse de l'une ou de l'autre de ces valeurs. Cette relation se faisant de manière « discrète », il n'est pas possible de la traduire par une simple utilisation de formule. Il a donc fallu créer une règle qui s'adapte au contexte dans lequel elle est utilisée.



**Figure 4.** Règle de CATIA V5 pour le choix du rayon et le nombre de boulons

La règle décrite figure 4 représente le choix final du nombre de boulons et de la distance de ces boulons par rapport au centre.

Le nombre de règles manipulables dans le cadre de notre approche est directement fonction de la capacité du solveur du logiciel. La gestion des paramètres, des relations et des règles en grand nombre risque d'aboutir à l'impossibilité de faire converger l'application vers une solution dans des temps raisonnables, voire l'incapacité à converger tout simplement. Ce type d'application n'a pour vocation que d'aider à la conception et au dimensionnement de systèmes ou pièces mécaniques simples.

Enfin, la gestion de la cohérence et la complétude des règles reste du ressort du cognitif et du développeur de l'application.

### 3.4.3. *Interface utilisateur*

Dans cet exemple, une interface utilisateur a été développée pour permettre au concepteur de rentrer les données initiales pilotant l'ensemble des formules et règles de connaissances du modèle géométrique 3D. La première étape pour l'utilisateur est de rentrer les différentes valeurs qui lui sont demandées. Ces valeurs sont celles qui sont utilisées comme données du problème dans l'exemple défini par (Lafon, 1994) décrit plus haut. L'utilisateur n'a plus qu'à lancer l'application qui va alors suivre les étapes suivantes :

- lecture des données,
- première itération,
- lecture des données,
- lancement de CATIA V5,
- importation de la pièce de référence,
- application des formulations et règles de connaissances,
- mise à jour du modèle 3D de la pièce,
- enregistrement du modèle,
- itération suivante.

La réalisation d'une interface permet trois avantages principaux :

- l'interface permet au concepteur d'effectuer un choix entre différentes solutions. Ce choix pour l'instant non assisté peut se faire en fonction de différents critères comme par exemple le coût. Actuellement notre approche consiste à proposer un ensemble de solutions répondant aux critères introduit par l'utilisateur mais il reste le seul décideur quant la solution finalement retenue ;

- l'interface permet également une utilisation de CATIA V5 simplifié. Le concepteur n'a plus besoin de manipuler le modèle géométrique. Il ne le manipule que lors de la consultation des différentes pièces ;

- le gain de temps est également important. En effet, l'application ne met que quelques secondes pour réaliser l'ensemble des modèles alors qu'il faudrait plusieurs dizaine de minutes à l'utilisateur seul pour effectuer la même tâche.

## 4. Conclusion

Les systèmes à base de connaissances tels que les applications KBE utilisent les connaissances métier de l'entreprise dans le but d'automatiser des tâches routinières. Ces applications visent un gain de temps conséquent autorisant l'utilisateur à se concentrer sur des activités qualitatives plutôt que quantitatives.

Pour la conception de produits, nous avons vu qu'il existait des énoncés de problème formalisés, contextualisés, et pour lesquels des algorithmes de résolution

ont été définis. Ceci représente des connaissances métiers, et sont maintenant exploitables par l'intermédiaire des applications KBE.

Nous avons, en effet, présenté dans cet article un exemple d'implémentation de KBE sur la base de la conception d'un système mécanique élémentaire. Nous avons ainsi pu réaliser une application KBE assistant l'utilisateur dans la préétude d'un certain nombre d'accouplements lui permettant par la suite de faire son choix entre ces différentes solutions. Il gagne ainsi un temps non négligeable qui le libère pour effectuer des activités de créativité et la recherche de nouveaux principes de solutions ou des technologies innovantes.

Notre approche vise à l'heure actuelle à spécifier une méthode de développement de KBE rapide et peu coûteuse en temps. Cette méthode doit permettre de générer des applications dédiées à des activités de conception routinière et de dimensionnement de mécanismes élémentaires souvent réitérées par des équipes d'ingénierie. Ce type d'applications offre notamment des opportunités d'évaluation en peu de temps de préconcepts et d'hypothèses d'ingénierie en phase d'avant-projet de conception mécanique. C'est actuellement dans ce type d'approche que sont orientés un certain nombre de grands comptes industriels afin d'être capables de répondre rapidement à des devis et d'avoir une vision claire de la faisabilité technique du mécanisme et de la pièce à concevoir.

## 5. Bibliographie

- Blount G., Kneebone S., Kingston M., « Selection of knowledge based design engineering applications », *Journal of Engineering Design*, Vol. 6, 1995, p 31-38.
- Brown D.C., Chandrasekaran B., « Expert system for a class of mechanical design activities », *Knowledge Engineering in Computer Aided Design*, Elsevier, Amsterdam, 1985.
- Caillaud E., Modélisation des connaissances – un outil d'aide à la conception des montages d'usinage, Thèse de doctorat de l'Université Bordeaux I, France, 1995.
- Callot M., Quencez P., Vargas C., « MOKA : projet de développement d'une méthode et des outils associés pour la réalisation d'applications à base de connaissances pour la CFAO », *Actes de la 18<sup>e</sup> Conférence Internationale sur la CFAO, la Simulation et les Nouvelles Technologies de Conception et de Fabrication – MICAD'99*, Paris, France, février 1999.
- Chapman C., The design process: a need to rethink the solution using knowledge based engineering, MSc Thesis, University of Warwick, 1997.
- Coppens C., « Les outils KBE : une approche chez PSA Peugeot Citroën », *Proceedings of 4<sup>th</sup> International Conference on Integrated Design and Manufacturing in Mechanical Engineering – IDMME 2002*, Clermont Ferrand, France, 14-16 mai 2002.

- Duprieu B., Caillaud E., Courbot S., Fortunier R., « Conception d'outillages pour emboutissage profond : capitalisation de connaissances », *Proceedings of 3rd International Conference on Integrated Design and Manufacturing in Mechanical Engineering – IDMME 2000*, Montréal, Québec, Canada, 17-19 mai 2000.
- Ermine J.L., *La gestion des connaissances*, Hermès-Lavoisier, Cachan, 2003.
- Farreny, *Les systèmes experts : principes et exemples*, Cépaduès, Toulouse, 1989.
- Franck D., « The importance of knowledge management for BMW », *Proceedings of the International Conference on Engineering Design - ICED'99*, Munich, Allemagne, 24-26 août 1999.
- Gardan Y., *Outils et applications de l'intelligence artificielle en CFAO*, Hermès, Paris, 1990.
- Gero J.S., « Artificial intelligence in computer-aided design: Progress and prognosis », *Computer-Aided Design*, Vol. 28, n°3, pp 153-154, 1996.
- Girard P., Castaing A., Noël F., « Product – Process – Organisation integration to support design performance », *Proceedings of the Pacific Conference on Manufacturing – PCM 02*, Bangkok, Thailand, 27-29 novembre 2002.
- Grabowski H., Lossack R.S., Weis C., « Supporting the design process by an integrated knowledge based design system », *Advances in formal design methods for CAD - IFIP International Conference*, Mexico, Mexique, 1995.
- Grundstein M., Barthès J-P., « An Approach to Enterprise Knowledge Capitalization, in. Knowledge Management », *Enterprise, Network and Learning. Advances in Knowledge Management*, Vol 2, Schreinemakers J., Barthès J-P. (Eds), Ergon Verlag, Germany, 1999, p 151-159.
- Grundstein M., Rosenthal-Sabroux C., « Reinforcing decision aid by capitalizing on company's knowledge: Future prospects », *European Journal of Operational Research*, Vol. 145, n°2, 2003, p 256-272.
- Ingrand, F., *Inférence de formes à partir des fonctions – application à la conception de montage d'usinage*, Thèse de 3<sup>e</sup> cycle de l'Institut National Polytechnique de Grenoble, France, 1987.
- Kolodner, J.L., *Case Based Reasoning*, Morgan, 1993.
- Lafon P., *Conception optimal de systèmes mécaniques : optimisation en variable mixte*, Thèse de doctorat de l'INSA de Toulouse, France, 1994.
- Lovett P.J., Ingram A., Bancroft C.N., « Knowledge-based engineering for SMEs : a methodology », *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 107, 2000, p 384-389.
- Maher M.L., « CBR as a framework for design », *Proceedings of AAAI Workshop on Case Based Reasoning Integrations*, Madison, Wisconsin, 1998.
- Nelson R., Winter S., *An evolutionary theory of economic change*, Harvard University Press, Cambridge, MA, 1982.
- O'Sullivan B.A., *Constraint-Aided Conceptual Design*, PhD Thesis of National University of Ireland at Cork, 1999.

- Ping Hew K., Fisher N., Awbi H., « Towards an integrated set of design and tools based on a common data format for building and services design », *Automation in Construction*, Vol. 10, n°4, 2001, p 459-476.
- Saxena M., Irani R.K., « A knowledge based engineering environment for automated analysis of nozzles », *Concurrent Engineering: Research and Applications*, Vol 2, n°1, 1994.
- Sriram D., Stephanopoulos G., Logcher R., Gossard D., « Knowledge based system : application in engineering design », *AI Magazine*, Vol. 10, n° 3, p. 79-95, 1989.
- Su D., Wakelam M., Jambunathan K., « Integration of a knowledge-based system, artificial neural networks and multimedia for gear design », *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 107, 2000, p 53-59.
- Susca L., Mandorli F., Rizzi C., Cugini U., « Racing car design using knowledge aided engineering », *Artificial Intelligence for Engineering Design, Analysis and Manufacturing*, Vol. 14, 2000, p. 235-249
- Silberberg Y., Réalisation d'un système intelligent d'aide à la conception de mécanismes. Application à la réalisation d'un arbre de transmission, Thèse de doctorat de l'université Blaise Pascal, Clermont-Ferrand, France, 1994.
- Tollenaere M., Application de l'intelligence artificielle à la conception mécanique : un exemple, les blocs forcés hydrauliques, Thèse de doctorat de l'Université Joseph Fourier, Grenoble 1, France, 1991.
- Trousse B., Coopération entre systèmes à base de connaissances et outils de CAO : l'environnement multi-agent ANAXAGORE, Thèse de doctorat de l'Université de Nice Sophia-Antipolis, 1989.
- Tsang J.P., Brissaud D., « Méthodologie de structuration, illustration sur la conception d'un système de CFAO PROPEL », *Revue internationale de CFAO et d'informatique graphique*, Hermès, Vol. 2, n°3, 1987.
- Vancza J., « Artificial intelligence support in design: a survey », *Integration of Process Knowledge into Design Support Systems*, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 1999.
- Véron M., Modélisation et résolution du problème de configuration industrielle : utilisation des techniques de satisfaction de contraintes, Thèse de doctorat de l'Institut National Polytechnique de Toulouse, 2001.
- Yvars P.A., Contribution à la représentation de connaissances en ingénierie intégrée de produits et de systèmes automatisés de production, Habilitation à diriger des recherches de l'Institut National Polytechnique de Grenoble, France, 2001.