

Vers une ingénierie hautement productive basée sur des méthodes et outils d'extraction de connaissances

MATHIEU LEBOUTEILLER^{1,2}, INAYA LAHOUD², NADHIR LEBAAAL², SAMUEL GOMES²

¹ Faurecia

R&D center Bois sur Prés, 25550 Bavans, France
prenom.nom@faurecia.com

² Laboratoire M3M

UTBM 90010 Belfort Cedex, France
prenom.nom@utbm.fr

Résumé – Ce papier présente une méthodologie d'extraction de la connaissance embarquée dans les modèles 3D CAO (Conception Assistée par Ordinateur), basée sur des outils existants dans le commerce de recherche de similarité 3D ainsi que sur des algorithmes de recherche de similarité entre les paramètres de conception.

La gestion des connaissances est au cœur du *lean engineering*. Dans notre méthodologie, elle est déployée sous la forme d'une méthodologie baptisée KEM-KAD (Knowledge Extraction Methodology based on Knowledge Aided Design files) s'appuyant sur deux approches nommées Knowledge Configuration Management (KCM) et Knowledge Extraction Assistant (KEA).

L'approche KCM permet une approche très analytique de la gestion de la connaissance. Elle requière une approche très intégrée, incluant par exemple l'utilisation de modèles géométriques paramétrés. Cependant cette approche ne peut pas être déployée dans tous les bureaux d'études d'une entreprise multi-sites.

Notre méthodologie a pour but d'extraire le savoir-faire embarqué dans les définitions géométriques 3D dans les cas où les modèles CAO ne dispose d'aucune traçabilité en termes de connaissances métier, c'est-à-dire, n'embarquent aucune règle d'ingénierie et n'ont pas été générés par des outils de type Knowledge Based Engineering (KBE). Pour ces situations nous proposons de compléter cette approche à travers une approche globale, centrée sur les définitions 3D des produits. Cette approche utilise des outils de type Knowledge Extraction Assistant (KEA).

En déployant cette méthodologie, nous pouvons mieux déployer une démarche de capitalisation des connaissances et des savoir-faire produit-process à des fins d'amélioration de la productivité et de la qualité des processus routiniers de conception.

Abstract - This paper presents a global methodology to extract inherent knowledge from 3D CAD models, based on commercial 3D similarity search tools as well as algorithms of similarity search between design parameters.

The management of knowledge is the heart of lean engineering. In our suggested methodology this is implemented through tools called Knowledge Configuration Management (KCM) and Knowledge Extraction Assistant (KEA).

KCM tools are lean engineering components that provide highly analytical approach to knowledge management. These tools require a highly integrated approach that involves for example predefined geometrical parametric models. But this approach cannot be deployed in all engineering sites.

Our approach aims at extracting knowledge in cases where design never came out of Knowledge Based Engineering (KBE) applications. In those situations, it seems important to complete this knowledge management approach. This is achieved through a global approach, focusing on the product's 3D definitions.

We suggest to introduce the latter approach by a suite of digital Knowledge Extraction Assistant (KEA) tools (interfaced with KCM tools).

Implementing this methodology, a deeper knowledge of the product and its associated process can be acquired. This ensures a more productive and efficient design process.

Mots clés – Ingénierie à base de connaissances, Système de gestion de données, Outils de recherche 3D, Assistant d'extraction de la connaissance.

Keywords - Knowledge Based Engineering, Product Data Management, 3D search tools, Knowledge Extraction Assistant.

1 INTRODUCTION

Aujourd'hui face à un marché globalisé soumis à une concurrence forte des pays émergents, les facteurs Qualité, Coût, Délai (QCD) n'ont jamais été aussi importants dans l'industrie manufacturière, en général, et dans l'industrie automobile, en particulier.

Après le *lean manufacturing* [1], bien connu dans le milieu de la production, le *lean thinking* est aujourd'hui mis en place dans le domaine de l'ingénierie et du développement

de produits. On parle alors de *lean engineering* voire de *lean product development*.

Selon [2], le *lean thinking* est le résultat de l'application de cinq principes : définir précisément la valeur du produit, identifier les flux de valeur pour chaque produit, mettre en place des flux de valeurs sans interruption, et tendre vers la perfection. Cette vision peut être résumée par les deux principaux concepts suivants :

- Réduire les temps d'ingénierie routinière : ce qui correspond à réduire les temps de recherche d'informations, effectuer un meilleur agencement des tâches, etc...
- Ramener l'étude de la faisabilité dans les phases amont de conception : justifier toutes les spécifications avec le savoir-faire issu d'expériences passées, acquérir le savoir manquant, etc...

Notre démarche s'inscrit dans un cadre plus global de *lean product development* visant à améliorer la productivité des processus d'ingénierie d'au moins 100%. C'est-à-dire que nous visons une ingénierie hautement productive consistant à diviser au moins par deux les temps dédiés à l'ingénierie routinière des produits. Pour ce faire, la méthodologie que nous proposons s'articule autour de techniques de gestion de l'information technique (approche PLM (Product Lifecycle Management)), de gestion des connaissances métiers (approche Knowledge Based Engineering (KBE)) et de modélisation géométrique avancée (approche Conception Assistée par Ordinateur (CAO) paramétrée et réglée) [Gomes, 2008].

En ce qui nous concerne, nous nous focaliserons plus spécifiquement sur la gestion du savoir-faire (existant, nouveau ou à acquérir) qui constitue le cœur de la démarche *lean engineering*. Nous proposons, dans cet article, une méthodologie d'ingénierie à base de connaissances déployée à travers deux approches qualifiées de *Knowledge Configuration Management (KCM)* et de *Knowledge Extraction Assistant (KEA)*.

Suite à un état de l'art dans le domaine, nous présenterons notre démarche d'extraction de connaissances enfouies dans les modèles CAO baptisée KEM-KAD (Knowledge Extraction Methodology based on Knowledge Aided Design files). Un cas d'application industriel est proposé pour expérimenter les concepts proposés.

2 ETAT DE L'ART

La problématique de la gestion du savoir-faire et des connaissances est abordée par trois approches différentes. La première est l'approche ascendante / descendante. Dans les approches telles que MKSM (Methodology for Knowledge System Management) [Ermine, 2000], MASK (Méthode d'Acquisition et de Structuration des Connaissances) [Ermine, 2002], CYGMA (CYcle de vie et Gestion des Métiers et Applications) [Serrafero, 2002], etc, les experts sont considérés comme source de connaissances. La seconde est l'approche décisionnelle, les modèles sont le QOC (Questions, Options and Criteria) [Toussaint, 2010], DYPKM (DYnamicProcess for Knowledge Management) [Bekhtl, 2003], et DRAMA (Design RAtionale MAnagement). La troisième est l'approche organisationnelle, telle que celle proposée par Monticolo, via le paradigme agent [Monticolo, 2008]

Aujourd'hui, les travaux traitant d'extraction de la connaissance sont principalement centrés sur trois thèmes : l'extraction de connaissance à partir d'un texte [3], l'extraction de caractéristiques géométriques (*features*) à partir de modèles CAO [6][4][5], et l'extraction de connaissance depuis les plan 2D [7]. Très peu de travaux portant sur l'extraction des règles métiers contenues dans

les modèles 3D CAO sont disponibles dans la littérature scientifique.

Les outils de recherche de similarité 3D entre les modèles CAO sont aujourd'hui utilisés pour aider à la réutilisation de composants existants. Ils évitent aux concepteurs de dupliquer les modèles CAO et permettent un gain potentiel non négligeable aux entreprises utilisant ces outils. Ils accélèrent également les processus de réduction de la complexité.

Dans le cadre de notre méthodologie nous nous sommes orientés vers l'utilisation de ces outils pour rechercher des familles de pièces similaires et en extraire des paramètres clés, afin plus tard de faire émerger de potentielles règles métiers.

Les outils de recherche de similarité 3D sont basés sur la comparaison des signatures géométriques des modèles 3D. Cette signature est une représentation mathématique de la forme 3D de la pièce.

Les travaux concernant l'utilisation de la signature géométrique pour comparer différents modèles CAO 3D entre eux ont connus un récent regain d'attention dans la communauté CAO. Selon plusieurs études publiées, les signatures géométriques peuvent être basées soit sur des caractéristiques géométriques (*features*), soit sur une fonction spatiale, soit sur un histogramme géométrique, soit sur une analyse de section, un graphique topologique ou encore des statistiques géométriques [8]. Des études récentes permettent de compléter ces approches par des algorithmes de recherche automatique de similarité 3D basés sur des graphes topologique et des graphes d'agencement de type *form-feature* [9]. Cette dernière approche permet d'obtenir, en effet, de meilleurs résultats, notamment sur les petites variations géométriques.

Dans notre méthodologie nous tentons d'extraire les connaissances embarquées dans les modèles CAO 3D. Il est donc important de définir ce qu'est le concept de « connaissance », quelles en sont les typologies, comment elle se différencie des concepts de « données » et « d'information »... Selon [10], les connaissances peuvent être divisées en deux catégories : les connaissances tacites et les connaissances explicites. Les connaissances tacites [11] peuvent être définies comme étant des connaissances très personnelles et difficiles à communiquer ou à partager avec d'autres personnes. Elles sont donc, par nature, difficilement retranscriptibles dans des outils informatiques.

Au contraire des connaissances explicites, qui sont des connaissances acquises principalement lors de la scolarité, qui peuvent être plus facilement retranscrites par des mots ou des chiffres afin d'être partagées (Domaine de valeur d'un paramètre, règles logique de type « si-alors-sinon », formules mathématique, abaque graphique...). Mis sous cette forme, de telles connaissances demeurent plus faciles à capitaliser dans le cadre de projets d'ingénierie.

3 METHODOLOGIE PROPOSEE

Notre méthodologie d'extraction de la connaissance baptisée KEM-KAD (Knowledge Extraction Methodology based on Knowledge Aided Design files) s'appuie sur deux outils nommés *Knowledge Configuration Management (KCM)* et *Knowledge Extraction Assistant (KEA)*, évoqués précédemment. Nous ne reviendrons que très rapidement sur l'approche KCM déjà développée par plusieurs auteurs

[Vernier et al., 2010] [Vernier et al., 2011][13] si ce n'est qu'à travers la mise en œuvre d'une approche ontologique [Monticolo, 2008] et nous nous concentrerons davantage sur l'approche KEA. La figure 1 ci-après, traduit un schéma décrivant la complémentarité entre les deux approches. En effet, l'approche KEM-KAD s'appuyant sur des outils de KEA proposée permet de combler les lacunes des outils de type KCM tout en l'alimentant en règles métier. Cette approche est décomposée en six étapes :

- L'utilisation d'outils de type KCM (cf §3.1)
- la création d'applications de type KBE (cf §3.1.2)
- L'utilisation d'outils de recherche de similarité 3D (cf §3.2.1)
- L'extraction des paramètres des fichiers CAO (cf §3.2.2)
- L'utilisation d'algorithmes de recherche de similarité 3D (cf §3.2.3)
- La soumission des règles pour validation aux experts métier (cf §3.2.4)

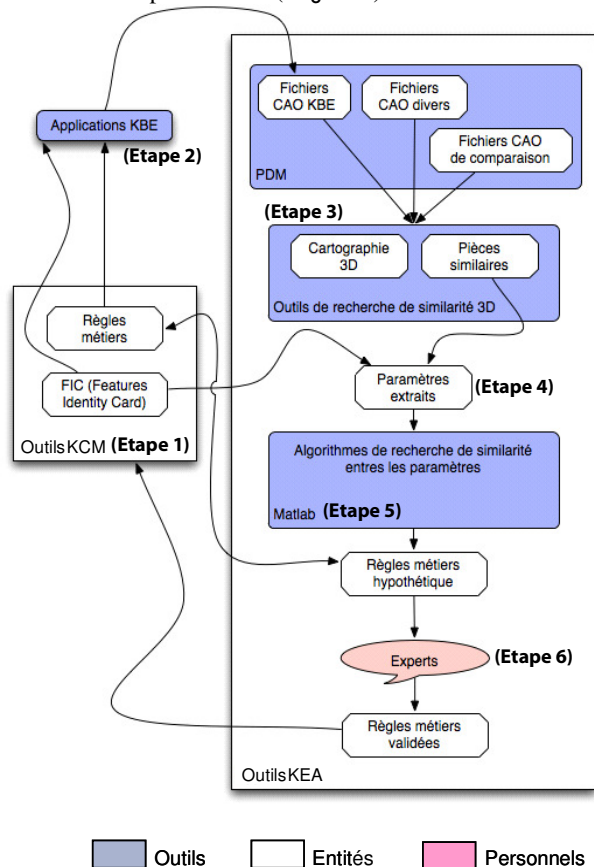


Figure 1. Schéma de la méthodologie KEM-KAD proposée en lien avec les outils de KCM et de KEA

3.1 Outils de type KCM

Les outils de type KCM permettent une approche très analytique de la gestion des connaissances. Ces outils requièrent une approche très intégrée qui inclut, par exemple, l'utilisation de modèles paramétriques, ou encore le suivi continu des paramètres de conception et de leurs valeurs respectives, à chaque jalon du projet. L'approche KEM-KAD que nous proposons est destinée aux experts métier dans la mesure où elle permet de faciliter l'extraction et la capitalisation des connaissances et savoir-faire métier encapsulés dans les modèles CAO.

Une fois les connaissances formalisées, elles pourront être mises à disposition des concepteurs dans le cadre des approches traditionnelles de type KCM.

3.1.1 Permettre une capitalisation et une formalisation du savoir-faire par l'utilisation des FIC

La première étape de l'approche KEM-KAD utilisant les outils KCM de la méthodologie proposée par [Vernier et al., 2011] est une étape longue et fastidieuse puisqu'il s'agit de capitaliser et de formaliser le savoir-faire métier de l'entreprise.

Elle nécessite d'adopter une démarche rigoureuse afin de faciliter la réutilisation des différents paramètres utilisés dans les règles métiers.

Nous ne reviendrons pas dans cet article sur les méthodes de capitalisation des connaissances car déjà largement abordée dans l'état de l'art précédent.

L'approche retenue, pour formaliser le savoir-faire et les règles métier, passe par un langage de représentation des connaissances qui nous permet à la fois de raisonner sur les connaissances, et de garantir la sémantique entre les connaissances dans le domaine étudié. Aujourd'hui l'ontologie est un des langages de représentation des connaissances les plus importants et son intérêt provient de sa capacité à structurer les connaissances explicites du domaine étudié et d'en déduire d'autres connaissances implicites intéressantes [Gandon, 2002].

En philosophie, selon [Shirky, 2005] l'ontologie est « l'étude des entités et de leurs relations », il pose également la question suivante : quelles entités existent ou peuvent exister dans le monde, et quelles sont les relations qui les lient ?

Plusieurs définitions de l'ontologie existent dans la littérature scientifique mais la plus largement utilisée est celle de [Gruber, 1993]: « une ontologie est une spécification explicite et formelle d'une conceptualisation partagée d'un domaine de connaissance ». Ainsi une spécification est formelle quand elle est compréhensible par une machine, et explicite parce que les concepts, relations, fonctions, contraintes, axiomes sont explicitement définis.

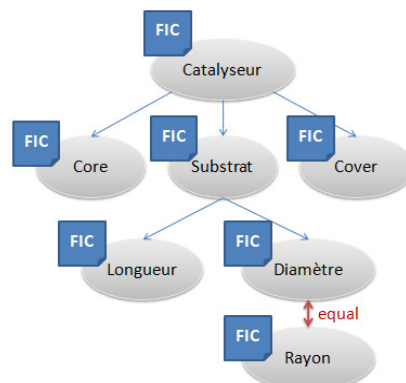


Figure 2. : Ontologie réduite d'un catalyseur de ligne d'échappement

Une ontologie décrit les concepts et les relations qui sont importants dans un domaine particulier, en fournissant un vocabulaire pour ce domaine ainsi que la description automatique du sens des termes utilisés dans le vocabulaire.

Ces dernières années, les ontologies ont été introduites dans de nombreuses communautés scientifiques afin de partager, et de réutiliser les connaissances d'un domaine spécifique. Les ontologies sont devenues vitales pour de nombreuses applications telles que les portails de la connaissance scientifique, la gestion de l'information et intégration de systèmes, le commerce électronique et les web services sémantiques.

Dans la méthodologie KEM-KAD, nous utilisons les ontologies pour formaliser le savoir-faire métier de l'entreprise. Ces ontologies contiennent des concepts, des relations, des axiomes, et des instances comme l'illustre la figure 2 ci-avant.

Afin de faciliter la réutilisation des connaissances, donc des règles métiers et des paramètres identifiés grâce à l'ontologie présentée précédemment, nous proposons de mettre en place ce que nous qualifierons ici de FIC (Feature Identity Card) pour chaque entité capitalisée. La FIC est une représentation des connaissances à un instant donné d'un projet. Par entité capitalisée, nous entendons ici soit un produit, une pièce ou un paramètre. Chacune de ces entités peut être reliée à une autre par un lien de type parent-enfant. Ces FIC constituent des métadonnées associées aux entités. Elles sont indispensables pour ensuite savoir exactement dans quelle configuration instanciée se trouve chaque entité. Ainsi, lors de la capitalisation des connaissances, il s'agira de formaliser les liens parents-enfants, ainsi que le positionnement géométrique des paramètres vis-à-vis des entités 3D sur lesquelles elles s'appuient.



Figure 3. Exemple de FIC pour un produit silencieux (muffler)

Les FIC (Feature Identity Card) contiennent donc des informations sur le contexte d'utilisation de l'entité instanciée. Elles contiennent un numéro unique, ici qualifié de « ID ». Cet ID est propre à chaque famille d'entité. Par exemple, la famille tube aura le numéro de famille 125. Lors de l'instanciation, nous rajoutons un deuxième numéro qui lui, est propre à l'entité instanciée. Ainsi uniquement avec l'ID d'une entité, il est possible de savoir à quelle famille appartient cette entité, ainsi que son numéro d'instanciation dans la famille en question. La figure 2 montre un exemple de FIC pour un produit silencieux (muffler).

Le savoir-faire ainsi capitalisé et formalisé sous forme de règles métier inscrites dans des regroupements de règles qualifiés de KCS (pour Knowledge Check Sheets) est

stocké dans la base de données de l'outil KCM stockant les configurations de connaissances. La figure 4 ci-dessous traduit un exemple de règle métier capitalisée, à savoir le format de la nappe d'un catalyseur en fonction de la largeur B.

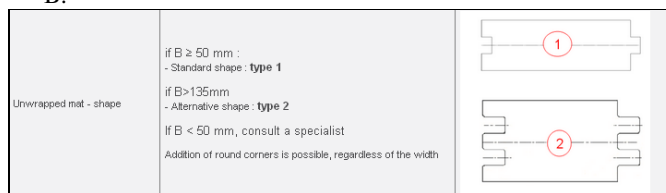


Figure 4. Exemple de règle métier

Une fois cette étape de capitalisation et de formalisation effectuée, il s'agit de réutiliser en contexte projet tout le savoir-faire acquis en associant les KCS (pour Knowledge Check Sheets) aux pièces qui constituent la nomenclature.

3.1.2 Permettre une meilleure intégration du savoir-faire dans le développement de produits par la création d'applications de type KBE

Afin de mieux réemployer le savoir-faire capitalisé dans la première partie de la méthodologie, nous utilisons des applications métiers de type KBE. La figure 5 ci-après traduit un exemple d'application métier, dédiée à la conception et au dimensionnement de catalyseur de ligne d'échappement, actuellement utilisée dans l'industrie automobile. Ces applications métiers utilisent des programmes développés sous VBA pour Catia™ ou encore sous Kadviser™, moteur d'inférence à propagation de contraintes permettant d'assister le concepteur à l'aide de raisonnements utilisant les connaissances métier capitalisées. Ces applications métier embarquent toutes les règles métiers issues des connaissances explicites et permettent aux concepteurs de concevoir correctement, dès la première itération. De plus elles permettent un gain de temps significatif contribuant à réduire non seulement les délais d'ingénierie routinière mais aussi la qualité des produits conçus car conforme à l'ensemble des règles et savoir-faire métier de l'entreprise.

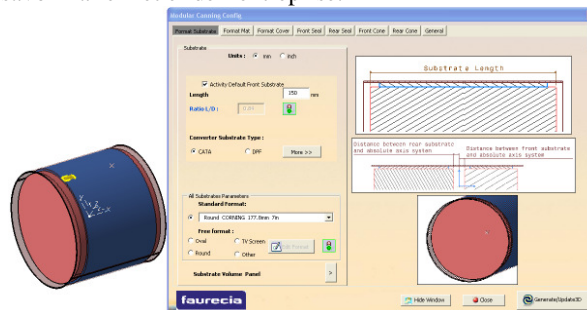


Figure 5. Exemple d'application KBE

La principale difficulté de l'approche proposée réside dans le fait qu'elle ne peut être déployée dans tous les bureaux d'études d'une entreprise multi-sites. Un certain nombre de modèles CAO ne pourront être systématiquement issus d'une telle approche. Cependant, de tels modèles embarquent néanmoins du savoir-faire de l'entreprise qu'il convient également de capitaliser afin de l'injecter à nouveau dans les applications de type KBE. Nous proposons donc de compléter cette première approche avec une démarche permettant d'extraire les règles embarquées dans les modèles CAO non générés par l'approche utilisant

les outils de KCM, décrite précédemment. C'est l'objectif que nous nous sommes fixés avec l'approche KEM-KAD s'appuyant sur les outils de KEA.

3.2 Outils KEA

Deux raisons persistent pour développer de tels outils de KEA. La première raison réside dans le fait que l'émergence des outils de KCM est encore trop récente pour que ces outils puissent être déployés et expérimentés à grande échelle. Certains sites industriels d'ingénierie ne pourront bénéficier que difficilement de tels outils et ceci pour différentes raisons (contraintes des clients, processus de standardisation non mis en place...). La deuxième raison provient de la constitution même des outils de Product Data Management (PDM) qui stockent les modèles géométrique CAO analysés. Comme l'illustre la figure 6, les fichiers qui les composent peuvent être classifiés de la façon suivante :

- 1) Des fichiers CAO générés par les applications KBE provenant des outils KCM
- 2) Des fichiers CAO générés par les applications KBE
- 3) Des fichiers CAO configurés de manière floue à l'initiative du concepteur.
- 4) Des fichiers contenant de la géométrie morte

Dans les cas 1) et 2), évoqués au paragraphe précédent, le savoir-faire embarqué est connu puisqu'il a été capitalisé avant d'être intégré dans les applications. Cependant dans ces deux premiers cas ainsi que dans les cas 3) et 4), il y a certainement du savoir-faire qui n'est pas encore capitalisé. Le but premier de l'approche KEM-KAD est donc d'extraire la connaissance embarquée dans ces fichiers géométrique, stockés dans le PDM, afin de les réinsérer dans la base de données de l'outil KCM.

3.2.1 Méthodologie basée sur des outils de recherche de similarité 3D

La première étape de notre méthodologie KEM-KAD est basée sur des outils de recherche de similarité 3D tel que par exemple, 3DPartFinder™ proposée par l'entreprise 3D Semantix, ou encore 3DSearchIT™ développé par Cadbas. Le but affiché par de tels outils est d'identifier les géométries similaires stockées dans le PDM. Ces outils sont basés sur une signature 3D des modèles CAO prédéfinies lors d'une opération de référencement des modèles géométriques contenus dans la base de données.

Les outils de recherche de similarité utilisent des

algorithmes propriétaires pour comparer les signatures des fichiers CAO stockés dans le PDM avec celles de modèles de référence.

La question du choix des modèles de référence est très importante à ce stade puisqu'elle va déterminer en grande partie le résultat obtenu. Il faut donc définir une base de données de pièces de références qui serviront de base de comparaison pour le logiciel d'analyse de signatures géométrique choisi.

L'autre point important concerne les limitations de certains logiciels industriels de recherche de similarité 3D qui ne peuvent effectuer la recherche qu'à partir d'une pièce et non d'un assemblage complet de pièces. En effet, nous avons choisi d'utiliser le logiciel 3DPartFinder pour comparer les modèles CAO entre eux, même si ce dernier n'est aujourd'hui pas capable de mesurer les similarités entre des assemblages de pièces. Cependant, de nombreuses règles métiers découlent des contraintes liées aux assemblages entre les pièces, notamment les règles provenant du tolérancement des pièces.

La mise en place des FIC nous permet de pallier en partie à ce problème puisqu'à partir d'une pièce, il nous est possible de remonter à ses parents au niveau de l'arbre produit. Une fois atteint l'assemblage supérieur, nous pouvons comparer la famille de produits similaires ainsi obtenue.

3.2.2 Extraction des paramètres depuis les modèles géométriques 3D

Après avoir identifié les produits similaires dans le PDM, nous pouvons extraire les paramètres clés de chaque produit et de chaque pièce. A ce jour et compte tenu des technologies existantes, il est difficile d'extraire les paramètres contenus dans les fichiers CAO sans les ouvrir directement dans le modeleur CAO (Catia™, Unigraphics™, ProEngineer™...). Nous sommes donc contraint de faire tourner des macros de type VBA dans le modeleur pour en extraire les différents paramètres contenus dans l'arbre de conception des pièces. Pour l'instant il s'agit uniquement des paramètres qui sont remontés dans l'arbre de conception par les concepteurs, où déjà présent si la pièce provient d'une application de type KBE.

3.2.3 Manipulation des paramètres à l'aide d'algorithmes de recherche de similarité entre les paramètres

Nous utilisons dans cette section l'approximation diffuse afin de trouver et d'identifier toutes les règles possibles

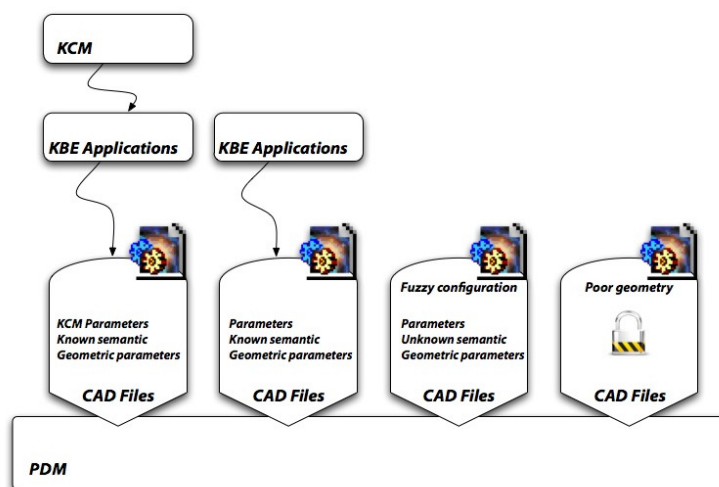


Figure 6. Constitution du PDM

entre les paramètres (fonctions et variables). Cette méthode va nous permettre d'extraire de manière automatique toutes les règles et relations possible.

L'expression vectorielle de l'approximation diffuse [Lebaal, 2005] s'écrit comme suit :

$$\tilde{f}(x) = P(x)^T a(x) \quad (1)$$

$P(x) = \langle p_1(x), p_2(x), \dots, p_m(x) \rangle$ est le vecteur des fonctions de base $p_i(x)$, et $a^T = \langle a_0, a_1, a_2, \dots, a_m \rangle^T$ est le vecteur des m coefficients $a_i(x)$.

Nous cherchons les coefficients a_i de l'approximation \tilde{f} de la fonction $f(x)$ avec des fonctions de base $P(x)$ et les valeurs de la fonction F sur une collection de points x_i .

Les coefficients $a(x)$ sont déterminés par minimisation de l'expression ci-dessous de la méthode des moindres carrées :

$$\begin{aligned} R(a) &= \sum_{i=1}^n (f(x_i) - \tilde{f}(x_i))^2 \\ &= \sum_{i=1}^n (f(x_i) - P(x_i)^T a(x))^2 \\ &= \frac{1}{2} (F - P \cdot a)^T \cdot (F - P a) \end{aligned} \quad (2)$$

Les matrices F et P sont définies par :

$$F^T = \langle f(x_1), f(x_2), \dots, f(x_n) \rangle \quad (3)$$

$$P = \begin{bmatrix} P^T(x_1) \\ P^T(x_2) \\ \vdots \\ P^T(x_n) \end{bmatrix}_{n \times m} \quad (4)$$

Avec $R(a)$ l'erreur entre la fonction d'approximation et la fonction « réelle », n est le nombre des points d'évaluation.

La minimisation de $R(x)$ donne:

$$\frac{\partial R}{\partial a} = A(x) \cdot a(x) - B(x) \cdot F = 0 \quad (5)$$

avec :

$$\begin{aligned} A(x) &= \sum_{i=1}^n P(x_i) P^T(x_i) \\ &= P^T P \end{aligned} \quad (6)$$

$$\begin{aligned} B(x) &= \langle p(x_1), p(x_2), \dots, p(x_n) \rangle \\ &= P^T \end{aligned} \quad (7)$$

Ainsi nous avons :

$$a(x) = A^{-1}(x) B(x) F \quad (8)$$

L'erreur représente le résidu R . Si l'erreur est inférieure à $\mathcal{E} = 10^{-10}$, nous considérons qu'il y a une relation entre les

paramètres. Dans ce cas, la relation est égale à $P(x_i)^T a(x)$.

3.2.4 Soumission pour validation des règles métiers aux experts

Une fois les hypothétiques règles extraites, nous devons les comparer aux règles déjà présentes dans la base de données KCM. Dans la mesure où elles ne sont pas déjà présentes et référencées dans l'outil KCM, nous pouvons les soumettre aux experts métiers pour validation.

4 CAS D'APPLICATION : LE CATALYSEUR D'UNE LIGNE D'ÉCHAPPEMENT AUTOMOBILE

Aujourd'hui, nous avons pu expérimenter notre méthodologie KEM-KAD sur un cas d'application provenant de l'industrie automobile : le catalyseur d'une ligne d'échappement. Pour les besoins de l'étude, nous avons recréé une base de données de pièces uniquement avec des applications de type KBE alimentées par l'outil de KCM KrossRoads (« Knowledge CrossRoads » pour « carrefour de connaissances ») développé dans le cadre des travaux de recherche de Cyrille Vernier [Vernier et al., 2010] [Vernier et al., 2011]. Ainsi nous pouvons expérimenter de manière conjointe les outils issus de l'approche KCM avec ceux issus de la méthodologie KEM-KAD. Cette démarche de validation constitue une première étape de nos travaux de recherche. Elle devra être consolidée ultérieurement par une validation sur des modèles CAO paramétriques qui n'auraient pas été créés à partir des outils KCM.

4.1 Définition de la nomenclature

Dans notre cas expérimental de conception du catalyseur automobile, toutes les règles ont été au préalable capitalisées auprès des experts métiers.

Tableau 1. Nomenclature d'un catalyseur

Niveau	Désignation	Quantité
0	Catalysor_1BlocSubstrate	1
1	CanningModular_1BlocSubstrate	1
2	Substrate	1
2	Mat	1
2	Cover	1
2	FrontSeal	1
2	RearSeal	1
1	FrontCone	1

La première étape consiste donc à créer la BOM de ce composant afin de pouvoir y associer les KCS. Le tableau 1 ci-après illustre la nomenclature du catalyseur choisi pour les besoins de l'expérimentation réalisée. Sont représentés aussi bien le niveau de chaque pièce dans l'arbre produit mais aussi la quantité.

4.2 Définition des règles métiers associées

La nomenclature établie, nous pouvons associer les KCS à chacun des composants du produit. Ces même KCS contiennent les règles mais aussi les paramètres de conception. Le tableau 2 ci-avant montre une partie des KCS et des règles associées à un cône de catalyseur.

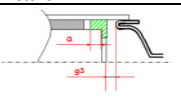

DCS	Rule	Description	Picture
DCS - EUR - Assembled Cat converter & DPF - Canning isocat with cones	Spherical upwarded cone - Gap seal/cone	Is the gap between the L-seal and the cone respected? Nominal : g3=1 mm Real : -0.5mm < g3 < 3.5mm g3 < a	
	Spherical upwarded cone - Gap monolith/cone	Is the gap between the monolith and the cone respected? g4 ≥ 1.5mm	

Tableau 2. Exemple de KCS et règles associées à un cône de catalyseur

Chaque règle est constituée de paramètres qui seront réutilisés dans les applications KBE et les modèles génériques par la suite.

4.3 Création applications KBE embarquant les règles produits-process

Lorsque toutes les règles associées à notre projet sont définies, nous pouvons créer les applications KBE embarquant ces règles métier. Nous générons ensuite grâce aux applications de type KBE quinze catalyseurs, sept de format rond et huit de format ovale. Auxquels nous associons dans la base de données dix tubes de diamètre et longueur différents, ainsi que dix silencieux.

4.4 Utilisation de 3DPartFinder pour extraire les familles de pièces similaires

La prochaine étape de la méthodologie KEM-KAD consiste à utiliser un logiciel de recherche de similarité 3D pour extraire les familles de pièces similaires. Nous avons utilisé le logiciel 3DPartFinder développé par la société 3D Semantix pour effectuer cette tâche.

Dans notre cas expérimental, nous n'avons choisi qu'une seule pièce de référence. Cette pièce est un cône de catalyseur à section ronde, elle est représentée dans la figure 7 ci-après. Cette pièce est certes géométriquement assez simple mais elle permet de se rendre compte de l'efficacité de la méthodologie mise en place. Le logiciel utilisé pour la comparaison géométrique fonctionne aussi bien avec des pièces géométriques simples qu'avec des pièces plus complexes.

Cet outil utilise des algorithmes propriétaires de comparaison des signatures numériques des pièces pour identifier les pièces géométriquement similaires.

Après avoir scanné la base de données, le logiciel reconnaît les sept cônes de formes rondes, ainsi que deux cônes de sections ovales comme étant des pièces similaires. Les FIC nous permettent cependant de restreindre ce choix aux sept cônes de formes rondes, compte-tenu de leurs sections différentes. Ces mêmes FIC nous permettent de remonter jusqu'au produit supérieur, à savoir les sept catalyseurs de section ronde.

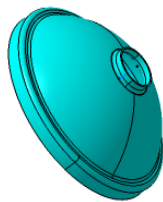


Figure 7. Modèle de référence choisi pour la recherche de similarité

Après avoir extrait une famille de pièces similaires, nous utilisons une macro VBA pour extraire les paramètres des fichiers CAO 3D.

4.5 Comparaison des paramètres et recherche de règles

Afin d'extraire les règles potentielles entre les paramètres extraits précédemment, nous utilisons un algorithme Matlab de recherche de similarité entre des paramètres.

Le tableau 3 ci-après montre un extrait de la liste de relations potentielles extraites par l'algorithme. Si on prend par exemple la ligne surlignée en jaune, on peut conclure grâce au paramètre « erreur » égal à zéro qu'il existe une relation entre le paramètre 7 et les paramètres 3, 2 et 6.

Cette relation a pour forme :

$$V7 = V3 + 2*V2 + 2*V6 \quad (9)$$

Ce qui correspond, si on reprend les noms des paramètres à la relation :

$$r_{cover} = r_{substrat} + 2*gap_{mat/substrat} + 2*epaisseur_{cover} \quad (10)$$

Tableau 3. Extrait de la liste de relation et de coefficient extrait par l'algorithme Matlab

Fonction	V1	V2	V3	erreur	coef1	coef2	coef3	coef4
0.0007	0.0003	0.0002	0.0005	0.0006	0.0075	0.0011	0.0004	-0.0003
0.0007	0.0003	0.0002	0.0006	0	0	0.0001	0.0002	0.0002
7	3	2	8	3.389	4.9705	0.9482	3.0652	0.0182

La figure 8 est un graphique 4D qui représente la relation entre les quatre paramètres listés ci-dessus. On constate bien qu'ils sont reliés entre eux par une relation linéaire.

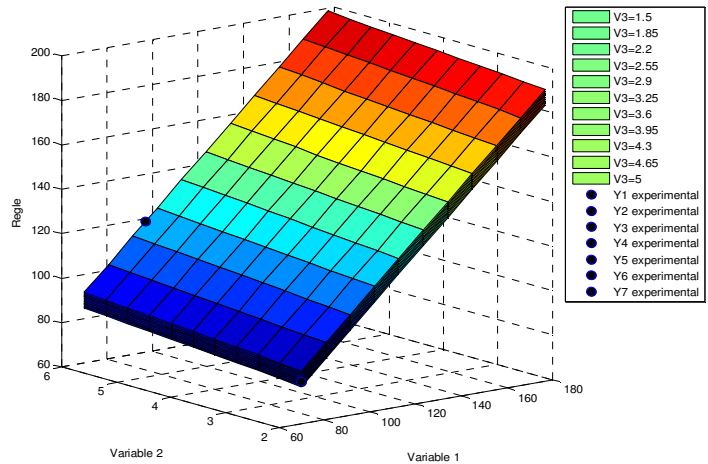


Figure 8. Graphique 4D des quatre paramètres reliés entre eux par une relation linéaire

5 RESULTATS ET PERSPECTIVES

La méthodologie KEM-KAD proposée donne des résultats satisfaisants. La formalisation du savoir-faire par des ontologies permet de contextualiser les connaissances et nous parvenons à extraire des règles métiers depuis les modèles CAO 3D. Certes les modèles CAO utilisés dans le cas d'application sont des modèles issus des outils de type KCM et sont géométriquement assez simple, mais ils permettent de se rendre compte de l'efficacité des algorithmes mis en place pour rechercher les similarités entre les paramètres extraits. De plus la connaissance et les paramètres y sont déjà formalisés et les problèmes de sémantique y sont moins présents. L'étape suivante consistera à étendre notre démarche aux modèles CAO non issus des outils de KCM afin de pouvoir valider la dimension générique de la méthodologie proposée.

A cet effet, il s'agira à court terme, de mettre en place un référentiel relatif aux pièces CAO traditionnelles permettant de contextualiser les paramètres de conception, et de faciliter leur extraction ultérieure. En effet, il peut dans certains cas y avoir des problèmes de paramètres instanciés avec le même nom deux ou plusieurs fois dans une même pièce. Il faut alors être capable de déterminer exactement la position et la fonction du paramètre dans la pièce, afin de pouvoir ensuite les extraire pour les comparer. La contextualisation des paramètres est donc nécessaire si on souhaite les réutiliser efficacement dans nos algorithmes de recherche de similarité.

A moyen terme, nous essaierons de compléter automatiquement le réseau sémantique contenu dans les ontologies par des méthodologies d'étude de l'environnement proche des noms des paramètres [Lim et al., 2009].

A plus long terme, il s'agira de développer des algorithmes d'extraction automatique des paramètres contenus dans les fichiers CAO. Il serait sans doute judicieux de les extraire sans même ouvrir les fichiers dans un modèleur CAO, afin de gagner en temps d'extraction, notamment sur une base de données industrielle contenant plusieurs milliers de fichiers CAO.

Les premiers résultats issus de l'application de notre démarche d'ingénierie hautement productive chez un industriel équipementier automobile sont particulièrement prometteurs dans la mesure où ils ont permis d'améliorer significativement la productivité et la qualité des activités de développement des produits. Certains gains actuellement mesurés dans le cadre des travaux de thèse de Luis Toussaint [19] avoisinent les 90%. Notre démarche KEM-KAD nécessitera certes un investissement supplémentaire en terme de temps (contextualisation des modèles CAO, recherche des pièces similaires, extraction des paramètres de conception, application des algorithmes de recherche de règles,...), mais devrait aboutir à des gains de productivité et de qualité supplémentaire car permettant de mieux standardiser le développement des produits.

6 REFERENCES

- [1] Bhuyian, N., et Bahgel, A. (2005) *An Overview of continuous improvement: from past to present*. Management Decision. Volume 43, no. 5, pp. 761-771.
- [2] Womack, J.P. et James, D.T., (2003) *Lean thinking: Banish waste and create wealth in you corporation*. Free Press, 2nd Edition, pp. 10
- [3] Bolin, H., (2008) *Knowledge Extraction Based on Sentence matching and Analyzing*. International Symposium on Knowledge Acquisition and Modeling, Wuhan, China, 20-21 Décembre 2008
- [4] Pal, P., Tigga, A.M., Kumar, A., (2005) *Feature extraction from large CAD databases using genetic algorithm*. Computer-Aided Design, 37, pp. 545-558
- [5] Durupt, A., Remy, S., Duceller, G., Guyot, E., (2009) *A new reverse engineering process, the combination between the knowledge extraction and the geometrical recognition techniques*. Computers and Industrial Engineering, pp. 1367-1373, Troyes, 06-09 Juillet 2009
- [6] Liu, S.C., Gonzalez, M., Chen, J.G., (1995) *Development of an automatic part feature extraction and classification system taking CAD data as input*. Computers in Industry, 29, pp. 137-150
- [7] Lu, T., Yang, Y., Yang, R., Cai, S., (2008) *Knowledge Extraction from Structured Engineering Drawings*. Fifth International Conference on Fuzzy Systems and Knowledge Discovery, Jinan, Shandong, China, 18-20 Octobre 2008
- [8] Cardone, A., Gupta, S., Karnik M., (2003) *A survey of shape similarity assessment algorithms for product design and manufacturing applications*. ASME J Comput Inform Sci Eng, 3, pp. 109-118
- [9] Chu, C-H., Hsu, Y-C., (2006) *Similarity assessment of 3D mechanical components for design reuse*. Robotics and Computer-Integrated Manufacturing, 22, pp. 332-341
- [10] Nonaka, I., Takeuchi, H., (1995) *The knowledge creating company*. Oxford: Oxford University Press. 284p
- [11] Polanyi, M., (1962) *Personal Knowledge*. London: Routledge & Kegan Paul. 442p
- [12] Polanyi, M., (1966) *The tacit dimension*. MA: Gloucester, Chapter 1: "Tacit knowing", 128p
- [13] Badin, J. et al., (2011) *Knowledge Configuration Management for product design and numerical simulation*. 18th International Conference on Engineering Design, Copenhagen, 15-18 Août 2011
- [14] Vernier, C., Lebaal, N., Boudouh, T., Gomes, S., (2010) *Gestion des configurations de connaissances pour le PLM*. Confere 2010, 1-2 Juillet 2010, Sousse
- [15] Vernier, C., Lebaal, N., Boudouh, T., Gomes, S., (2011) *Conception intégrée à base de configurations de connaissances en environnement PLM*. 12eme colloque AIP Primeca, Le Mont Dore, 29 Mars-1 Avril 2011
- [16] Ermine, J.L., (2000) *La gestion des connaissances, un levier stratégique pour les entreprises*. IC'2000, Ingénierie des connaissances, Toulouse, 10-12 Mai 2000
- [17] Ermine, J.L., (2002) *La gestion de connaissances*. Hermès Sciences publications, ISBN.
- [18] Serraféro, P., (2002) *Vers la mesure de la qualité de connaissance et compétence industrielle : le modèle Knova*. Conférence invitée, 1^{er} séminaire international de gestion des connaissances et compétences, Nantes, 12-13 Décembre 2002
- [19] Toussaint, L.M., (2010). *Modèles et méthodes pour une conception hautement productive orientée vers la fabrication : application à l'ingénierie routinière de pièces plastiques*. Thèse de doctorat. Université de Technologie de Belfort-Montbéliard, Laboratoire Mécatronique Méthodes, Modèles et Métiers. 188 p.
- [20] Bekhtl, S., (2003) *DYPKM Un processus dynamique de définition et de réutilisation de mémoires de projets*. Réseaux, Connaissances et Organisations. Troyes, Université de Technologie de Troyes. Thèse de Doctorat.
- [21] Monticolo, D., (2008) *Une approche organisationnelle pour la conception d'un système de gestion des connaissances fondé sur le paradigme agent*. Thèse de doctorat. Université de Technologie de Belfort-Montbéliard, Laboratoire Systèmes et Transports, 179 p.
- [22] Gandon, F., (2002) *Intelligence artificielle distribuée et gestion des connaissances : ontologies et systèmes mult-agents pour un web sémantique organisationnel*. Thèse. Nice : INRIA, Université de Nice - Sophia-Antipolis, 483 p.
- [23] Shirky, C., (2005) *Ontology Is Overrated : Categories, Links, and Tags*. O'Reilly ETech conference: Emerging Technology, San Diego, CA, pp. 14-17, March 2005
- [24] Gruber, T.R., (1993) *A Translation Approach To Portable Ontology Specifications*. In Knowledge Acquisition, Vol. 5, N° 2, pp. 199-220.
- [25] Roberts, R., (2010) *Introducing Semantics Concepts in a Television Broadcasting Organization*. RTBF, Guy N.L. Marechal, TITAN.
- [26] Lim, J.S.C., Liu, Y., Lee, W.B., (2009) *Multi-facet product information search and retrieval using semantically annotated product family ontology*. Information Processing and Management.
- [27] Gomes, S., (2008), *Ingénierie à base de connaissances pour une conception, productive, optimisée, collaborative et innovante du système Projet-Produit-Process-Usage*. HDR. Université de Technologie de Compiègne, Laboratoire Systèmes et Transport. 58p.