

Ki4D : Nouvelle méthodologie de rétro-conception intégrée

Mohamed Islem OUAMER ALI

LS2N – Ecole Centrale de Nantes
1, rue de la Noë – S221
44321 – Nantes – France
m.ouamerali@gmail.com

Sébastien REMY

ICD - LASMIS
12, rue Marie Curie
BP2060 – Troyes Cedex – Nantes
Sebastien.remy@utt.fr

Florent LAROCHE

LS2N – Ecole Centrale de Nantes
1, rue de la Noë – S410
44321 – Nantes – France
Florent.laroche@ls2n.fr

Alain BERNARD

LS2N – Ecole Centrale de Nantes
1, rue de la Noë – S503
44321 – Nantes – France
Alain.bernard@ls2n.fr

Résumé – La rétro-conception est une activité qui est utilisée dans l'industrie manufacturière dans le but de générer des modèles 3D d'artéfacts analysés, qui sont généralement utilisés pour la refabrication. Pour cela, la rétro-conception se base sur l'utilisation d'informations relatives à la forme du produit (géométrie) récupérées à travers la digitalisation de sa géométrie en utilisant des technologies de scan 3D, de palpation, ou autres [1]. Cependant, un artéfact ne se limite pas qu'à son enveloppe externe. En effet, plusieurs aspects peuvent être utilisés pour décrire le produit.

Dans notre vision, la rétro-conception est plutôt globale et permet d'analyser le produit sur tous ses aspects (formes, fonctions, comportements, etc.). Pour cela, nous avons développé la méthodologie Ki4D¹ pour la rétro-conception qui prend en compte différents aspects du produit d'une part en utilisant un modèle-produit, et d'une autre, l'intégration de données hétérogènes. Cette nouvelle méthodologie permet alors de créer des représentations du produit qui sont plus détaillées, et qui peuvent être utilisées pour des finalités autres que celle de la refabrication.

Mots-clés – Rétro-conception, intégration de données hétérogènes, modèle produit, gestion des connaissances

I. INTRODUCTION

La rétro-conception est généralement définie comme étant l'activité qui permet d'analyser un objet physique afin de produire un modèle de celui-ci [2]. Dans l'industrie manufacturière, cette activité est généralement utilisée pour la refabrication de produits en se basant sur les informations de formes notamment la géométrie. Le champ d'action de la rétro-conception se trouve alors très souvent limité à la refabrication de produits à l'aide d'informations géométriques.

Cependant, la rétro-conception peut être utilisée dans des contextes autres que celui de la refabrication. En ayant une vision analytique globale sur l'objet, plutôt que locale sur la géométrie, il serait possible de construire des représentations de l'objet en prenant en compte plusieurs aspects, tels que les fonctions ou les contraintes. De cette façon, on pourra utiliser différentes représentations selon le besoin. On pourra alors faire de la reconception, du reengineering, ou de la refabrication selon la finalité. Pour cela, nous suggérons l'amélioration de la rétro-conception à travers la prise en compte de ces différents aspects du produit, ainsi que les différentes finalités.

C'est à travers le projet ANR-METIS que cette étude a été réalisée. Ce projet avait pour objectif de créer un système d'aide à la rétro-conception en se basant sur l'intégration de données hétérogènes.

La méthodologie Ki4D a été développée dans l'optique d'intégration de données hétérogènes. Ces données sont hétérogènes dans le sens où elles sont de formes et de sources différentes : données virtuelles telles que des nuages de points, des modèles 3D, données textuelles telles qu'un cahier des charges, ou données picturales telles que des plans 2D, des images, etc.

En se basant sur plusieurs algorithmes d'extraction d'informations à partir de celles-ci, les différentes informations pertinentes à intégrer sont extraites, et structurées selon un modèle-produit développé pour la rétro-conception. Elles sont ensuite soit utilisées comme tel, soit utilisées pour rechercher des produits similaires dans une base de données de produit. Nous partons du principe qu'un produit peut être un composant simple, ou un système.

Dans ce qui suit, nous présenterons dans un premier temps les différents travaux issus de l'état de l'art sur la rétro-

¹ « Knowledge integration in 4 dimensions »

conception, ainsi que différents concepts issus de l'ingénierie des connaissances qui sont pertinents dans notre travail. Nous présenterons ensuite la méthodologie Ki4D ainsi que son implémentation. Nous finirons par un cas d'étude qui illustrera la méthodologie.

II. LA RETRO-CONCEPTION

A. Définition

Plusieurs travaux existent dans l'état de l'art sur la rétro-conception plus spécialement dans l'industrie manufacturière, où on définit celle-ci comme étant une activité d'analyse de forme [3], de reproduction du modèle d'un objet [4], de reproduction d'une copie d'un objet [5], ou de la refabrication d'un produit [6]. Dans le domaine de l'informatique, la rétro-conception est vue comme étant une activité d'analyse dans le but de construire des représentations abstraites d'un artéfact [7].

Les différentes définitions relatives à l'industrie manufacturière tendent vers une définition de la rétro-conception orientée géométrie, sans prendre en compte les différents autres aspects du produit. C'est ce qui nous a poussé à formuler une nouvelle définition de la rétro-conception qui serait plus adéquate avec l'intégration d'autres aspects du produit que celui de la forme.

De notre point de vue, la rétro-conception est un processus d'analyse d'un artéfact qui permet d'identifier les différentes informations et connaissances relatives à celui-ci à travers une analyse des données de différents aspects. Il permet aussi d'élaborer des représentations de hauts niveaux d'abstraction qui permettent de remettre l'artéfact dans son contexte de conception initial selon la phase de vie voulue.

B. La rétro-conception conventionnelle

Nous utilisons le terme de « rétro-conception conventionnelle » pour démarquer la rétro-conception classique de notre nouvelle méthodologie globale de rétro-conception.

La rétro-conception conventionnelle est composée de quatre parties distinctes [8] :

- Digitalisation et acquisition des données géométriques.
- Reconstruction surfacique.
- Segmentation et ajustement des surfaces.
- Création du modèle 3D final.

Dans la figure 1 nous pouvons voir l'intégration de la rétro-conception conventionnelle avec les quatre étapes par rapport au cycle de vie du produit. Cette intégration est faite au niveau de la conception détaillée, et est relative à la refabrication, ce qui revient à dire que de manière conventionnelle, la rétro-conception conduit à la construction d'une seule représentation du produit qui sera utilisée pour la refabrication.

Considérant que la rétro-conception est un processus d'analyse, il est alors possible de produire plusieurs représentations possibles, et les intégrer à différentes phases du cycle de vie du produit : l'intégration à la phase d'identification du produit permettra de réaliser un reengineering (redéfinition technique du produit), tandis qu'une intégration au niveau du concept avec la

spécification fonctionnelle permettra de réaliser une reconception (redéfinition fonctionnelle du produit).

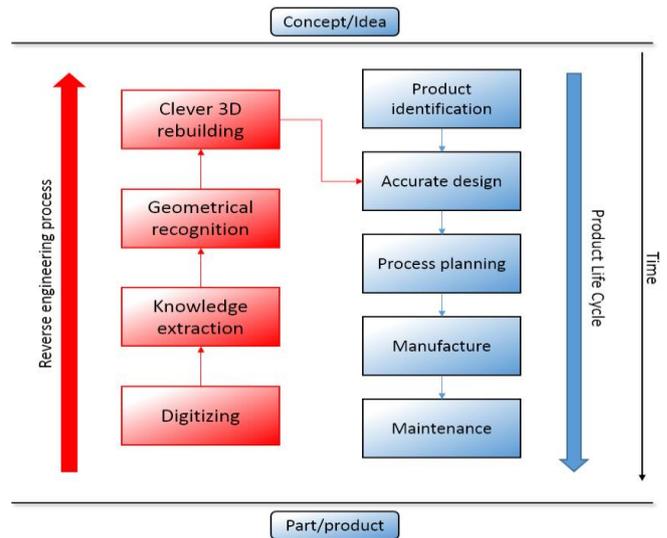


FIGURE 1. LE LIEN ENTRE LE CYCLE DE DEVELOPPEMENT DE PRODUITS ET LE PROCESSUS DE RETRO-CONCEPTION [8]

Nous pouvons donc constater que la rétro-conception conventionnelle restreint l'analyse d'un produit du fait de la restriction faite sur l'aspect analysé. Elle reste néanmoins intéressante puisque les différentes techniques et méthodes utilisées peuvent être réutilisées dans un contexte plus global. Il faudra alors travailler sur son intégration au niveau global.

C. Méthodologies de rétro-conception

Plusieurs travaux ont été réalisés dans le but de formaliser des méthodologies de rétro-conception. Nous trouvons en premier lieu le projet REFAB [9] qui avait pour objectif de réaliser la rétro-conception d'objets à l'aide d'entités de fabrication. A partir d'un nuage de points issu de la digitalisation de l'objet, on faisait correspondre des entités de fabrication (telles que des trous borgnes, traversant, etc.) qui permettait de reconstruire un modèle 3D de l'objet. On a alors une première utilisation de la notion de connaissance avec les entités de fabrication.

Le projet MERGE [10], qui est la continuité du projet REFAB quant à lui, propose un système interactif de rétro-conception utilisant des agents pour l'extraction d'informations à partir de plans 2D et de modèles 3D. On commence alors à rendre hétérogènes les types de données analysées dans le cadre d'une rétro-conception.

Le projet VPERI [6], avait pour but de refabriquer des pièces de systèmes à longs cycles de vie dont les informations de conception et de fabrication sont manquantes ou inexistantes. Dans ce projet, ont été développés trois processus différents pour la réalisation finale de ces pièces : la rétro-conception, la reconception, et le reengineering. La rétro-conception est identifiée comme étant la refabrication de produits à l'identique, tandis que la reconception visait à réutiliser les mêmes spécifications techniques que la pièce analysée pour ensuite l'améliorer du point de vue fonctionnel tout en l'adaptant à son contexte d'utilisation global (dans le système). Finalement, le reengineering visait à réutiliser la conception détaillée de la pièce afin de mettre à jour ou de modifier des détails technologiques tels que l'utilisation de

nouveaux matériaux, ou de nouvelles techniques de fabrication, etc. Ce projet est l'un des premiers à avoir tenté d'élargir le champ d'action de la rétro-conception grâce à la prise en compte d'autres finalités d'utilisation.

Dans [11], l'auteur étudie les objets industriels à caractère patrimonial, et propose d'utiliser la rétro-conception afin de capitaliser les connaissances relatives à ces objets. Il propose ainsi le modèle DHRM qui a pour but de capitaliser les connaissances d'un objet dans la rétro-conception, et de fournir une représentation de cet objet. On commence alors à utiliser des modèles de capitalisation des connaissances pour représenter un objet.

Le projet PHENIX [8] avait pour but de proposer une méthodologie de rétro-conception basée sur la connaissance géométrique du produit. A partir d'un nuage de points, on identifie des entités de fabrication ou de conception qui vont permettre de reconstruire l'objet analysé. Il est alors possible de trouver plusieurs alternatives pour représenter l'objet à partir de ces entités. On propose alors d'utiliser une extension du modèle-produit CPM¹ pour représenter le produit, et prendre en compte les différentes alternatives de rétro-conception de celui-ci.

Finalement, dans les différentes propositions, nous pouvons constater les différents points d'amélioration de la rétro-conception en cherchant à élargir son périmètre d'action. On a utilisé des connaissances pour représenter le produit, structurer les informations à l'aide de modèles-produit, et identifié (implicitement) plusieurs finalités possibles de la rétro-conception. Cependant, il n'y a pas une méthodologie qui prend en compte tous ces points d'amélioration.

D. Concepts et outils utiles pour la rétro-conception : Ingénierie des connaissances

Nous avons clairement identifié deux points d'amélioration de la rétro-conception :

- Utilisation d'un modèle-produit pour la structuration des connaissances et la représentation du produit.
- Intégration de données hétérogènes.

Nous proposons d'explorer ces deux points à travers l'état de l'art relatif à l'ingénierie des connaissances.

Modèles-produit

Nous pouvons trouver dans l'état de l'art relatif à l'ingénierie des connaissances, plusieurs travaux sur les modèles-produit. Il est alors pertinent de prendre en compte ces différents travaux dans le but d'intégrer un modèle-produit à notre méthodologie de rétro-conception. Il est à noter que les concepts de données, informations, et connaissances seront utilisés pour expliquer cette partie. Plusieurs travaux ont traité ces concepts et leurs différences. Nous nous baserons sur la définition données dans [23].

Le modèle FBS [12] permet de caractériser le produit selon trois aspects (fonctionnel, structurel, et comportemental). Le modèle CPM [13] est un support générique extensible pour représenter le produit dans le PLM². Le modèle holonique [14] permet de relier les parties physiques d'un produit à ses

¹ « Core Product Model » [14]
² « Product Lifecycle Management » - Gestion du cycle de vie du produit

informations dans un contexte PLM. Le modèle FBS-PPRE [15] est plus générique, et permet d'étendre le modèle FBS pour décrire un ensemble d'artéfacts d'entreprise (qui englobe le produit). Le modèle PPO [16] a émergé dans le but de créer un espace d'échange entre différents modèles (modèle produit, modèle de processus, modèle organisationnel). La méthodologie MOKA [17] est une méthodologie de capitalisation des connaissances découpée en deux parties distinctes : une première partie informelle qui permet de capitaliser les connaissances (ICARE), et une partie formelle qui permet de modéliser les différentes connaissances d'un produit à travers un modèle-produit.

Tous ces modèles ont été développés dans des contextes de conception / développement de produit, ou dans le cadre du PLM. Afin de pouvoir les utiliser, il nous faudra les adapter à notre contexte : la rétro-conception.

Formes de représentation de la connaissance

L'intégration des données hétérogènes suppose l'extraction d'informations à partir de ces données. Il nous faudra alors cibler les informations dans ces données les extraire, et les faire correspondre à la structure d'information correspondante (fonction, géométrie, contrainte, etc.). Dans le but d'effectuer cette extraction, il nous faudra traiter chaque donnée hétérogène selon sa forme.

Dans [18] on propose le concept de forme de représentation, qui décrit cinq formes principales que peuvent prendre les connaissances : picturale, symbolique, linguistique, virtuelle, et algorithmique.

Dans la figure 2, on peut constater qu'une classification de livrables peut être faite grâce à ces formes de représentations. Mais il reste possible de classer un livrable sous plusieurs formes à la fois. Il est alors pertinent de décomposer chaque document, livrable, ou donnée hétérogènes en formes élémentaires (représentées par des informations élémentaires) pour pouvoir ensuite les classer.

Pictorial	Symbolic	Linguistic	Virtual	Algorithmic
Sketches Detailed drawings	Decision tables Production rules	Customer Requirements Design Rules, constraints	CAD Models CAE Simulations	Mathematical Equations
Charts Photographs	Flow charts FMEA diagram	Analogies Customer feedback	Virtual Reality simulations Virtual prototypes	Parametrizations Constraint Solvers
CAD model views	Assembly tree Fishbone diagrams Ontologies	Verbal communication	Animations Multimedia	Computer Algorithms Design/operational procedures

FIGURE 2. LIVRABLES CLASSES SELON LES FORMES DE REPRESENTATION DES CONNAISSANCES [19]

La prise en compte des formes de représentations des connaissances nous permettra alors d'identifier les différentes informations élémentaires pertinentes dans les données hétérogènes.

III. METHODOLOGIE KI4D POUR LA RETRO-CONCEPTION

A. Evolution de la rétro-conception

Dans l'état de l'art, nous avons pu voir que les différents travaux sur la rétro-conception étaient concentrés sur l'aspect géométrique.

Nous proposons alors une nouvelle vision de la rétro-conception qui regroupe un ensemble d'améliorations :

- Le traitement des données hétérogènes et intégration des informations pertinentes qu'elles contiennent.

- La gestion des connaissances à travers un modèle-produit.

Le traitement des données hétérogènes suppose l'extraction d'informations pertinentes en vue de les utiliser pour construire des représentations du produit. Nous émettons alors l'hypothèse que des algorithmes d'extraction existent.

La méthodologie Ki4D que nous proposons permet d'améliorer la rétro-conception à travers l'intégration des données hétérogènes, la structuration des informations issues des données hétérogènes à travers l'utilisation d'un modèle-produit, et l'organisation du processus de rétro-conception à travers un modèle de processus.

La méthodologie Ki4D est définie à deux niveaux différents. Un niveau produit : permet de caractériser le processus de rétro-conception de manière statique, et identifie les différentes données d'entrée et sortie du processus. Un niveau processus : permet de caractériser le processus de manière dynamique, et identifie les différentes transitions opérées dans le processus.

B. Présentation de la méthodologie

La méthodologie se base sur un espace en quatre dimensions (figure 3) défini par les axes principaux de l'espace :

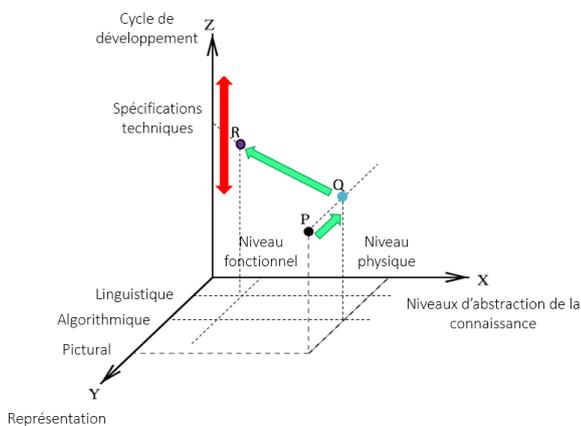


FIGURE 3. ESPACE KI4D SIMPLIFIE [20]

Les niveaux d'abstraction

Le premier axe permet d'identifier les différentes entités d'informations qu'on retrouve dans la description du produit (modèle-produit).

Les formes de représentation

Le deuxième axe permet d'identifier les formes dans lesquelles sont communiquées les informations.

La décomposition systématique

Le troisième axe permet de cibler les composants sujets à la rétro-conception dans le système global dans le cas où une partie du système est analysée.

Le cycle de vie

Le quatrième axe permet de fournir une échelle temporelle avec les différentes phases de vie du produit.

Ces quatre axes permettent alors de définir le processus de rétro-conception tant du point de vue statique avec les

différents points relatifs aux informations en entrée et sortie, que du point de vue dynamique avec les vecteurs qui permettent de passer d'un état à un autre.

Alors le processus de rétro-conception est modulaire puisqu'on pourra construire des workflows de rétro-conception selon le contexte : en fonction des informations issues des données hétérogènes (états / points d'entrée), plusieurs sous-processus peuvent intervenir (transitions / vecteurs). Il est alors possible de construire un moteur de workflow en se basant sur la méthodologie Ki4D qui générera selon le contexte un workflow adéquat.

Il est à noter que l'espace Ki4D n'est pas un espace Euclidien où il peut y avoir des opérations entre vecteurs et points. L'espace est utilisé à des fins de schématisation puisque le processus de rétro-conception est défini dynamiquement à l'utilisation, et nous allons voir dans ce qui suit comment cela est-il fait.

C. Utilisation de la méthodologie Ki4D

La figure 4 illustre le processus global de la méthodologie Ki4D pour réaliser la rétro-conception.

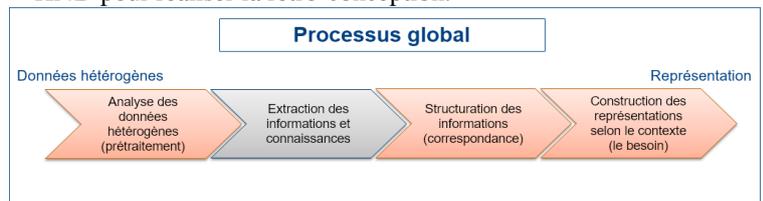


FIGURE 4. PROCESSUS GLOBAL DE LA METHODOLOGIE KI4D POUR LA RETRO-CONCEPTION

Le processus est décomposé comme suit :

Analyse des données hétérogènes

Le processus de rétro-conception commence avec l'identification des différentes données hétérogènes qui seront utilisées dans le processus.

Les différentes données hétérogènes sont sous formes composées. Il nous faudra donc les décomposer pour pouvoir extraire les informations à partir de formes élémentaires. Pour cela, les données hétérogènes sont alors prétraitées. L'étape de prétraitement consiste en la décomposition de chaque donnée hétérogène en formes élémentaires pour préparer l'extraction des informations à l'aide d'algorithmes d'extraction.

Dans l'espace Ki4D cela revient à identifier les points d'entrée relatifs à chaque donnée hétérogène. La figure 5 illustre le cas d'un fichier PDF.

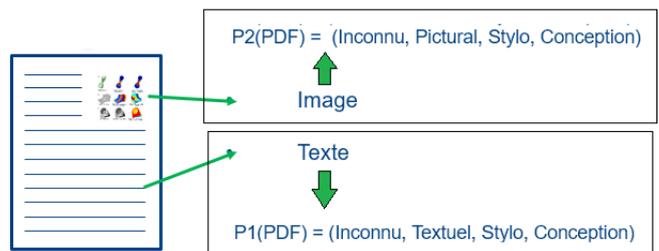


FIGURE 5. ANALYSE ET PRETRAITEMENT D'UN FICHIER PDF

Extraction des informations et connaissances

Dans cette partie, on utilise les algorithmes d'extraction des informations et connaissances afin d'analyser les données prétraitées, et d'extraire les informations qui nous intéressent dans le processus de rétro-conception.

La méthodologie Ki4D permet alors d'identifier les différents algorithmes d'extraction grâce aux différents points d'entrées identifiés dans l'étape précédente. Chacun de ces points d'entrée représente l'état initial de l'activité d'extraction. Il nous faut alors un état final (sortie) pour pouvoir définir l'algorithme. Pour cela, l'utilisateur choisi quelles sont les entités d'informations qu'il recherche en sortie, ce qui permettra de définir les coordonnées des points en sortie.

Avec l'identification des points de sortie, l'algorithme d'extraction qu'il faudra utiliser est alors reconnu et utilisé, et on procède avec l'extraction des informations.

Structuration des informations

Dans cette partie, les différentes informations extraites à partir des données hétérogènes sont utilisées dans le but de construire une représentation du produit analysé.

C'est dans cette partie qu'intervient le modèle-produit, qui permettra d'agir comme une structure d'informations et regrouper les informations extraites dans les entités d'informations qui leurs correspondent.

Construction des représentations

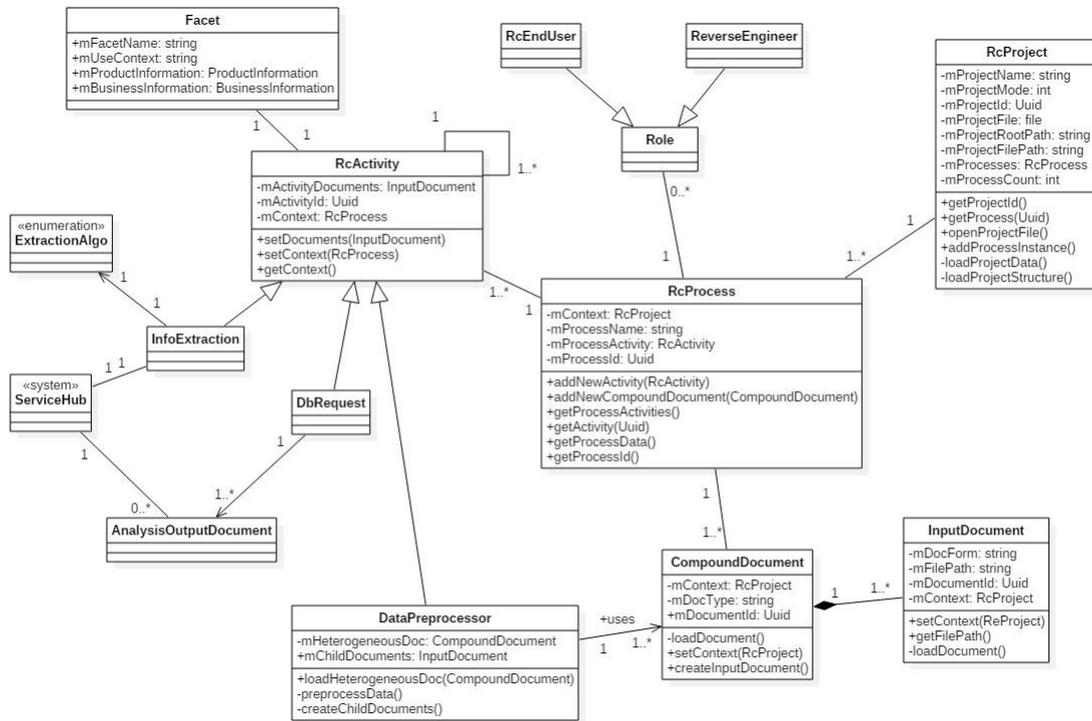


FIGURE 6. MODELE DE PROCESSUS DE LA METHODOLOGIE KI4D

Dans ce cas d'étude, l'objectif est de construire une représentation qui regroupe l'ensemble des informations structurelles du produit dans le but de réaliser un reengineering d'une partie du système. Pour cela, nous aurons besoin de la structure du produit.

Données hétérogènes

La méthode Ki4D permet de construire des représentations du produit selon le besoin. Ainsi, en sortie du processus de rétro-conception, il est possible d'avoir des représentations du produit selon le besoin exprimé par l'utilisateur à travers le concept de facettes [21]. Nous ne détaillerons pas cette opération dans cet article.

D. Modèle Ki4D pour la gestion du processus de rétro-conception

Afin d'implémenter le modèle Ki4D dans un système d'information pour la rétro-conception, nous proposons le modèle de processus de la méthodologie Ki4D afin de gérer les différentes activités remplies par celle-ci.

Dans la figure 6 est représenté le modèle de processus de la méthodologie Ki4D. La classe « RcProcess » permet de gérer les différents processus de rétro-conception dans un projet. C'est la classe « RcActivity » qui prend en compte la gestion des activités de prétraitement, d'extraction d'informations ainsi que de construction des représentations à travers la classe « Facet » qui englobe le modèle-produit pour cela.

IV. CAS D'ETUDE

Afin d'illustrer la méthodologie Ki4D nous proposons un cas d'étude issu du projet ANR-METIS : l'attelage mobile d'un moteur monocylindre diesel (figure 7).

Nous nous baserons sur les différentes données hétérogènes fournies par un des partenaires du projet ANR-METIS : des nuages de points issus de scans des pièces du Images prises des différents composants du système et un fichier texte représentant la fiche technique du système.

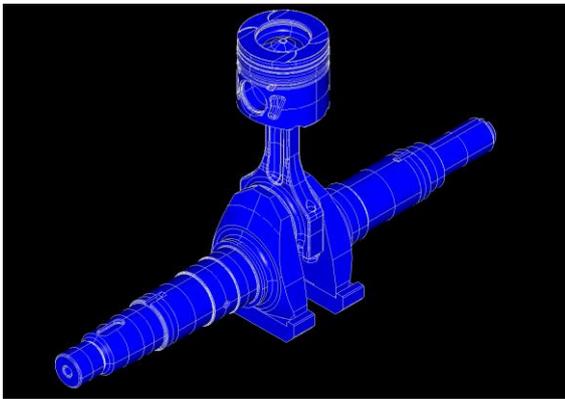


FIGURE 7. ATTELAGE MOBILE D'UN MOTEUR MONOCYLINDRE DIESEL

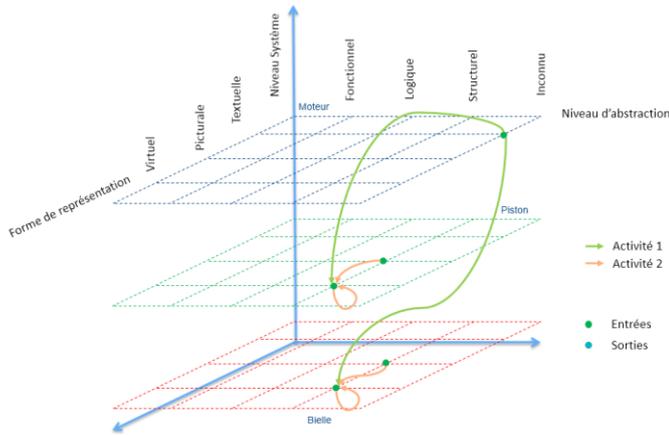


FIGURE 8. SCHEMA DE L'ESPACE Ki4D POUR LE CAS DU MONOCYLINDRE

La méthodologie de rétro-conception générera alors deux activités distinctes relatives aux données hétérogènes en entrée, et la représentation en sortie (figure 7).

Chacune des données hétérogènes génère un point dans l'espace Ki4D comme suit :

- P1(STL) = (Structure, Virtuel, Bielle, Conception)
- P2(STL) = (Structure, Virtuel, Piston, Conception)
- P3(JPEG) = (Structure, Pictural, Bielle, Conception)
- P4(JPEG) = (Structure, Pictural, Piston, Conception)
- P5(PDF) = (Structure, Textuel, Moteur, Conception)

Les informations relatives à la représentation en sortie permettent de générer les points de sortie suivants :

- P6(sortie) = (Structure, Virtuel, Piston, Conception)
- P7(sortie) = (Structure, Virtuel, Bielle, Conception)

La réalisation des deux activités de rétro-conception dans ce cas permet d'avoir en sortie, les informations structurelles du produit comme illustrées dans la figure 9.

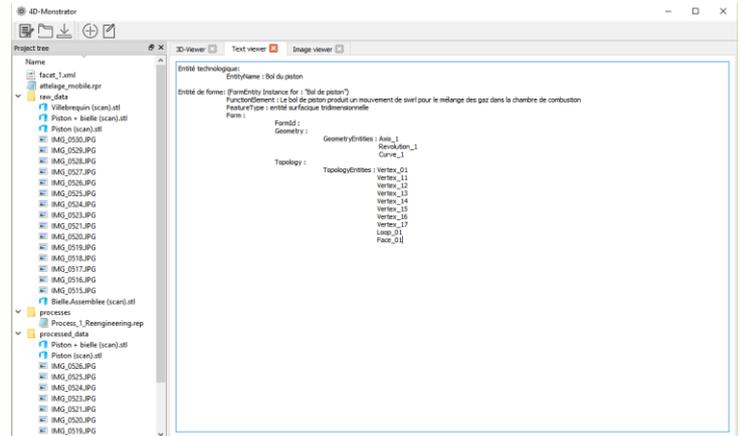
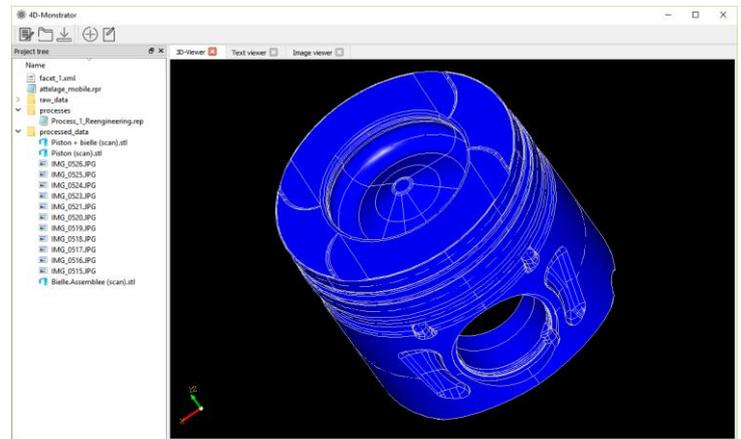


FIGURE 9. RESULTATS DE LA RETRO-CONCEPTION DU MONOCYLINDRE

V. CONCLUSION ET PERSPECTIVES

A. Conclusion

Dans le but d'améliorer le processus de rétro-conception, nous avons proposé la méthodologie Ki4D.

Cette méthodologie permet d'aborder la rétro-conception d'un produit de plusieurs points de vue différents relatifs aux aspects du produit autres que celui de la géométrie.

Pour cela, la rétro-conception prend en compte différentes données hétérogènes afin de les intégrer dans un modèle-produit qui constituera alors la représentation de celui-ci.

La méthodologie Ki4D a été développée comme étant une approche modulaire et permet de formaliser la rétro-conception pour différents objectifs : reconception, reengineering, refabrication.

B. Perspectives

La méthodologie Ki4D doit implémenter les différents algorithmes d'extraction qui représentent les transitions entre les points relatifs aux états du processus. Nous pouvons pour cela utiliser des familles d'algorithmes tels que le traitement du langage naturel pour les données textuelles, les algorithmes de rétro-conception conventionnelle pour les données virtuelles [22], et la vision d'ordinateur pour les données picturales.

Nous avons défini l'état du processus à travers 4 axes principaux. Il est possible que la définition change avec l'intégration d'un nouvel axe, ce qui engendrera l'évolution de la méthodologie et de l'espace.

VI. REFERENCES

- [1] [Kumar & al. 13] Kumar, A., Jain, P. K., & Pathak, P. M. (2013). REVERSE ENGINEERING IN PRODUCT MANUFACTURING: AN OVERVIEW. *DAAAM International Scientific Book*, 665-679.
- [2] [Ye & al. 08] Ye, X., Liu, H., Chen, L., Chen, Z., Pan, X., & Zhang, S. (2008). Reverse innovative design—an integrated product design methodology. *Computer-aided design*, 40(7), 812-827.
- [3] [Sokovic & al. 06] Sokovic, M., & Kopac, J. (2006). RE (reverse engineering) as necessary phase by rapid product development. *Journal of Materials Processing Technology*, 175(1), 398-403.
- [4] [Urbanic & al. 06] Urbanic, R. J., ElMaraghy, H. A., & ElMaraghy, W. H. (2008). A reverse engineering methodology for rotary components from point cloud data. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 37(11-12), 1146-1167.
- [5] [Bernard & al. 09] Bernard, A., Laroche, F., Sébastien, R., & Durupt, A. (2010). New trends in Reverse-Engineering: Augmented-Semantic models for redesign of existing objects. *Ouvrage collectif Reverse-Engineering*, 27-pages.
- [6] [VPERI, 03] Army research office. Virtual parts engineering research initiative, <http://www.cs.utah.edu/gdc/Viper/Collaborations/VPERI-Final-Report.pdf>.
- [7] [Chikofsky & al. 91] Chikofsky, E. J., & Cross, J. H. (1990). Reverse engineering and design recovery: A taxonomy. *IEEE software*, 7(1), 13-17.
- [8] [Durupt, 10] Durupt, A. (2010). Définition d'un processus de rétro-conception de produit par intégration des connaissances de son style de vie (Doctoral dissertation, Troyes).
- [9] [Thompson & al. 99] Thompson, W. B., Owen, J. C., Germain, H. D. S., Stark, S. R., & Henderson, T. C. (1999). Feature-based reverse engineering of mechanical parts. *IEEE Transactions on robotics and automation*, 15(1), 57-66.
- [10] [Musuvathy & al. 05] Musuvathy, S. R., Johnson, D. E., Germain, H. J. D. S., Cohen, E., Xu, C., Riesenfeld, R. F., & Henderson, T. C. (2005, January). Integrating multiple engineering resources in a virtual environment for reverse engineering legacy mechanical parts. In *ASME 2005 International Design Engineering Technical Conferences and Computers and Information in Engineering Conference* (pp. 1149-1158).
- [11] [Laroche, 07] Laroche, F. (2007). Contribution à la sauvegarde des Objets techniques anciens par l'Archéologie industrielle avancée. Proposition d'un Modèle d'information de référence muséologique et d'une Méthode inter-disciplinaire pour la Capitalisation des connaissances du Patrimoine technique et industriel (Thèse, Ecole Centrale de Nantes (ECN); Université de Nantes).
- [12] [Gero, 90] Gero, J. S. (1990). Design prototypes: a knowledge representation schema for design. *AI magazine*, 11(4), 26.
- [13] [Fenves & al. 04] Fenves, S. J. (2001). *Core Product Model for Representing Design Information*. US Department of Commerce, Technology Administration, National Institute of Standards and Technology.
- [14] [Terzi & al.05] Terzi, S., Cassina, J., & Panetto, H. (2006). Development of a metamodel to foster interoperability along the product lifecycle traceability. In *Interoperability of Enterprise Software and Applications* (pp. 1-11). Springer London.
- [15] [Labrousse, 08] Labrousse, M., & Bernard, A. (2008). FBS-PPRE, an enterprise knowledge lifecycle model. In *Methods and tools for effective knowledge life-cycle-management* (pp. 285-305). Springer Berlin Heidelberg.
- [16] [Noël & al. 08] Noël, F., & Roucoules, L. (2008). The PPO design model with respect to digital enterprise technologies among product life cycle. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 21(2), 139-145.
- [17] [MOKA, 01] Managing Engineering Knowledge, MOKA: Methodology for Knowledge Based Engineering Application, Edited by Melody Stokes for the MOKA Consortium, 2001.
- [18] [Horváth & al. 02] Owen, R., & Horváth, I. (2002, April). Towards product-related knowledge asset warehousing in enterprises. In *Proceedings of the 4th international symposium on tools and methods of competitive engineering, TMCE* (Vol. 2002, pp. 155-70).
- [19] [Chandrasegaran & al. 12] Chandrasegaran, S. K., Ramani, K., Sriram, R. D., Horváth, I., Bernard, A., Harik, R. F., & Gao, W. (2013). The evolution, challenges, and future of knowledge representation in product design systems. *Computer-aided design*, 45(2), 204-228.
- [20] [Ouamer-Ali & al. 15] Ali, M. I. O., Laroche, F., Remy, S., & Bernard, A. (2015, March). Structuration de la connaissance dans le cadre de la rétro-conception de systèmes mécaniques. In *Colloque de l'AIP PRIMECA-Avril 2015-La Plagne*.
- [21] [Ouamer-Ali & al. 17] Facet Based Approach for the Management of Information multi points-of-view in product modelling (CAD&App) – Accepted, under publication.
- [22] [Bruneau & al. 16] Bruneau, M., Durupt, A., Vallet, L., Roucoules, L., & Pernot, J. P. (2016). A THREE-LEVEL SIGNATURE BY GRAPH FOR REVERSE ENGINEERING OF MECHANICAL ASSEMBLIES.
- [23] [Bernard & al. 08] Bernard, A., & Tichkiewitch, S. (Eds.). (2008). *Methods and tools for effective knowledge life-cycle-management* (Vol. 11). Berlin: Springer.