

Titre : Intégration de données d'ingénierie hétérogènes en environnements PLM/CAO avancés : Reverse Engineering et Maquette Numérique

Mots clés : PLM/CAO, Maquette numérique avancée, Gestion de données hétérogènes, Gestion de connaissances, Reconnaissance de formes, Intelligence Artificielle

1. Contexte de la thèse – Intégration de données hétérogènes, PLM/CAO, domaine du patrimoine industriel.

L'axe « Systèmes Intégrés : Produit Process » de l'unité de recherche Roberval – UMR CNRS 7337 a notamment pour thématique de recherche « l'intégration de données hétérogènes ». L'objectif principal est de proposer des méthodes et des modèles visant à améliorer des échanges de données et la gestion d'information issues d'expertises métiers dans le cycle de vie d'un produit. L'échange, le flux, le traitement et l'exploitation de données hétérogènes sont des enjeux majeurs futurs pour l'industrie.

Les systèmes PLM (Product Lifecycle Management) permettent, en partie, de gérer ces données. Cependant, l'augmentation du nombre de données hétérogènes acquises tout au long du cycle de vie d'un produit va rendre de plus en plus complexe leur gestion en termes de dépendances, de traçabilité et d'exploitation métier. Ces données sont hétérogènes par leur type, elles peuvent représenter une ou plusieurs maquettes numériques (notion de DMU – Digital Mock-Up), des plans, des photos, des résultats de scan, des documents de maintenance ou des informations liées à l'usage etc.

Le domaine du patrimoine est tout aussi concerné par ces enjeux. Définir l'authenticité, et l'unicité d'un objet par des experts du patrimoine nécessite une analyse longue et manuelle des données « documentaires » associées à l'objet. Ces données sont hétérogènes par leur format et peuvent être des données 2D (photos, croquis, schéma), 3D (scan, maillage, photogrammétrie, voire maquette numérique) ou textuelles. Cette thèse se focalisera sur les données hétérogènes et consistera à les organiser pour permettre la classification, l'indexation, la mise en relation des signatures de l'objet. La finalité de la thèse est de proposer une méthodologie d'intégration de données hétérogènes visant à assister le travail d'expert en patrimoine les aidant ainsi à prendre des décisions sur l'authenticité et l'unicité d'un objet.

Cette thèse se déroulera dans le cadre du projet ANR RéSeed qui vise à mettre en place une nouvelle méthodologie, un outil et un format interopérable pour permettre l'alliance de la digitalisation sémantique et physique des objets du patrimoine.

L'UTC/UTT dans, le cadre de ce projet, seront impliquées dans l'encadrement de la thèse.

2. Veille scientifique synthétique,

Le contexte de cette thèse est la rétro-conception (reverse engineering). Elle consiste à partir de la numérisation 3D du produit réel à retrouver un modèle 3D numérique le plus paramétré possible. Scientifiquement, la thèse se positionne entre deux domaines de recherche : (1) les approches KBE (Knowledge Based Engineering) et (2) le shape matching ou reconnaissance de forme.

2.1 Les modèles produits constituants des approches KBE

Les modèles relationnels collaboratifs ou modèles produits supports de la conception/industrialisation de produit sont les constituants des approches KBE. Il y a une très grande quantité de modèles produits mais nous pouvons faire référence aux travaux de (Gero and Kannengiesser, 2004; Sudarsan et al., 2005) basés sur les principes FBS (Function Behaviour Structure) qui structurent l'intégration d'information autour de trois vues (1) la fonction, (2) le comportement, et (3) la structure. L'implémentation de ce principe FBS supporte les activités d'ingénierie. Même si ce n'est pas exhaustivement vérifiable, la plupart des KBE et des PLM (Product Lifecycle Management) ont des modèles produit basés sur le principe FBS. Dans la même lignée l'approche MOKA (Methods and Tools Oriented to Knowledge Acquisition) (Chapman et al., 2007) est basée sur les mêmes vues que FBS mais ajoute la vue « Entités » qui sert à la description géométrique du produit et la vue « Activités » qui décrit les éléments ou étapes du processus de conception. Le modèle PPO (Produit Process Organisation) (Noël, Roucoules and Teissandier, 2005) ajoute aux précédents modèles la vue « process », dans un principe d'intégration conception – process mais aussi la vue organisation qui structure la collaboration en experts. La norme STEP (Standard for the Exchange of Product) est aussi à considérer car, bien qu'elle soit utilisée industriellement pour des échanges de fichiers CAO, elle est "conceptuellement" pensée comme un modèle produit. Les APs (Application Protocol) 203, 204, et 214 dédiés à l'industrie manufacturière en sont une illustration (Pratt, 2001; Zheng et al., 2014). Les vues « process », « mécanique », « électronique » ... sont modélisées avec une granularité fine descendant jusqu'au paramétrage, la cotation fonctionnelle et la description géométrique etc. Enfin, nous pouvons citer le modèle de produit du NIST (National Institute of Standards and Technology) appelé CPM (Core Product Model) (Sudarsan et al., 2005) qui permet de modéliser par extension (c'est-à-dire en étendant le modèle UML du noyau OAM - Open Assembly Model) l'ensemble des informations et données échangées dans le cycle de vie produit. Nous avons dans le cadre de travaux antérieurs à ce sujet de thèse, mais faisant à ce jour partie intégrante de la genèse de l'offre, proposé une extension CPM dédiée à l'activité de Reverse Engineering (RE) (Troussier et al., 2010) (Drupt, Remy and Ducellier, 2010). Cette extension permet de structurer les informations selon des vues métiers avec une granularité fine comme par exemple, les angles de dépouilles, les règles et paramètres d'un élanement mince d'une aube de turbine. L'activité de RE considérée comme routinière, sans valeur ajoutée pour une entreprise, a pu être grandement automatisée.

2.2 La reconnaissance de formes

La taxonomie proposée par (Tangelder & Veltkamp 2008) et les nombreux travaux de la littérature permettent d'avoir une vue d'ensemble des approches utilisées pour caractériser une forme géométrique à un métier. Pour résumer, nous distinguons 5 grandes classes :

- Les approches basées sur les entités ou « feature based »,
- Les approches basées sur des caractéristiques de forme ou d'arête,

- Les approches basées sur les graphes,
- Les systèmes experts,
- Les approches utilisant les réseaux de neurones et plus communément du Machine Learning.

Nous ne présenterons pas de façon exhaustive l'ensemble des classes mais nous regrouperons dans la table ci-dessous les approches en fonction de leurs performances selon 3 critères : (1) classification de données ; (2) segmentation de données; et (3) identification de données.

Classes	Travaux considérés comme significatifs/performants selon les critères (1), (2) et (3)
Reconnaitances d'entités	(Bourdet & Villeneuve, 1990) – Définition de l'entité de fabrication (Babic, Nesic, & Miljkovic, 2008) [Etat de l'art], (Xu, Anwer, Mehdi-Souzani, Harik, & Qiao, 2016) [Reverse Engineering (RE) pour des codes CN] (Sunil & Pande, 2008) [Détection d'entités de tôlerie] Performances (3) identification de données - Semi-automatique,
Segmentation, détection d'arêtes, estimation de courbure locale	(Shamir, 2008) [Survey] (Wang, Gu, Yu, Tan, & Zhou, 2012) [RE Process] Performances (2) segmentation automatique
À base de graphes	(Cyr & Kimia, 2001; Tangelder & Veltkamp, 2008) [Survey] Performances (3) identification de données - Semi-automatiques, verrous : temps de calculs longs.
Système expert à base de règles expertes	(Fisher, 2004) [Pour des applications RE] (Thompson, Owen, James de St Germain, Stark, & Henderson, 1999) [Pour des applications RE] (VPERI, 2003) [Pour des applications RE]

	Performances (3) identification de données - Semi-automatique,
Machine Learning ou apprentissage automatisé	(Prabhakar & Henderson, 1992)[Neural Network Based Techniques] (Marchetta & Forradellas, 2010) [Reconnaisances d'entités de fabrication] (Jia, Murphey, Shi, & Chang, 2004) [Détection de défauts de surfaces de fabrication] (Zimek, Schubert, & Kriegel, 2012) [Survey] (Priore, De La Fuente, Gomez, & Puente, 2001) [Survey sur la planification de la production] Performance : (1) classification de données avec un fort automatisme.

La contribution scientifique ne se trouve pas dans le domaine de la reconnaissance de formes mais il s'agira d'identifier les approches qui permettent d'obtenir la meilleure finalité métier.

2.3 Le couplage entre KBE et reconnaissance de forme

La thèse est scientifiquement proche des travaux sur le Knowledge Based Engineering. La définition de (Chapman et al., 2007) d'un point de vue "outil", est celle que nous retenons : le KBE est vu comme une méthode d'ingénierie qui combine la programmation orientée objet, les techniques d'intelligence artificielle et des outils XAO (extrait de la thèse de Marina Bruneau)". La finalité en termes d'usage des KBE est de supporter toutes les activités routinières en les automatisant ou en offrant de l'assistance automatique. La littérature comporte un nombre conséquent de méthodologie KBE dans les domaines comme la forge, la fonderie, l'usinage (Ali et al., 2014; Xu, Anwer and Mehdi-Souzani, 2015) (Fisher, 2002), la rétro conception pour la fabrication (Thompson et al., 1999), la conception, le BIM (Building Information Modelling) (Surmann, Nüchter and Hertzberg, 2003) , l'architecture et le patrimoine immobilier (De Luca, Veron and Florenzano, 2006) etc.

Les démarches de recherche de la littérature ne considèrent pas ou peu les données hétérogènes et les objets techniques du patrimoine

Le paradigme de recherche de cette thèse vise à proposer une démarche d'élaboration des KBE (Chapman et al., 2007) (Oldham et al., 1998) (Ashby, 1999) dans le but de laisser l'utilisateur au centre de la mise en place. Cette démarche peut être à l'échelle d'un utilisateur, d'un expert ou d'un panel d'experts.

3. Objectif de la thèse

L'enjeu scientifique de cette thèse réside à trouver une zone de convergence entre les deux domaines cités ci-dessus. Le « shape matching » est très fourni en travaux et algorithmes, il s'agira de réutiliser les algorithmes permettant l'intégration avec les systèmes de gestion de données techniques (KBE). En d'autres termes, il s'agira d'identifier les signatures de composants ou

d'objet à partir de données hétérogènes (données multi-sources) qui permettent l'extraction d'information à destination d'expert. Une attention particulière devra être apportée à une utilisation « intelligente » des signatures. En effet, ces dernières, permettant l'extraction d'information métier, devront être « appelées » selon les besoins d'experts.

Il pourra également être nécessaire de créer un modèle de gestion du modèle 3D intégré de données hétérogènes permettant la mise à jour d'une bibliothèque de composants et l'intégration des signatures à destination du « patrimoine ». La recherche de composants sera supportée par ce modèle qui devra proposer les bons scripts d'identification en fonction de liens sémantiques métier.

Le but de cette thèse est de trouver une approche permettant l'augmentation sémantique de modèles mathématiques. En s'appuyant sur une analyse de la littérature et en lien avec les partenaires du projet, il s'agira, par exemple d'associer une géométrie avec un courant artistique, un savoir-faire circonstancié dans l'espace et le temps... afin de permettre l'analyse et la sauvegarde de l'objet ainsi que des expertises qui ont permis sa création. De plus, l'approche développée devra permettre cet enrichissement sémantique en mode collaboratif et supporter des analyses alternatives. L'enjeu consiste à pouvoir mettre le modèle virtuel de l'objet à disposition du plus grand nombre et permettre à des experts (historiens ou archéologues) de donner leurs avis en créant une nouvelle vue avec de nouvelles hypothèses... On parlera alors de multi-vues.

Pour cela, le modèle géométrique sera également multi-niveaux. Ces niveaux seront dépendants de la nature de l'objet à rétro-modéliser et de la finalité attendue. En effet, en fonction du type d'expertises et/ou de savoir-faire qui va être lié à la forme (et donc à la géométrie) de l'objet considéré, il faudra :

- Choisir une segmentation : veut-on isoler une surface simple (plan, cylindre...) ou une entité plus complexe (glissière, taraudage...) voire un élément sémantiquement très riche (une roue, un drapé, un type de mur...)?
- Choisir la complexité attendue : veut-on décrire ou isoler un seul bloc ou un ensemble de surfaces plus élémentaires ?
- Choisir les mathématiques de représentation : veut-on une représentation canonique, paramétriques ou un maillage ?

Nature de l'objet	Exemples de niveau de reconstruction attendus
Objet de type patrimoine industriel, Objet de type instrument scientifique, astronomique...	<p>Niveau 1 :</p> <p>Maillage surfacique seul, maillage partitionné (segmentation) de façon canonique ou sémantique</p> <p>Niveau 2 :</p> <p>Reconstruction géométrique partielle avec extraction des surfaces géométriques</p> <p>Niveau 3 :</p> <p>Reconstruction géométrique paramétrique – extraction des surfaces fonctionnelles</p>

4. Programme de recherche

Analyse des données multi-sources (photos, scan etc.) / État de l’art sur les plugins de signature

Il s’agira de mener une étude globale sur les différents plugins de signature de la littérature. Il est à considérer qu’il ne s’agira pas de développer de nouveaux algorithmes de Shape Matching mais de réutiliser ceux pouvant porter une information métier. Basé sur les récents travaux de l’UTC, une cartographie des différentes technologies de Shape Matching a été faite, il s’agira de la compléter et de la consolider et de l’adapter à la problématique de thèse.

Proposer d’une démarche permettant la gestion d’une bibliothèque de composants techniques et métiers intégrant la notion de signature.

Cette démarche pourra considérer la notion de plugin de signature métier et intégrer une bibliothèque de composants qui permettra la capitalisation et la représentation des expertises.

Validation de la démarche par l’implémentation d’un cas d’étude technique dans un démonstrateur

Afin de valider la démarche, cette dernière devra être implémentée (par un démonstrateur) sur un cas d’étude identifié par les partenaires.

5. Dissémination des résultats

Au cours de la première année, les travaux issus de l’état de l’art feront l’objet d’une publication dans le cadre d’une conférence ou séminaire à audience nationale (colloque AIP-Priméca, Journée STP du GDR MACS). Les travaux développés durant la deuxième année ont vocation à être publiés au sein de conférences internationales s’intéressant à la mise en œuvre d’environnements logiciels en ingénierie et production comme ASME/DETC-CIE, CIRP-DET, IFIP-PLM ou APMS, TMCE. Enfin, pour la troisième année, une ou deux publications dans le cadre d’une revue internationale couvrant telle que Computer-Aided Design, Computers & Industrial Engineering, International Journal of Product Lifecycle Management, Journal of Computing and Information Science in Engineering.

Le candidat ou la candidate sera inscrit(e) et localisé(e) à l’école doctorale de l’UTC et sera co-encadré(e) par l’UTT.

Equipe de co-encadrement :

Benoît EYNARD – Enseignant Chercheur HDR – Laboratoire Roberval UMR CNRS 7337 – Université de Technologie de Compiègne

Sébastien REMY – Enseignant Chercheur HDR – Laboratoire ICD LASMIS UMR CNRS 6281– Université de Technologie de Troyes

Alexandre DURUPT – Enseignant Chercheur - Laboratoire Roberval UMR CNRS 7337 – Université de Technologie de Compiègne

Contact :

Alexandre DURUPT

Mél : alexandre.durupt@utc.fr – Tél : 03 44 23 46 11 ou 03 44 23 45 78 ou 06 16 01 61 25

Université de Technologie de Compiègne - UTC

Département DIM «Département d'ingénierie Mécanique » - Laboratoire ROBERVAL UMR 7337

Merci d'envoyer CV et lettre de motivation à l'adresse alexandre.durupt@utc.fr en mettant l'objet [ReSEED these]

Date limite : 20/09/2017

Bibliographie de l'équipe encadrante :

Bruneau, M., Durupt, A., Roucoules, L., Pernot, J.-P., & Eynard, B. (2013). Process linking digital mock-up and heterogeneous data in Reverse Engineering context. In International conference on Graphics Engineering June 19th – 21th, 2013 Madrid, Spain INEGRAF – ADM – AIP PRIMECA. Madrid.

Durupt, A., Remy, S., Bricogne, M., & Troussier, N. (2013). PHENIX: product history-based reverse engineering. *International Journal of Product Lifecycle Management*, 6(3), 270.

Bruneau, M., Durupt, A., Roucoules, L., Pernot, J.-P., & Rowson, H. (2014). Methodology of Reverse Engineering for large assemblies products from heterogeneous data. In *Proceedings of TMCE 2014, May 19–23, 2014, Budapest, Hungary*, edited by I. Horváth and Z. Rusák - Organizing Committee of TMCE 2014. ISBN 978-94-6186-177-1.

Durupt, A., Remy, S., Ducellier, G., & Pouille, P. (2014). Reverse engineering using a knowledge-based approach. *International Journal of Product Development*, 19(1/2/3), 113. <http://www.inderscienceonline.com/doi/abs/10.1504/IJPD.2014.060045>

Herlem, G., Adragna, P. A., Ducellier, G., & Durupt, A. (2014). An extension of the core product model for the maturity management of the digital mock up: use of graph and knowledge to describe mechanical parts. *International Journal of Product Lifecycle Management*, 7(1), 94. <http://doi.org/10.1504/IJPLM.2014.065462>

Ali, S., Durupt, A., Adragna, P.-A., & Bosch-Mauchand, M. (2014). A Reverse Engineering for Manufacturing approach. *Computer-Aided Design and Applications*, 11(6), 694–703. <http://doi.org/10.1080/16864360.2014.914387>

Dekhtiar, J., Durupt, A., Bricogne, M., Kiritsis, D., & Rowson, H. (2016). Toward an extensive data integration to address reverse engineering issues. In *PLM conference*.

Dekhtiar, J., Durupt, A., Kiritsis, D., Bricogne, M., Rowson, H., & Eynard, B. (2016). Machine Learning Techniques to address classification issues in Reverse Engineering. In *International Joint Conference on Mechanics, Design Engineering & Advanced Manufacturing*.

Bernard A., Laroche F., Ammar-Khodja S., Perry N. Impact of new 3D numerical devices environments on redesign valorization of mechanical systems. *CIRP Annals Manufacturing Technology*, Elsevier, v56, pp 143-148, 2007

Références scientifiques

- Babic, B., Nestic, N., & Miljkovic, Z. (2008). A review of automated feature recognition with rule-based pattern recognition. *Computers in Industry*, 59(4), 321–337.
<https://doi.org/10.1016/j.compind.2007.09.001>
- Bourdet, P., & Villeneuve, F. (1990). *La gamme automatique en usinage Groupe GAMA* (Hermes).
- Cyr, C., & Kimia, B. (2001). 3D object recognition using shape similarity-based aspect graph. In *Computer Vision, 2001. ICCV 2001. Proceedings. Eighth IEEE International Conference on Computer Vision. ICCV 2001*. <https://doi.org/10.1109/ICCV.2001.937526>
- Fisher, R. (2004). Applying knowledge to reverse engineering problems. *Computer-Aided Design*, 36(6), 501–510. [https://doi.org/10.1016/S0010-4485\(03\)00158-1](https://doi.org/10.1016/S0010-4485(03)00158-1)
- Jia, H., Murphey, Y. L., Shi, J., & Chang, T.-S. (2004). An intelligent real-time vision system for surface defect detection. In *Proceedings of the 17th International Conference on Pattern Recognition, 2004. ICPR 2004*. (Vol. 3, p. 239–242 Vol.3).
<https://doi.org/10.1109/ICPR.2004.1334512>
- Marchetta, M. G., & Forradellas, R. Q. (2010). An artificial intelligence planning approach to manufacturing feature recognition. *Computer-Aided Design*, 42(3), 248–256.
<https://doi.org/10.1016/j.cad.2009.11.007>
- Prabhakar, S., & Henderson, M. R. (1992). Automatic form-feature recognition using neural-network-based techniques on boundary representations of solid models. *Computer-Aided Design*, 24(7), 381–393. [https://doi.org/10.1016/0010-4485\(92\)90064-H](https://doi.org/10.1016/0010-4485(92)90064-H)
- Priore, P., De La Fuente, D., Gomez, A., & Puente, J. (2001). A Review of Machine Learning in Dynamic Scheduling of Flexible Manufacturing Systems. *Artif. Intell. Eng. Des. Anal. Manuf.*, 15(3), 251–263. <https://doi.org/10.1017/S0890060401153059>
- Shamir, A. (2008). A survey on Mesh Segmentation Techniques. *Computers Graphics Forum*, 27(6), 1539–1556.
- Sunil, V. B., & Pande, S. S. (2008). Automatic recognition of features from freeform surface CAD models. *Computer-Aided Design*, 40(4), 502–517.
<https://doi.org/10.1016/j.cad.2008.01.006>
- Tangelder, J. W. ., & Veltkamp, R. C. (2008). A survey of content based 3D shape retrieval methods. *Multimedia Tools and Applications*, (39:441).
<https://doi.org/doi:10.1007/s11042-007-0181-0>
- Thompson, W. B., Owen, J. C., James de St Germain, H., Stark, S. R., & Henderson, T. C. (1999). Feature-Based Reverse Engineering of Mechanical Parts. *IEEE TRANSACTIONS ON ROBOTICS AND AUTOMATION*, 15(1), 57–66.
- VPERI. (2003). *VPERI Army research office virtual parts engineering research initiative*. Retrieved from <http://www.cs.utah.edu/gdc/Viper/Collaborations/VPERI-Final-Report.pdf>

- Wang, J., Gu, D., Yu, Z., Tan, C., & Zhou, L. (2012). A framework for 3D model reconstruction in reverse engineering. *Computers & Industrial Engineering*, *63*(4), 1189–1200.
<https://doi.org/10.1016/j.cie.2012.07.009>
- Xu, S., Anwer, N., Mehdi-Souzani, C., Harik, R., & Qiao, L. (2016). STEP-NC based reverse engineering of in-process model of NC simulation. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, *86*(9), 3267–3288.
- Zimek, A., Schubert, E., & Kriegel, H.-P. (2012). A survey on unsupervised outlier detection in high-dimensional numerical data. *Statistical Analysis and Data Mining*, *5*, 363–387.
<https://doi.org/10.1002/sam.11161>