

Projet de sujet de thèse CIMPA – I2M Dept IMC

Développement d'un environnement numérique d'aide à la décision pour la conception orientée valeur

A. DESCRIPTION DU CONTEXTE INDUSTRIEL**Contexte Global**

Les entreprises productrices de systèmes complexes sont actuellement focalisées sur le développement de leur chiffre d'affaires ou sur la fidélisation de leurs clients afin d'assurer leur pérennité. Dans cette démarche, les étapes relatives à la maîtrise des coûts sont souvent traitées de manière partielle et le prix de vente des biens n'est pas toujours en adéquation avec leur coût de revient réel. Seules les entreprises mettant en place une démarche d'analyse de la valeur sont aujourd'hui capables d'anticiper et de mesurer pas à pas les impacts des choix réalisés au cours de la phase de conception sur la valeur de leur produit.

Besoin CIMPA

La démarche d'analyse de la valeur actuellement déployée par la société CIMPA est une démarche visant à maximiser la valeur d'un produit en augmentant la satisfaction client tout en diminuant les ressources consommées pour sa réalisation. Les activités de recherche menées actuellement visent à identifier et à optimiser l'ensemble des éléments du cycle de vie d'un produit pour atteindre les objectifs en termes de valeurs attendues. L'application de cette démarche permet d'établir une structuration fonctionnelle des coûts, miroir de l'analyse fonctionnelle du besoin, et d'établir des scénarios optimaux de solutions pour la conception des nouveaux produits ou le re-design de produits existants.

Les travaux de recherche que CIMPA souhaite poursuivre par le biais de cette thèse auront pour objectif d'améliorer l'efficacité de la démarche d'analyse de la valeur de leurs services en numérisant / automatisant les phases de recueil de données, en systématisant les phases d'analyse de la valeur et de proposition de scénarios.

Les activités de recherche et développement entreprises par CIMPA dans ce domaine nous amènent à engager ce doctorat vers une structuration de l'information par apprentissage automatique statistique (machine learning) et des scénarios d'optimisation. Cette étape est aujourd'hui un élément clé de ses activités car selon les périmètres concernés, les temps d'accès à la donnée ou de traitement manuel de la donnée sont longs et génèrent peu de valeur ajoutée compte tenu du temps passé. La capacité de pouvoir générer des données propres à partir de peu d'informations initiales et en autonomie serait un atout majeur et présenterait un vrai critère différenciant pour leurs activités.

Le livrable attendu est un outil d'aide à la décision ou un assistant de Design for Value basé sur les méthodes et processus métier de la société, créée à partir de données d'entrée variables telles que :

- Liasses techniques de composants complexes
- Liste de données Excels
- Fichier de données 3D (Catia, 3Dxml)
- Règles métiers
- Spécifications fonctionnelles
- Autres métadonnées de produits

Applicabilité – intérêt industriel

Cette thèse s'appuiera sur des cas d'étude et les données utilisées seront issues de sujets industriels en cours et passés. Le principe est de valider systématiquement les concepts levés par une mise en œuvre en conditions réelles.

De cette manière les solutions développées s'inscriront et s'intégreront directement dans les outils et les méthodes utilisés au sein des équipes de R&D et d'ingénierie de la société CIMPA.

Les principaux points d'intérêts de CIMPA dans la structuration de l'information sont :

- L'enrichissement d'une maquette numérique (Digital Mock-Up) avec des données de coûts de production compte tenu des matériaux et procédés renseignés dans les données produits ou les plus probables compte tenu des conceptions CAO des pièces élémentaires,
- La proposition d'optimisation de designs compte tenu des moyens de fabrications,
- Un retour d'information / justification et aide à la décision pour l'ingénieur : décision interactive,
- Autre axe innovant qui pourrait être proposé et dont il n'a pas été fait référence dans ce document.

B. DESCRIPTION DE LA PROPOSITION DE THÈSE

Le travail de thèse a comme objectif global de définir une méthode générique d'accompagnement aux démarches de conception de systèmes et/ou sous-systèmes par l'apport d'une démarche structurée et d'un outil d'aide à la décision intelligent.

Par méthode générique, nous entendons méthode applicable à l'ensemble des problématiques de conception que rencontre l'entreprise CIMPA et aussi applicable à l'ensemble des entreprises qui ont des problématiques de conception à coût objectif ou valeur cible (design to cost – design to value). La démarche structurée devra donc identifier les étapes de la conception pas à pas, c'est à dire les objectifs de chacune d'elles, les activités à réaliser, les éléments clés de l'environnement et les contraintes à prendre en compte, les résultats attendus et, en cas de décision, les variables de décision et critères d'évaluation de celles-ci. Pour l'ensemble de ces éléments il s'agira, de définir ce qui est spécifique au cas traité et ce qui est invariant et donc commun à tous les cas. L'objectif sous-jacent est d'automatiser les activités à faible valeur ajoutée dans la démarche.

Le travail réalisé prendra appui dans un premier temps sur les processus et les pratiques du partenaire industriel (Sté CIMPA) et des acteurs de ses bureaux d'étude, cherchant aussi à améliorer l'efficacité des activités d'ingénierie en concentrant les temps d'expertise sur les phases d'analyse de constructions d'indicateurs pertinents, d'analyse des résultats d'évaluation et de prise de décision. Puis, dans un second cas, d'autres cas seront testés pour éprouver la généralité de la méthode proposée.

Par système intelligent, nous entendons un système capable d'apprendre de ses expériences passées, i.e. capable d'intégrer les décisions prises et solutions proposées lors de conceptions antérieures, de mesurer la distance entre des contextes antérieurs et le contexte en-cours pour accélérer la prise de décision, la définition et mise en œuvre de la solution la plus appropriée. Plus précisément, il est envisagé de construire à partir des cas déjà traités par la société CIMPA et des réponses données, une base de solutions référentes et proposer une métrique de distance entre les cas étudiés en cours et les cas « validés ». Ceci implique aussi de construire une solution qui capitalise les solutions passées et les solutions développées tout en traçant les raisons du choix ou non choix des solutions, second objectif sous-jacent.

Pour atteindre ces objectifs, plusieurs étapes sont nécessaires :

1/ Analyser les décisions en regardant l'existant des activités et projets déjà menés :

- les objectifs de conception
- les types de conceptions
- les activités de conceptions, les méthodes outils et processus mis en œuvre
- les produits ou systèmes conçus
- les critères, variables de décision et contraintes associés

2/ Formaliser l'objectif de fonctionnement

- le rôle des acteurs et des informations échangées ou transformées
- l'environnement d'ingénierie et les indicateurs pertinents à présenter, et leurs agrégation / désagrégation

- les objectifs globaux et spécifiques par expertise, ainsi que les règles de compromis ou choix

3/ Définir les étapes de la démarche

4/ Définir les métriques pour évaluer la distance entre deux cas

5/ Définir les modalités/moyens de capitalisation de l'information.

Les orientations possibles, ou axes d'étude, pour ce travail sont :

- la modélisation du contexte de conception afin d'avoir une meilleure compréhension de la mission du système à concevoir et des besoins à satisfaire,
- la formalisation des connaissances par des approches comme les raisonnements à base de contraintes pour identifier des solutions
- la construction d'une vision coût ou valeur, mais aussi confiance dans les solutions proposées ou retenues, peut être avec une dimension de préférence ou confiance,
- l'évaluation et la hiérarchisation des solutions dans un cadre multi-critères – multi-objectifs – multi-valeurs,
- la configuration et le paramétrage de solutions à déployer
- la capitalisation des cas existants et leur exploitation automatique, voire la reconstruction de connaissance

La démarche proposée devra s'inscrire dans une démarche d'ingénierie système et tenir compte de l'état d'avancement du cycle de développement du produit dans le choix de la décision à prendre. Il faudra bien cerner à quel état d'avancement du développement de produit l'évaluation proposée intervient, pour rechercher le meilleur environnement intelligent d'aide à la décision.

Les outils de l'ingénieur sont fortement appuyés sur la maquette numérique (Digital MockUp) qu'il faudra enrichir et compléter d'un tableau de bord pertinent vis à vis du développement de produit à faire, des activités en cours et des décisions à prendre. Cet environnement pourrait largement s'inspirer des technologies allant vers plus d'interactif voir d'immersif.

Pour mener à bien ce travail de thèse, il est envisagé une période d'immersion au sein des équipes de CIMPA pour analyser les pratiques actuelles et se projeter sur l'expression d'une solution qui répondrait aux attendus d'accompagnement des ingénieurs. Ceci amènera à définir une RoadMap présentant les différentes activités à réaliser pour évoluer de l'état actuel des pratiques vers les objectifs définis (intégré dans les outils et les démarches actuelles, automatisé et capitalisé) tout en prenant en compte l'accompagnement et la formation des acteurs. Ces derniers seront impliqués dans les phases de définition, test et validation de la méthode outillée proposée.

Macro planning prévisionnel

	T0 - T6	→ T12	→ T18	→ T24	→ T30	→ T36
	Analyse des données		Construction d'informations		Traduction en connaissances	
Immersion en contexte Industriel AS IS mapping	XXX <i>majoritaire CIMPA</i>					
Analyse Bibliographique V0 du CDCF de l'outil final		XXX <i>alternance CIMPA L1A</i>				
Formalisation - rôles – informations – produits – décisions - historique des cas	X	XXX	XXX <i>alternance CIMPA</i>			
Proposition - indicateurs d'évaluation			XXX	XXX <i>alternance</i>	XXX	

- confiance et distance - proposition de tableau de bord				<i>CIMPA</i> L2		
Test et validation Enrichissement de la base de cas		X	X	XX	XXX <i>alternance</i> <i>CIMPA</i>	XX
Rédaction - conférences et articles - manuscrit		x	x	x	x	XXX <i>majoritaire</i> <i>Labo</i> L3

Livrable 1 (12 mois) :

- Expression de la problématique industrielle, de la problématique scientifique, identification des verrous et stratégie de résolution.
- Version mature du CDCF du Système d'aide à la décision pour la valeur validée par CIMPA
- Etat de l'art et positionnement bibliographique
- Rapport ANRT CIFRE

Livrable 2 (24 mois)

- Formalisation du CDCF et des spécifications techniques, et premiers résultats basés sur les outils développés
- Choix et justification des cas test
- Mise en avant de la différenciation / pratique précédente CIMPA et / Bibliographie
- 1 (au moins) publication/présentation en conférence internationale
- Rapport ANRT CIFRE

Livrable 3 (36 mois)

- Version finale CDCF – spécifications et démonstrateur fonctionnel de l'outil numérique
- Manuscrit de thèse
- 1 (au moins) publication en journal international soumis

Acteurs participant au projet de thèse

CIMPA	I2M – Eq. IMC
PARROD Nicolas : Resp département TUERY Julien : Resp equ Design to Cost CAZAURANG Luis : Expert Data science ESCANDE Florence : Resp Sci et Technique TOULEMONT Antoine : Expert Design to Cost/Value Doctorant : A trouver	GRUHIER Elise : CAD sémantique + interaction ALIX Thecle : Decision-making process + Manufacturing MARANZANNA Nicolas : Innovation & plm PERRY Nicolas : Design methodologies <i>BAROU Jean Luc : Project support</i>

C. PROPOSITION DE STRUCTURATION D'ACTION

I. Descriptif / Reformulation

Objectif : évaluer, dans la démarche de conception, les alternatives des solutions et les décisions au vu des critères coûts et valeur : Design to cost / Design to value

Ces objectifs s'appuient sur une bonne maîtrise de la structure des coûts au sein des systèmes complexes. Ce sujet est au centre des activités de R&D de CIMPA: expertise présente chez CIMPA de par ses experts métiers au sein des projets industriels, et de ses projets de recherche développés en interne.

Il est aussi nécessaire d'avoir une bonne compréhension et de prendre en compte les coûts de natures différentes (exemple matériaux, fabrication, assemblage...).

L'identification et le bon ciblage des objectifs se fera en appui

- d'une structuration / formalisation de la démarche de conception
- d'un environnement numérique (CAO et PLM) enrichi

- d'une représentation des contextes de questions / décisions multi-expertes et enrichie
- d'une structuration des coûts
- d'une vision du cycle de vie du produit
- lien engineering manufacturier et qualité

L'objectif est de proposer :

- Une démarche de construction de la RoadMap pour évoluer du As Is au To Be (automatisé et capitalisé), intégrant l'accompagnement et la formation des acteurs
- Les étapes d'automatisation recherchée sur l'analyse (bill of material, préparation données pour chiffrage, lier chiffrage aux pièces et sous ensemble et fonctionnalités pour analyse de la valeur et ensuite focus valeur) anciennement faite manuellement, en appui des données disponibles dans le PLM et l'historique des projets
- Une analyse semi-automatique des pièces ou systèmes existants avec l'identification des marges de progrès orientées coûts
- La capitalisation du retour d'expérience sur la génération d'idées antérieures, conditions d'applicabilité, et les coûts associés

La constitution et la quantification de la valeur est à définir, au regard de plusieurs dimensions : fonctionnelle, coût, délai, qualité. L'approche de « juste valeur » s'inspire d'une philosophie système et du lean appliqué au produit (et son cycle de vie) et à la conception du produit.

L'analyse de la valeur peut s'appliquer à 2 niveaux :

- valeur produit pour évaluer la valeur du produit final et les contributions des différentes sous parties et solutions (sélectionnées dans la liste des alternatives) : problématique de pondération ou priorité (centré performance de la fonction technique et service rendu, fabrication ou assemblage, maintenance ...)
- valeur du processus de conception pour amener au développement du produit cherchant à automatiser les actions sans valeur ajoutées dans le processus concentrant les ressources sur les étapes d'évaluation et de décision.

II. Proposition de démarche

0- Etat de l'art

Cette phase de la démarche devra présenter les points suivant :

- Démarche de conception et d'Ingénierie Système
- Formalisation de connaissance et Ingénierie à base des connaissances
- Approches par les coûts / valeur : Design for costs, value stream mapping

Le choix n'est pas fixé quant au type de modélisation / langage de modélisation / outillage numérique pour extraire des connaissances / intégrer des connaissances,

Ceci fait l'objet du bilan d'analyse de l'existant à comparer à une meilleur définition du projet / problème à aborder pour faire un choix éclairé de

- stratégie de modélisation,
- méta-modèle et modèles,
- langages et outils,

et ce afin d'être intégrable dans l'environnement des outils existants et utilisés par les acteurs du Bureau d'Etudes.

1- Mapping des activités & Analyse de l'existant

La thèse présentera une vision de l'état actuel (As Is) et d'une projection idéale (To Be)

- Modéliser le workflow d'informations
- Identifier les natures / acteurs des activités de traitements
- Identifier les liens avec les fonctions / objectifs issus de l'Analyse Fonctionnelle : lien fonction / solution technique et chiffrage

2- Formalisation des processus de traitement

La thèse mettra en évidence la chaîne de valeur du processus de développement produit. Les objectifs sont :

- Identifier les objectifs et décisions clés : définir les objectifs (vis à vis du coût, des phases de vie du produit) et cadre de décision cohérent (à décliner aux différents niveaux du produit / organisation), les variables de décisions
 - que coût ?
 - positionnement vis à vis de coût, qualité, délai
- décrire les décisions et choix faits : pour automatiser les décisions récurrentes et à peu de valeur ajoutées
 - connaître, structurer et formaliser les connaissances sous-jacentes et lier avec les objets d'ingénierie manipulés
 - chaîne de valeur produit
- outiller le décideur avec des indicateurs coûts / valeurs pour la décision et donc définir les indicateurs pertinents
 - données coûts :
 - statistiques existantes chez les experts : à formaliser
 - à reconstruire sur des analyses de projets : reconstruction à partir d'analyse de données
 - agrégation / désagrégation en fonction du niveau produit / procédé d'évaluation
 - structure de données pour alimenter l'évaluation
 - vision projet et coûts objectifs : décomposition a priori des coûts / valeur
- capitaliser le retour d'expérience sur la génération d'idées antérieures, conditions d'applicabilité
 - base de projets antérieurs : structure des métadonnées décrivant le projet
 - métrique distance entre projets
 - dynamique d'enrichissement
 - conditions nécessaires qui permettent d'aboutir

3- Démonstrateur de l'environnement intelligent d'Aide à la Décision à base de Connaissances

Les résultats de la thèse seront supportés par la mise en place d'un démonstrateur présentant les points suivant :

- Bases de connaissances, Bases de calculs des coûts, base de projets existants
- Spécification d'un environnement de travail et formalismes enrichis par étape du développement produit
- comparaison avec la base de projets existants, et implémentation en cours de définition de projet à construire sur le projet Drone et similaire
- Validation sur un cas (autre que Drone)

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Ingénierie système :

Pahl, G., & Beitz, W. (2013). *Engineering design: a systematic approach*. Springer Science & Business Media.

Blanchard, B. S., Fabrycky, W. J., & Fabrycky, W. J. (1990). *Systems engineering and analysis* (Vol. 4). Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall.

Fiorèse S. et Meinadier JP. , Découvrir et comprendre l'ingénierie système, collection AFIS, Cépaduès, 2012

Luzeaux D., Ruault JR. et Wippler JL., Maîtrise de l'ingénierie des systèmes complexes et des systèmes de systèmes, Hermes Science Publications, 2011

<http://www.afis.fr/nm-is/Pages/Ingénierie%20Système/Ingénierie%20Système.aspx>

<http://www.lascom.com/wp-content/uploads/2015/07/PIM->

[PLM_Information_Produit_LivreBlanc2018_Lascom.pdf](http://www.lascom.com/wp-content/uploads/2015/07/PIM-PLM_Information_Produit_LivreBlanc2018_Lascom.pdf)

Elomari Y. Elomari K. Vers une application de l'approche systémique dans la conduite du changement organisationnel : exemple de l'intégration des TIC dans l'entreprise, ISSN : 2458-6250

Formalisation de connaissances et du processus de conception

- Suh, N. P. (2001). *Axiomatic design: Advances and applications (the oxford series on advanced manufacturing)*.
- Zeng, Y., Gu, P. (1999). A science-based approach to product design theory. Part I: formulation and formalization of design process. *Robotics and Computer Integrated Manufacturing*, 15:331-339.
- Kim, K. Y., Manley, D. G., and Yang, H. (2006). Ontology-based assembly design and information sharing for collaborative product development. *Computer-Aided Design*, 38(12):1233-1250.
- Matsokis, A. and Kiritsis, D. (2010). An ontology-based approach for Product Lifecycle Management. *Computers in Industry*, 61(8):787-797.
- Roucoules L., B.Yannou et B.Eynard (2006), *Ingénierie de la conception et cycle de vie des produits, traité IC2 – série Productique*, Hermès Science Publication, ISBN 2-7462-1214-5, 420p.
- Perry N., Ammar-Khodja S. (2010), A knowledge engineering method for new product development, *Journal of Decision Systems*, Vol. 19/1 – 2010, pp.117-133
- La Rocca, G. (2012). Knowledge based engineering: Between AI and CAD. Review of a language based technology to support engineering design. *Advanced engineering informatics*, 26(2), 159-179.

Aide à la décision

- Saaty T.L. (1977), A scaling method for priorities in hierarchical structures, *Journal of Mathematical Psychology*, Elsevier, Vol. 15, pp. 229-241, ISSN: 0022-2496.
- Le Cardinal J. (2000), *Etude des dysfonctionnements dans la prise de décision. Application au choix d'acteur*, Thèse de doctorat, Ecole Centrale de Paris
- M. Elhamdi (2005), *Modélisation et simulation de chaînes de valeurs en entreprise : une approche dynamique des systèmes et aide à la décision : SimulValor*, Thèse de doctorat, spécialité Génie Industriel, Ecole Centrale de Paris.
- Courtney, J. F. (2001). Decision making and knowledge management in inquiring organizations: toward a new decision-making paradigm for DSS. *Decision support systems*, 31(1), 17-38.
- Perry N., Bernard A., Delplace J.-C. (2007), Concurrent Cost Engineering for decisional and operational process enhancement in a foundry, *International Journal of Production Economics*, Vol 109, n°1-2, pp2-11.
- Hwang, C. L., & Masud, A. S. M. (2012). *Multiple objective decision making—methods and applications: a state-of-the-art survey* (Vol. 164). Springer Science & Business Media.
- M. El Amine, J. Pailhes, N. Perry (2017), Integration of concept maturity in decision-making for engineering design: An application to a solar collector development, *J. of Research in Engineering Design*, (DOI 10.1007/s00163-016-0239-y), Vol 28-2, pp 235–250
- M. El Amine, J. Pailhès, N. Perry (2016), Multiple-criteria decision aid methods in conceptual engineering design: toward effective integration of concepts maturity, *Concurrent Engineering: Research and Applications CERA*, vol 24-1, pp. 35-47

Coûts

- Cooper, R., & Kaplan, R. S. (1991). *The design of cost management systems: text, cases, and readings*. Prentice Hall.
- Perrin J. (1996), Cohérence, pertinence et évaluation économique des activités de conception, in *Cohérence, Pertinence et Evaluation*, ECOSIP, Economica. ISBN 2-71-783023-1.
- Cooper R. and Slagmulder, R. (1997), *Target Costing and Value Engineering*, Institute of Management Accountants, Productivity Press Portland Or.
- Esawi A.M.K., M.F. Ashby (2003), Cost estimates to guide pre-selection of processes, *Materials & Design* n°24, pp. 605-616. ISSN: 0261-3069, Elsevier
- E. ten Brinke. *Costing Support and Cost Control in Manufacturing: A Cost Estimation Tool Applied in the Sheet Metal*, PhD Thesis, University of Twente, Enschede, ISBN 90-365-1726-5, <http://doc.utwente.nl/40351>.
- A. DeMarco, R. Green, J. Marino (2006), *Integrated Design-to-cost - Empowering Engineers to Meet Affordability Goals*, Cirp Design Seminar, Alberta, Canada

Perry N., Mauchand M., Bernard A. (2006), Integration of Cost Models in Design and Manufacturing, "Advances in Design", Springer Series in Advanced Manufacturing, H.A.ElMaraghy & W.H.ElMaraghy (Eds.), pp.315-325, ISBN 1-84628-004-4

Bosch-Mauchand M., Siadat A., **Perry N.**, Bernard A. (2012), VCS: Value Chains Simulator, a Tool for Value Analysis of Manufacturing Enterprise Processes, (a value-based decision support tool), *Journal of Intelligent Manufacturing*, Vol.8, Issue 1, pp1-14

Perry N., Bernard A., Bosch-Mauchand M., LeDuigou J., Xu Y. (2011), Eco Global evaluation: cross benefits of economic and ecologic evaluation, Glocalized Solutions for Sustainability in Manufacturing, Springer, pp.681-686, ISBN 978-3-642-19191-1