



Mise en oeuvre de la personnalisation de masse : Contribution au développement d'une méthodologie outillée

Catherine M. da Cunha

► To cite this version:

Catherine M. da Cunha. Mise en oeuvre de la personnalisation de masse : Contribution au développement d'une méthodologie outillée. Sciences de l'ingénieur [physics]. Université de Nantes, 2014. tel-00994825

HAL Id: tel-00994825

<https://theses.hal.science/tel-00994825>

Submitted on 22 May 2014

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Université de Nantes

Habilitation à Diriger des Recherches

présentée et soutenue publiquement

par

Catherine DA CUNHA

le 11 avril 2014

Mise en œuvre de la personnalisation de masse : Contribution au développement d'une méthodologie outillée

JURY

M. Pierre BAPTISTE	Professeur, Ecole Polytechnique de Montréal, Canada	Président
M. Michel ALDANONDO	Professeur, Ecole des Mines d'Albi-Carmaux, France	Rapporteur
Mme. Gülgün ALPAN	Maître de conférences, HdR, ENSGI, France	Rapporteur
M. Bernard GRABOT	Professeur, Ecole Nationale d'Ingénieurs de Tarbes, France	Rapporteur
M. Pierre CASTAGNA	Professeur, Université de Nantes, France	Examineur
M. Alain BERNARD	Professeur, Ecole Centrale de Nantes, France	Dir. de recherche

Table des matières

Avant-propos	xi
A Curriculum Vitæ Etendu	1
Curriculum Vitæ	3
Activités d’enseignement	7
Activités de recherche	9
Encadrements	17
Publications et communications personnelles	19
B Travaux de recherche	25
I Contexte	27
1 Contexte économique	27
1.1 Diversité de l’offre	27
1.2 Personnalisation de masse	28
2 Contexte de la recherche	29
2.1 Contexte global	29
2.2 Historique de mes recherches	30
2.3 Définition de mes axes de recherche	32
II Recueil des données	35
1 Préférences des clients	37
1.1 Contexte	37
1.2 Proposition pour la formalisation des préférences	37
1.3 Proposition pour la formalisation de la valeur	40
1.4 Synthèse des résultats et perspectives	43
2 Prise en compte d’information partielle sur la demande	43
2.1 Contexte et enjeux	43
2.2 Formalisation et notation	43
2.3 Proposition de gestion de l’incertain	45
2.4 Synthèse des résultats	47
3 Fouille de données	48
3.1 Contexte et enjeux	48
3.2 Conformité et re-séquencement	48

3.3	Implantation	49
3.4	Synthèse des résultats et perspectives	51
4	Conclusion	51
III	Conception	53
1	Définition des modules	53
1.1	Contexte et enjeux	53
1.2	Formalisation	57
1.3	Proposition : idées de sélection	59
1.4	Synthèse des résultats	61
2	Diversité produit vs. diversité process	61
2.1	Formalisation : diversité des produits et diversité des process	61
2.2	Proposition : impact des diversités produit et processus de production sur la valeur perçue	62
2.3	Validation : Etude de cas dans l'industrie de la chaussure	63
2.4	Synthèse des résultats	64
3	Conclusion	64
IV	Mise en œuvre et pilotage	65
1	Aide au choix du client	66
1.1	Contexte	66
1.2	Formalisation	67
1.3	Proposition	68
1.4	Implémentation et tests	68
1.5	Synthèse des résultats et perspectives	70
2	Gestion des modifications	71
2.1	Contexte	71
2.2	Formalisation : qu'est ce qu'une modification technique ?	71
2.3	Proposition	72
2.4	Synthèse des résultats et perspectives	74
3	Gestion des capacités organisationnelles	74
3.1	Contexte : positionnement et définition	74
3.2	Formalisation : éléments du modèle de gestion	76
3.3	Proposition : modèle de capacité organisationnelle : C-makers	77
3.4	Validation : développement d'une plateforme et son usage dans le contexte de Valéo	79
3.5	Synthèse des résultats et perspectives	81
4	Identification et mesure des écarts	81
4.1	Contexte : limites du modèle d'analyse causale	81
4.2	Formalisation	81
4.3	Proposition : méthode et outils pour la détection d'écarts	82
4.4	Synthèse des résultats et perspectives	84
5	Conclusion	84
V	Conclusion et perspectives	85
1	Perspectives	85

2	Prise en compte des aspects durables	86
2.1	Etude générique : développement d'outils de mesure et de simulation	86
2.2	Ouverture vers les modèles économiques	89
2.3	Prise en compte des attentes et de la stratégie du client	90
2.4	Remise en cause de la diversité et ouverture vers les services	91
3	Cadre institutionnel	92
	Références bibliographiques	95

C	Annexes et Sélection d'articles	105
A	Description des projets	107
1	ANR Pilot 2.0	107
2	Institut Européen pour l'Administration Etendue - IEAE	108
3	DOROTHY	108
4	S-MC-S	109
B	Sélection d'articles	111
	Design for Cost : Module-Based Mass Customization	111
	Heuristics for Determining Module Stocks	122
	Selection of modules for mass customisation	145
	Conceptual model and IT system for Organizational Capability management	162
	Design for Mass Customization : Product variety vs. Process variety.	180

Table des figures

1	Encadrements de thèse.	4
2	Publications.	5
3	Charges collectives.	6
I.1	Liens entre les différents champs.	33
II.1	Analyse du contexte externe.	36
II.2	Analyse du contexte interne.	36
II.3	Répartition des clients en fonction du nombre de films évalués	38
II.4	Répartition des films en fonction du nombre d'évaluations	39
II.5	Réseau de valeur [C.2011.1].	42
II.6	Méthodes d'obtention de l'information.	46
II.7	Données pour la classification [BB.2007.1].	50
II.8	Démarche globale [BB.2007.1].	51
II.9	Utilisation des données.	52
III.1	Assemblage à la commande [E.2004.1].	54
III.2	Temps d'assemblage pour une demande en produits connue (cas 5 options) [E.2004.1].	56
III.3	Coûts extrêmes pour $\alpha = 1, \beta = 0.4, \gamma = 0.1, \delta = 10$ [A.2007.1].	57
III.4	Réseau d'inducteurs de valeur [A.2001.1].	63
IV.1	Mise en œuvre de la personnalisation de masse.	66
IV.2	Aide au choix du client.	67
IV.3	Algorithme de filtrage [C.2012.5].	69
IV.4	Résultats des deux algorithmes sur l'instance générée [C.2012.5].	70
IV.5	Un processus générique de modification technique [BB.2003.1].	73
IV.6	Indicateurs de l'étape 1 [BB.2003.1].	74
IV.7	Approche de gestion des capacités [ee.2010.1].	75
IV.8	Proposition d'un modèle conceptuel de capacité : le C-makers [A.2012.1].	77
IV.9	Evaluation des capacités [A.2012.1].	78
IV.10	Triple boucle d'apprentissage : interaction many-to-one, one-to-many et many-to-many [ee.2010.1].	79
IV.11	Exemple de roadmap [BB.2010.2].	80

IV.12	Méthodologie pour fiabiliser l'évaluation des capacités organisationnelles [ee.2010.1].	83
V.1	Compatibilités des inducteurs de personnalisation et de durabilité [C.2012.1].	87
V.2	Extrait du modèle d'évaluation développé dans le projet S-MC-S.	88
V.3	Intégration des parties prenantes lors de la conception.	89
V.4	Part des services dans l'offre commerciale.	92

Liste des tableaux

1	Responsabilités pédagogiques à l'ECN.	7
2	Enseignements à l'ECN.	8
3	Répartition des enseignements hors ECN.	8
II.1	Résultats globaux.	39
II.2	Coefficients de la régression.	40
II.3	Etude des résidus.	40
II.4	Quelques définitions de la valeur.	41
III.1	Différents problèmes traités avec leur modes de résolution.	60
III.2	Résultat de l'étude de migration MP vers PC pour Alpina.	64
IV.1	Résultats moyens des deux algorithmes sur l'instance réelle.	70
A.1	Responsabilités dans le projet Pilot 2.0.	108
A.2	Implication dans le projet Dorothy.	109
A.3	Responsabilités dans le projet S-MC-S	110

Avant-propos

J'ai débuté mon parcours dans le monde de la recherche par un stage de trois mois (pendant l'été 2000) dans la chaire de Recherche Opérationnelle de l'université de Karlsruhe (Allemagne). Cette expérience m'a permis de découvrir un monde différent. J'ai découvert la triple nature de la mission académique : l'enseignement, la recherche et le transfert (le projet était dans le cadre d'un contrat avec une collectivité territoriale).

L'orientation de mes thématiques de recherche a été fortement induite par ma formation initiale à l'Ecole Nationale Supérieure de Génie Industriel. Ainsi ce sont les problématiques concrètes des entreprises qui m'intéressent, celles qui sont ressenties au quotidien sur les sites de production, d'acheminement ou de vente. Mon objectif est que les avancées scientifiques auxquelles je participe rendent possible la mise au point de solutions pragmatiques.

Les rencontres et collaborations avec des collègues ont également stimulé, orienté, influencé mes méthodes de travail et mes objets d'études. Ainsi mon intérêt pour la gestion de la diversité est né des expériences de DEA, de thèse de doctorat puis de stage post-doctoral. Chacune de ces expériences m'a permis d'aborder un aspect différent de cette problématique qui touche tous les secteurs de l'économie.

La diversité des produits (biens ou services) offerts permet de répondre aux attentes individuelles des clients. Celle-ci génère une forte diversité de l'environnement industriel (processus de production et organisation) qu'il faut piloter pour satisfaire au mieux le client et assurer la pérennité des entreprises.

Ce contexte de grande diversité a un impact direct sur la nature des données à disposition. Ainsi il faut piloter la performance à partir de données partielles, incertaines, et parfois exprimées en termes non objectifs car provenant directement du client. Dans le cadre de l'amélioration des performances industrielles, ma recherche s'attache à la prise de décision à l'aide de ces informations. Mon objectif est de proposer des outils et des méthodes permettant de mieux maîtriser les inducteurs de performance dans un contexte de grande diversité en palliant le manque d'information.

Les projets présentés ici sont issus d'une double approche :

- des projets en collaboration avec des entreprises, portant sur un point d'achoppement opérationnel nécessitant des outils implémentables,
- des projets de recherche fondamentale issus d'une formulation et d'une curiosité académique.

mique.

La mission de formation à la recherche que je mène actuellement, via l'encadrement de doctorants, m'a permis de mesurer l'importance du positionnement des travaux effectués et de leur articulation. L'objectif de ce mémoire est de synthétiser mes activités depuis 2001. Il vise ainsi à expliciter le lien entre les actions que je mène ou que j'ai menées. Ce document ne présente pas mes travaux de manière exhaustive, mais les éléments présentés sont représentatifs des méthodes utilisées et des thèmes abordés.

Ce document est structuré en quatre parties :

- la première partie présente une synthèse de mon activité,
- la seconde partie présente mon domaine de recherche, et résume les axes principaux des activités de recherches menées au laboratoire GILCO (Grenoble), dans l'équipe MAGI de l'Ecole Polytechnique de Montréal et enfin à l'Institut de Recherche en Communications et Cybernétique de Nantes (UMR CNRS 6597) au sein de l'équipe projet Ingénierie Virtuelle pour le Génie Industriel (IVGI) puis de l'équipe Ingénierie Système - Produits, Performances, Perceptions (IS3P). Elle est conclue par le projet de recherche que je me propose de suivre dans le futur,
- la troisième partie regroupe des tirés à part de certaines de mes publications.

Pour faciliter l'identification de mes publications, deux styles de référencement cohabitent :

- les publications personnelles, ainsi que les masters et thèses encadrés, ont un référencement de type [A.2009.1]. Ce référencement met en exergue le type de publication (A : article de revue, BB : chapitre d'ouvrage, etc.), l'année de publication et le numéro chronologique dans le sous-groupe. La liste complète de ces publications se trouve p. 18. Certaines sont reproduites in extenso dans la partie 3 de ce document,
- les références bibliographiques non personnelles sont repérées par des labels de types [Nom des auteurs, année]

Première partie

Curriculum Vitæ Etendu

Curriculum Vitæ résumé

Etat civil

Nom, Prénoms : DA CUNHA Catherine, Marie
Date et lieu de naissance : 28 juin 1978 à Lagny sur Marne (Seine et Marne)
Nationalité : Française

Situation actuelle (depuis septembre 2006)

Fonction Maître de Conférences, 61^{ième} section
Etablissement de rattachement Ecole Centrale de Nantes
Laboratoire de rattachement Institut de Recherche en Communications et
Cybernétique de Nantes, UMR CNRS 6597
Adresse professionnelle 1, rue de la Noë - BP 92 101 - 44321 Nantes
CEDEX 03

Expériences professionnelles

2006-...	<i>Maître de conférences</i>	Laboratoire IRCCyN et Ecole Centrale de Nantes, Fr.
2005-06	<i>ATER</i>	Laboratoire GILCO et ENSGI, INP Grenoble, Fr.
2004-05	<i>Post-doc.</i>	Polytechnique de Montréal, dpt. MAGI, Montréal, Ca.
2001-04	<i>Doctorante</i>	Laboratoire GILCO, INP Grenoble, Fr.
2001	<i>Stagiaire</i>	Laboratoire GILCO, INP Grenoble, Fr.
2001	<i>Stagiaire</i>	VALEO Connective Systems, Montigny, Fr.
2000	<i>Stagiaire</i>	Fak. für Wirtschaftswissenschaften, Univ. Karlsruhe, All.

Diplômes et distinctions

2013-2017	Prime d'excellence scientifique (à compter du 1er octobre 2013)
2006	Qualification aux fonctions de Maître de Conférences, en section 61 (Génie informatique, automatique et traitement du signal)
2004	DOCTORAT de génie industriel, INP Grenoble titre : Définition et gestion de produits semi-finis pour une production de type « assemblage à la commande » direction : Pr. Yannick FREIN
2001	DEA de génie industriel, INP Grenoble
2001	Diplôme d'INGÉNIEUR en génie industriel, ENSGI, INP Grenoble

Encadrements

- 4 thèses soutenues, encadrements cumulés 180%
- 2 thèses en cours, encadrements cumulés 80%
- 13 masters de recherche soutenus

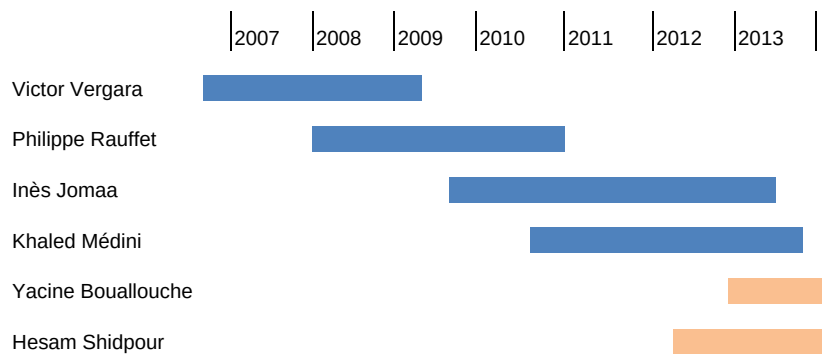


FIGURE 1 – Encadrements de thèse.

Publications

- **10 articles** publiés ou acceptés dans des revues,
- **6 chapitres d'ouvrage**,
- **35 communications** dans des conférences internationales avec comités de lecture.

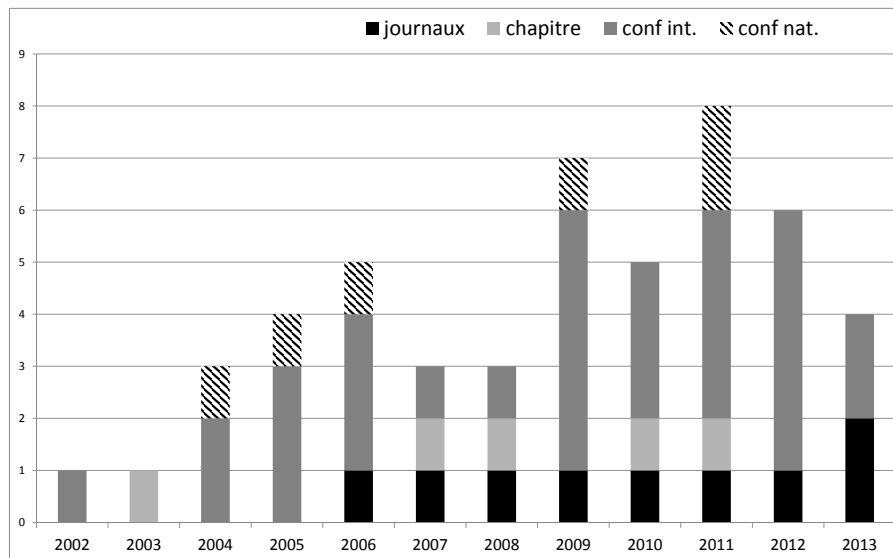


FIGURE 2 – Publications.

Charges collectives actuelles

- depuis 2012 Responsable de la spécialité « Conception de Systèmes et de Produits » du master Sciences Mécaniques Appliquées de l'Ecole Centrale de Nantes (10 étudiants par an)
- depuis 2011 Responsable de l'axe « Variabilité et performances » de l'équipe de recherche IS3P
- depuis 2010 Responsable de l'option Développement de produits et systèmes industriels (DPSI) de l'Ecole Centrale de Nantes (40 étudiants par an)
- depuis 2009 Référente scientifique des échanges d'étudiants pour la zone Europe du Nord (Danemark, Finlande, Suède, Norvège) pour le groupe des Ecoles Centrales (50 étudiants sortants par an)
- depuis 2009 Elue représentante des enseignants-chercheurs au Comité Hygiène et Sécurité de l'ECN



FIGURE 3 – Charges collectives.

Activités d'enseignement

Mes activités d'enseignement en tant qu'allocataire moniteur, ATER puis Maître de Conférences relèvent du génie industriel. Depuis ma nomination à l'Ecole Centrale de Nantes en septembre 2006, j'ai en moyenne effectué 240 h.eq.TD/an.

Ecole Centrale de Nantes

Les étudiants de l'ECN suivent une formation généraliste pendant les semestres S5 à S7 (L3-M1), puis le semestre 8 (M1) leur permet de personnaliser leur parcours au travers des enseignements interdisciplinaires axés sur les futurs secteurs d'emploi. La troisième année à l'ECN (Semestres 9 et 10, M2) se découpe en un semestre académique, alliant option disciplinaire et option professionnelle, et un semestre d'immersion dans l'entreprise (projet de fin d'études).

Je suis, depuis septembre 2010, la responsable de l'option disciplinaire Développement des Produits et Systèmes Industriels (DPSI). Cette option (d'un volume de 500h/élève) accueille chaque année une quarantaine d'étudiants. Le tableau 1 liste les enseignements dont je suis (ou ai été) responsable.

Nom	Niveau d'étude	Vol. élève/an	Période
Logistique	M2	20h	2006-...
Gestion des systèmes industriels	M2	20h	2008-...
Système d'information d'entreprise	M2	40h	2006-08
Projet de conception intégrée	M2	130h	2008-11
Modélisation et mise en œuvre d'un système industriel de production	M1	40h	2006-08
Processus de production dans l'industrie agro-alimentaire	M1	32h	2009-11

TABLE 1 – Responsabilités pédagogiques à l'ECN.

Le tableau suivant (tableau 2) est un récapitulatif de ma charge d'enseignement à l'Ecole Centrale de Nantes à laquelle s'ajoute des encadrements de stages et des tutorats d'élèves.

Nom	Niveau d'étude	Vol. enseigné/an	Période
Logistique	M2	26h eq. TD	2006-...
Gestion des systèmes industriels	M2	25h eq. TD	2008-...
Projet de conception intégrée	M2	30h eq. TD	2008-...
Approche système	M1	40h eq. TD	2006-...
Système d'entreprise	M1	30h eq. TD	2006-...
Management de projet	L3	25h eq. TD	2006-...

TABLE 2 – Enseignements à l'ECN.

Autres établissements

Au travers de mon monitorat (2001-04) et de mon ATER (2005-06), j'ai enseigné à l'ENSGI (INP Grenoble), à un public d'étudiants ingénieurs spécialisés en Génie Industriel. Par ailleurs, j'ai été responsable d'enseignements à d'autres publics, des étudiants en classe préparatoire intégrée (CPP INP Grenoble) et en formation d'ingénieur par l'apprentissage (ITII).

Etablissement	Nom de l'enseignement	Niveau d'étude	Période
ITII			
Pays de la Loire	Algorithmique et programmation	L2	2010-...
Pays de la Loire	Analyse de la valeur	L2	2006-08
Dauphiné	Gestion de projet	L2	2005-06
INP Grenoble			
CPP	Organisation industrielle	L2	2005-06
ENSGI	Automatique-Régulation	L3	2001-04
ENSGI	Programmation en Java	L3	2001-06
ENSGI	Gestion de projet	M1	2005-06
ENSGI	Gestion des opérations	M2	2005-06
ENSGI	Conception de la chaîne logistique	M1	2005-06
ENSGI	Ordonnancement	M1	2005-06

TABLE 3 – Répartition des enseignements hors ECN.

Activités de recherche

Mes activités de recherche se déroulent actuellement à l'Institut de Recherche en Communications et Cybernétique de Nantes (IRCCyN), UMR CNRS 6597.

J'ai été recrutée en septembre 2006 dans l'équipe IVGI (Ingénierie virtuelle pour le génie industriel), dirigée par Alain BERNARD (Professeur à l'ECN). Pour le quadriennal 2012-2016, une réorganisation a été proposée : l'équipe IS3P (Ingénierie des systèmes : Produits, Performances, Perceptions) a vu le jour en mars 2011, elle est dirigée par Jean-François PETIOT (Professeur à l'ECN).

Le cadre de recherche de cette nouvelle équipe est l'aide à la décision en conception ou pilotage de systèmes. Il s'agit notamment de comprendre les relations entre les performances d'un système et leurs inducteurs, afin de prendre des décisions pour améliorer les performances. Les leviers pour cette amélioration sont le développement de méthodes et outils pour la modélisation, l'analyse, le pilotage, la conception et l'optimisation de systèmes.

Je suis responsable de l'axe de recherche « Variabilité et performances » dont l'objectif est la prise en compte de l'impact des variations des paramètres d'un système (inducteurs) sur ses performances. Les thèmes abordés dans cet axe sont notamment :

- la prise en compte de la diversité et personnalisation de masse,
- la formalisation de critères de conception robuste,
- la conception universelle (design for all).

Projets et collaborations

Mes échanges avec la communauté ont lieu au travers de projets financés par des instances nationales ou internationales, mais aussi au travers de collaborations directes avec des chercheurs ou équipes de recherche travaillant sur des thématiques proches des miennes.

Projets nationaux

Pilot 2.0

Projet ANR : Pilot 2.0, 07 TLOG 016 , (décembre 2007 - octobre 2010) Dans ce projet mes missions étaient la formalisation des problématiques scientifiques et du concept de l'objet « capacité organisationnelle ». C'est dans le cadre de ce projet, que j'ai co-encadré la thèse de Philippe RAUFFET [e.2010.1].

Les publications personnelles associées au projet sont les suivantes : [BB.2010.1], [C.2009.1], [C.2009.2], [C.2009.3], [C.2009.4]. Pour plus d'information sur ce projet voir les annexes (p. 107).

IEAE

L'Institut Européen pour l'Administration Etendue (inauguré le 26 septembre 2011) vise à l'optimisation des modèles de performance globale public-privé. C'est dans ce cadre que je co-encadre la thèse de Yacine BOUALLOUCHE [e.2015.1]. C'est une thèse CIFRE accueillie par l'entreprise CGI Business Consulting. Pour plus d'information sur ce projet voir les annexes (p. 108).

Collaborations et projets internationaux

Collaborations internationales

Dans la continuité de mon post-doctorat à l'Ecole Polytechnique de Montréal (2004-05), je poursuis ma collaboration avec Bruno AGARD sur le thème de l'utilisation des techniques de data-mining pour la gestion de la diversité. Cette collaboration s'est concrétisée par la publication de plusieurs articles en commun ([A.2010.1], [A.2009.1], [A.2007.1], [A.2006.1], [BB.2007.1]).

Une collaboration avec Stellenbosh existait entre mon équipe de recherche et l'université de Stellenbosh (Afrique du Sud), cette collaboration s'est traduit par l'accueil en Afrique du sud d'étudiants français en master ([ee.2007.1] et [ee.2009.1]) et des publications communes ([C.2008.1] et [C.2009.5]).

Projet DOROTHY

Projet européen : Design Of customeR dRiven shOes and multi-siTE factorY No. FP7-NMP-2007-3.3-1 (juillet 2008 - juin 2011)

La thèse de Joanna DAABOUL [Daaboul, 2011](encadrée par A. BERNARD et F. LA-ROCHE) rentre dans le cadre du projet DOROTHY. Bien que je n'ai pas participé directement à l'encadrement de cette thèse, l'implication dans le projet et la collaboration avec Joanna ont été fructueuses. Ensemble nous avons obtenu des résultats significatifs pour le projet qui ont fait l'objet de publications communes ([A.2011.1],[C.2011.1]). Je suis plus particulièrement intervenue dans les tâches T 1.1 "Enabling Technologies survey" et T 4.3 "Network infrastructure and partners value configuration".

Pour plus d'information sur ce projet voir les annexes (p. 108).

S-MC-S

Projet européen : Sustainable Mass customization- Mass Customization for Sustainability, No. FoF-NMP-2010-2, (mai 2010 - avril 2013)

Mission dans le projet : Lot 3, SMCS assessment model (début en octobre 2010, effort total du lot : 56 mois).

L'objectif de ce lot est de définir le modèle d'évaluation qui servira à évaluer l'impact des couples systèmes de production / chaîne de valeur dans le cadre d'une production personnalisée. Cet impact est multi-dimensionnel et sera évalué sur les aspects économiques, sociétaux et environnementaux. Il s'agit également de définir les interfaces nécessaires avec les modules de conception (produit, processus de production et chaîne de valeur) qui seront produits par les autres lots du projet (lots 2 et 4).

C'est dans le cadre de ce projet, que je co-encadre la thèse de Khaled MEDINI [e.2013.1].

Les publications personnelles associées au projet sont les suivantes :

[C.2012.1], [C.2012.2], [C.2012.3], [C.2012.4], [C.2011.2], [C.2011.3].

Pour plus d'information sur ce projet voir les annexes (p. 109).

Visibilité et rayonnement

Publications

La liste de mes publications se trouve p.18

Expertise

- Evaluation pour :
 - l'ANR - Programme Blanc SIMI 3 - Matériels et logiciels pour les systèmes et les communications,
 - l'ANRT - dossiers de CIFRE.
- Relecture et évaluation pour des revues :
 - Applied Soft Computing (ASOC) ISSN : 1568-4946,
 - Transactions on Automation Science and Engineering (IEEE-T ASE) ISSN : 1545-5955,
 - European Journal of Operational Research (EJOR) ISSN : 0377-2217,
 - Engineering Applications of Artificial Intelligence (EAA I) ISSN : 0952-1976,
 - International Journal of Production Research (IJPR) ISSN : 0020-7543
- Relecture et évaluation d'articles pour des conférences :
 - MIM 2013,
 - ESDA2012,
 - APMS2010,
 - DET 2008,

Organisation de conférences

Participation à l'organisation des conférences

- ESDA 2012,
- CIRP-DESIGN 2010,

- AIP-PRIMECA 2009,
- DET 2008.

Jury de recrutement

Participation au jury de recrutement du poste de maître de conférences MCF 0959 60/61ème Génie industriel, ingénierie des systèmes complexes à l'Ecole Centrale de Nantes (2009)

Responsabilité d'encadrements

Un récapitulatif de cette section se trouve p.15

Encadrements de thèses de doctorat

Thèses soutenues

Victor Vergara 2006-2009 [e.2009.1]

Modélisation pour la simulation de l'intégration verticale et virtuelle pour la prise de décisions

Thèse de doctorat de l'Ecole Centrale de Nantes soutenue le 18 mai 2009

Jury : B. Grabot (Rapporteur), P. Martin (Rapporteur), M. Bosch-Mauchand, V. Giard, A. Gomez-Padilla, C. da Cunha, A. Bernard.

Financement : Bourse du gouvernement mexicain

Encadrement : 50% (Directeur de thèse Alain Bernard, 50%)

Victor Vergara occupe actuellement un poste d'ingénieur dans une entreprise au Mexique. A ce jour, cette thèse a donné lieu à la publication suivante : [C.2009.6].

Philippe Rauffet 2007-2010 [e.2010.1]

Prise en compte des facteurs formels et contextuels dans la gestion des capacités organisationnelles. Application aux organisations matricielles.

Thèse de doctorat de l'Ecole Centrale de Nantes soutenue le 9 décembre 2010

Jury : B. Grabot (Rapporteur), H. Pingaud (Rapporteur), X. Boucher, E. Bonjour, N. Monomakoff, C. da Cunha, A. Bernard.

Financement : ANR projet Pilot 2.0

Encadrement : 50% (Directeur de thèse Alain Bernard, 50%)

Philippe Rauffet occupe actuellement un poste de maître de conférences à l'université de Bretagne sud.

A ce jour, cette thèse a donné lieu aux publications suivantes : [A.2014.1], [A.2012.1], [BB.2010.1], [BB.2010.2], [C.2011.4], [C.2010.1], [C.2009.1], [C.2009.2], [C.2009.3], [C.2009.4], [D.2011.1].

Inès Jomaa 2009-2013 [e.2013.2]

Prise en compte des perceptions dans les systèmes de recommandation de produits en ligne

Thèse de doctorat de l'Ecole Centrale de Nantes soutenue le 28 juin 2013

Financement : Allocation du Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche

Encadrement : 30% (Directeur de thèse Jean-François Petiot, 40%, Emilie Poirson, 30%)

A ce jour, cette thèse a donné lieu aux publications suivantes : [C.2012.5], [C.2011.5], [D.2011.2].

Khaled Médini 2010-2013 [e.2013.1]

Evaluation de la performance d'entreprises dans le contexte de la personnalisation de masse durable)

Financement : projet européen S-MC-S

Thèse de doctorat de l'Ecole Centrale de Nantes soutenue le 23 octobre 2013

Encadrement : 50% (Directeur de thèse Alain Bernard, 50%) A ce jour, cette thèse a donné lieu aux publications suivantes : [C.2013.1], [C.2012.1], [C.2012.2], [C.2012.3], [C.2012.4], [C.2011.2], [C.2011.3].

Thèse en cours**Hesam Shidpour 2012-...[e.2015.2]**

Development of a multicriteria decision making system for the three dimensional concurrent engineering(titre provisoire)

Financement : Allocation du Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche

Thèse de doctorat de l'Ecole Centrale de Nantes débutée en avril 2012

Encadrement : 50% (Directeur de thèse Alain Bernard, 50%)

Yacine Bouallouche 2012-... [e.2015.1]

Modélisation, simulation et optimisation d'une activité publique dans le cadre d'une transformation vers un fonctionnement optimisé en administration étendue(titre provisoire)

Financement : Convention CIFRE

Thèse de doctorat de l'Ecole Centrale de Nantes débutée en octobre 2012

Encadrement : 30% (Directeur de thèse Alain Bernard, 40%, Raphaël Chenouard, 30%)

Encadrements de DEA ou de masters**Boris Leprou 2013 [ee.2013.1]**

Deployment of Lean Manufacturing activities.

Master en Mécanique Appliquée, parcours « Conception de Systèmes et Produits » de l'Ecole Centrale de Nantes en collaboration avec Astrium.

Sujet confidentiel

Miguel Inigo 2013 [ee.2013.2]

Simulation pour le dimensionnement d'un Hub Logistique.

Master en Mécanique Appliquée, parcours « Conception de Systèmes et Produits » de l'Ecole Centrale de Nantes en collaboration avec Faurecia.

Nhim Visna 2009 [ee.2009.1]

Characterization of the entities involved in the different stages of the Innovation Funnel.

Master en Mécanique Appliquée, parcours « Conception de Systèmes et Produits » de l'Ecole Centrale de Nantes en collaboration avec GCC Stellenbosh university, South Africa.

A ce jour, ce master a donné lieu à la publication suivante : [C.2009.5].

Josu Aranbarri Artetxe 2008 [ee.2008.1]

Intégration verticale : modélisation et simulation.

Master en Mécanique Appliquée, parcours « Conception de Systèmes et Produits » de l'Ecole Centrale de Nantes.

A ce jour, ce master a donné lieu à la publication suivante : [C.2009.6].

Alba Idigoras Arricondo 2008 [ee.2008.2]

Dynamique des relations interentreprises.

Master en Mécanique Appliquée, parcours « Conception de Systèmes et Produits » de l'Ecole Centrale de Nantes en collaboration avec Airbus S.A. Sujet confidentiel.

Maxime Chauve 2007 [ee.2007.2]

Performance evaluation in a supply network

Master en Mécanique Appliquée, parcours « Conception de Systèmes et Produits » de l'Ecole Centrale de Nantes en collaboration avec Bath university, G.B.

A ce jour ce master a donné lieu aux publications suivantes : [BB.2008.1],[C.2007.1].

Philippe Rauffet 2007 [ee.2007.1]

A methodology for the application of an automated and interactive reification process in a virtual community of practice

Master en Mécanique Appliquée, parcours « Conception de Systèmes et Produits » de l'Ecole Centrale de Nantes en collaboration avec GCC Stellenbosh university, South Africa

A ce jour, ce master a donné lieu à la publication suivante : [C.2008.1].

Baudry, Virginie 2007 [ee.2007.3]

Comment choisir le moyen de manutention le plus adapté à un besoin industriel ?
 Master en Mécanique Appliquée, parcours « Conception de Systèmes et Produits » de l'Ecole Centrale de Nantes en collaboration avec Airbus S.A. Sujet confidentiel.

Murat Urun 2006 [ee.2006.1]

De l'utilisation de l'information dans les transports : problèmes de conception, gestion et tarification.

DEA en Génie Industriel, INP Grenoble, coencadrement avec V.-D. Cung (Pr. à l'INP Grenoble)

Emre Gunes 2004 [ee.2004.1]

Optimisation de la diversité des câblages dans l'industrie automobile.

DEA en Génie Industriel, INP Grenoble, coencadrement avec V.-D. Cung (Pr. à l'INP Grenoble)

Jaouher Mahmoudi 2003 [ee.2003.1]

Composition d'un stock de produits semi-finis.

DEA en Génie Industriel, INP Grenoble, coencadrement avec Y. Frein (Pr. à l'INP Grenoble)

A ce jour, ce master a donné lieu à la publication suivante :[D.2004.1].

Mouloud Maafa 2004 [ee.2004.2]

Stock de produits semi-finis : modélisation des contraintes.

DEA Recherche opérationnelle et Combinatoire, INP Grenoble, coencadrement avec Y. Frein (Pr. à l'INP Grenoble)

Souaad Ait Hellal 2003 [ee.2003.2]

Composition d'un stock de produits semi-finis.

DEA en Recherche opérationnelle et Combinatoire, INP Grenoble, coencadrement avec Y. Frein (Pr. à l'INP Grenoble)

Encadrements

e : Thèses de doctorat

- [e.2009.1]V. Vergara, *Modélisation pour la simulation de l'intégration verticale et virtuelle pour la prise de décisions*, Thèse de doctorat, Ecole Centrale de Nantes, 18 mai 2009, Spécialité Génie Mécanique, co-encadrement Pr. Alain Bernard(50%).
- [e.2010.1]Ph. Rauffet, *Prise en compte des facteurs formels et contextuels dans la gestion des capacités organisationnelles. Application aux organisations matricielles.*, Thèse de doctorat, Ecole Centrale de Nantes, 6 décembre 2010, Spécialité Génie Mécanique, co-encadrement Pr. Alain Bernard(50%).
- [e.2013.1]K. Medini, *Evaluation de la performance d'entreprises dans le contexte de la personnalisation de masse durable*, Thèse de doctorat, Ecole Centrale de Nantes, 23 octobre 2013, Spécialité Génie Mécanique, co-encadrement Pr. Alain Bernard(50%).
- [e.2013.2]I. Jomaa, *Prise en compte des perceptions dans les systèmes de recommandation de produits en ligne*, Thèse de doctorat, Ecole Centrale de Nantes, 28 juin 2013, Spécialité Génie Mécanique, co-encadrement Pr. Jean-François Petiot(40%), Dr. Emilie Poirson(30%).
- [e.2015.1]Y. Bouallouche, *Modélisation et simulation d'une activité publique dans le cadre d'une transformation vers un fonctionnement optimisé en administration étendue (titre provisoire)*, Thèse de doctorat, Ecole Centrale de Nantes, 2015, Spécialité Génie Mécanique, co-encadrement Pr. Alain Bernard(40%), Dr. Raphaël Chenouard(30%).
- [e.2015.2]H. Shidpour, *Development of a multicriteria decision making system for the three dimensional concurrent engineering in a Mass Customization context (titre provisoire)*, Thèse de doctorat, Ecole Centrale de Nantes, 2015, Spécialité Génie Mécanique, co-encadrement Pr. Alain Bernard(50%).

ee : Master

- [ee.2003.1]J. Mahmoudi, *Composition d'un stock de produits semi-finis*, Mémoire, INP Grenoble, Septembre 2003, DEA en Génie Industriel, coencadrement avec Y. Frein (Pr. à l'INP Grenoble).
- [ee.2003.2]S. Ait Hellal, *Composition d'un stock de produits semi-finis.*, Mémoire, INP Grenoble, Septembre 2003, DEA en Recherche opérationnelle et Combinatoire, coencadrement avec Y. Frein (Pr. à l'INP Grenoble).

- [ee.2004.1]E. Gunes, *Optimisation de la diversité des câblages dans l'industrie automobile*, Mémoire, INP Grenoble, Septembre 2004, DEA en Génie Industriel, coencadrement avec V.-D. Cung (Pr. à l'INP Grenoble).
- [ee.2004.2]M. Maafa, *Stock de produits semi-finis : modélisation des contraintes*, Mémoire, INP Grenoble, Septembre 2004, DEA Recherche opérationnelle et Combinatoire, coencadrement avec Y. Frein (Pr. à l'INP Grenoble).
- [ee.2006.1]M. Urun, *De l'utilisation de l'information dans les transports : problèmes de conception, gestion et tarification*, Mémoire, INP Grenoble, Septembre 2006, DEA en Génie Industriel, coencadrement avec V.-D. Cung (Pr. à l'INP Grenoble).
- [ee.2007.1]Ph. Rauffet, *A methodology for the application of an automated and interactive reification process in a virtual community of practice*, Mémoire, Ecole Centrale de Nantes & GCC Stellenbosh university, South Africa, 2007, Master "Mécanique Appliquée", parcours "Conception de Systèmes et Produits".
- [ee.2007.2]M. Chauve, *Performance evaluation in a supply network*, Mémoire, Ecole Centrale de Nantes & Bath university, G.B., 2007, Master "Mécanique Appliquée", parcours "Conception de Systèmes et Produits".
- [ee.2007.3]V. Baudry, *Comment choisir le moyen de manutention le plus adapté à un besoin industriel ?*, Mémoire, Ecole Centrale de Nantes, 2007, Master "Mécanique Appliquée", parcours "Conception de Systèmes et Produits".
- [ee.2008.1]J. Aranbarri Artetxe, *Intégration verticale : modélisation et simulation*, Mémoire, Ecole Centrale de Nantes, 2008, Master "Mécanique Appliquée", parcours "Conception de Systèmes et Produits".
- [ee.2008.2]A. Idigoras Arricondo, *Dynamique des relations interentreprises*, Mémoire, Ecole Centrale de Nantes & Airbus S.A., 2008, Master "Mécanique Appliquée", parcours "Conception de Systèmes et Produits".
- [ee.2009.1]V. Nhim, *Characterization of the entities involved in the different stages of the Innovation Funnel*, Mémoire, Ecole Centrale de Nantes & GCC Stellenbosh university, South Africa, 2009, Master "Mécanique Appliquée", parcours "Conception de Systèmes et Produits".
- [ee.2013.1]B. Leprou, *Deployment of Lean Manufacturing activities*, Mémoire, Ecole Centrale de Nantes & Astrium, 2013, Master "Mécanique Appliquée", parcours "Conception de Systèmes et Produits".
- [ee.2013.2]M. Inigo, *Simulation pour le dimensionnement d'un Hub Logistique*, Mémoire, Ecole Centrale de Nantes & Faurecia, 2013, Master "Mécanique Appliquée", parcours "Conception de Systèmes et Produits".

Publications et communications personnelles

A : Articles de revues

- [A.2006.1]C. da Cunha, B. Agard, A. Kusiak, “Data mining for improvement of product quality”, *International Journal of Production Research* 44, 18-19, 2006, p. 4027–4041.
- [A.2007.1]C. da Cunha, B. Agard, A. Kusiak, “Design for Cost : Module-Based Mass Customization”, *IEEE Transactions on Automation Science and Engineering* 4, 3, 2007, p. 305–359.
- [A.2008.1]C. da Cunha, Y. Frein, “Heuristics for determining module stocks in assemble-to-order systems.”, *Journal of Decision Systems* 17, 3, 2008, p. 403–424.
- [A.2009.1]B. Agard, C. da Cunha, B. Cheung, “Composition of modules stock for final assembly using enhanced genetic algorithm”, *International journal of production research* 47, 20, 2009, p. 5829–5842.
- [A.2010.1]C. da Cunha, B. Agard, A. Kusiak, “Selection of Modules for Mass Customisation”, *International journal of Production Research* 48, 5, 2010, p. 1439–1454.
- [A.2011.1]J. Daaboul, C. da Cunha, A. Bernard, F. Laroche, “Design for Mass Customization : Product variety vs. Process variety”, *CIRP Annals - Manufacturing Technology* 60, 1, 2011, p. 169–174.
- [A.2012.1]Ph. Rauffet, C. da Cunha, A. Bernard, “Conceptual model and IT system for Organizational Capability management”, *Computers in Industry* 63, 7, 2012, p. 706–722.
- [A.2014.1]Ph. Rauffet, C. da Cunha, A. Bernard, “A dynamic methodology and associated tools to assess Organizational Capabilities”, *Computers in Industry* 65, 2014, p. 158–174.
- [A.in Press.1]J. Daaboul, P. Castagna, C. da Cunha, A. Bernard, “Value network modelling and simulation for strategic analysis : a discrete event simulation approach”, *International Journal of Production Research*, in Press.
- [A.in Press.2]J. Daaboul, J. Le Duigou, C. da Cunha, A. Bernard, “Value networks : pulling the triggers. A combined approach of modelling and simulation for performance evaluation”, *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, in Press.

BB : Chapitres d'ouvrage

- [BB.2003.1]A. Rivière, C. da Cunha, M. Tollenaere, "Performances in Engineering Change Management", in *Recent Advances in Integrated Design and Manufacturing in Mechanical Engineering*, G. Gogu, D. Coutellier, P. Chedmail, and P. Ray (editors), Kluwer Academic Publishers, 2003, p. 369–378.
- [BB.2007.1]B. Agard, C. da Cunha, "Manufacturing plant layout supported with data mining techniques", in *Trends and recent Advances in Integrated Design and Manufacturing in Mechanical Engineering*, S. Tichkiewitch, M. Tollenaere, and P. Ray (editors), Kluwer, 2007, p. 373–383.
- [BB.2008.1]P. Maropoulos, M. Chauve, C. da Cunha, "Review of Trends in Production and Logistic Networks and Supply Chain Evaluation", in *Dynamics in Logistics*, H.-J. Kreowski, B. Scholz-Reiter, and H.-D. Haasis (editors), Springer Berlin Heidelberg, 2008, p. 39–55.
- [BB.2010.1]Ph. Rauffet, M. Labrousse, C. da Cunha, A. Bernard, "Sustainable Organizational Learning in Group : A Digital Double-Loop System Based on Knowledge Maturity and Performance Assessment", in *Proceedings of the 6th CIRP-Sponsored International Conference on Digital Enterprise Technology*, G. Huang, K. Mak, and P. Maropoulos (editors), *Advances in Soft Computing*, 66, Springer Berlin / Heidelberg, 2010, p. 1769–1786.
- [BB.2010.2]Ph. Rauffet, C. Da Cunha, A. Bernard, "Knowledge Sharing and Communities of Practices for Intra-organizational Interoperability", in *Enterprise Interoperability IV*, K. Popplewell, J. Harding, R. Poler, and R. Chalmeta (editors), Springer London, 2010, p. 397–406.
- [BB.2012.1]A. Bernard, J. Daaboul, F. Laroche, C. Da Cunha, "Mass Customisation as a Competitive Factor for Sustainability", in *Enabling Manufacturing Competitiveness and Economic Sustainability*, H. A. ElMaraghy (editor), Springer, 2012, p. 18–25.

C : Conférences internationales à comité de lecture

- [C.2002.1]A. Rivière, C. da Cunha, M. Tollenaere, "Performances in Engineering Change Management", in *4th International Conference on Integrated Design and Manufacturing in Mechanical Engineering - IDMME 2002*, Clermont-Ferrand, France, Mai 2002.
- [C.2004.1]C. da Cunha, Y. Frein, "Heuristiques pour la composition d'un stock de produits semi-finis", in *Conférence Internationale de Modélisation, Optimisation et SIMulation - MOSIM 2004*, p. 107–114, Nantes, France, Septembre 2004.
- [C.2004.2]C. da Cunha, Y. Frein, "Stock sizing with partially unknown demands", in *Abstracts, International Workshop on Project Management and Scheduling - PMS 2004*, p. 444–449, Nancy, France, Avril 2004.
- [C.2005.1]C. da Cunha, B. Agard, A. Kusiak, "Improving manufacturing quality by re-sequencing assembly operations : a data-mining approach", in *18th International Conference on Production Research - ICPR 2005*, Salerno, Italie, Août 2005.

- [C.2005.2]C. da Cunha, B. Agard, "Composition of modules' stock using Simulated Annealing", in *The 6th IEEE International Symposium on Assembly and Task Planning- ISATP 2005*, p. 144–149, Montréal, Canada, Juillet 2005.
- [C.2005.3]C. da Cunha, B. Agard, "Influence de la nature de la demande sur la constitution d'un stock de produits semi-finis", in *6^{ème} Congrès de Génie Industriel - CGI 2005*, Besançon, France, Juin 2005.
- [C.2006.1]C. da Cunha, B. Agard, "Modéliser la demande grâce à la logique floue", in *Modélisation et simulation pour l'analyse et l'optimisation des systèmes industriels et logistiques - MOSIM, 2006*, Rabat, Maroc, Avril 2006.
- [C.2006.2]C. da Cunha, B. Agard, "Business process reengineering with Data mining in real estate credit attribution : a case study", in *International Conference on Information Systems, Logistics and Supply Chain - ILS 2006*, Lyon, France, Mai 2006.
- [C.2006.3]B. Agard, C. da Cunha, "Manufacturing plant layout supported with data mining techniques", in *6th International Conference on Integrated Design and Manufacturing in Mechanical Engineering - IDMME 2006*, Grenoble, France, Mai 2006.
- [C.2006.4]B. Agard, B. Cheung, C. da Cunha, "Design of modules using genetic algorithm", in *12th IFAC symposium on Information control Problems in Manufacturing - INCOM 2006*, Saint-Etienne, France, Mai 2006.
- [C.2007.1]P. Maropoulos, M. Chauve, C. da Cunha, "Review of Trends in Logistic Networks and Supply Chain Evaluation", in *International Conference on Dynamics in Logistics - LDIC 2007*, Bremen, Allemagne, Août 2007.
- [C.2008.1]Ph. Rauffet, A. Bernard, C. Da Cunha, N. Du Preez, L. Louw, W. Uys, "Assessed, interactive and automated reification in a virtual community of practice", in *7th International Symposium on Tools and Methods of Competitive Engineering - TMCE 2008*, Izmir, Turquie, Avril 2008.
- [C.2009.1]Ph. Rauffet, M. Labrousse, C. Da Cunha, M., A. Bernard, "Organizational learning in group : A digital double-loop system based on knowledge maturity and performance assessment", in *6th International Conference on Digital Enterprise Technology - DET 2009*, Hong-Kong, 2009.
- [C.2009.2]Ph. Rauffet, A. Bernard, C. da Cunha, M. Labrousse, "Progress Management in Performance-Driven Systems : Study of the 5Steps Roadmapping, a Solution for Managing Organizational Capabilities and Their Learning Curves", in *13th IFAC symposium on information control problems in manufacturing - INCOM 2009*, Moscow, Russia, Juin 2009.
- [C.2009.3]Ph. Rauffet, A. Bernard, C. Da Cunha, "Le pilotage d'entreprise par les capacités organisationnelles : étude de l'approche roadmapping et de la méthode 5Steps", in *8ème Congrès International de Génie Industriel- CGI 2009*, Tarbes, France, Juin 2009.
- [C.2009.4]Ph. Rauffet, C. Da Cunha, A. Bernard, "Designing and managing Organizational Interoperability with organizational capabilities and roadmaps", in *International*

Conference Interoperability for Enterprise Software and Applications- IESA 2009, Beijin, China, Avril 2009.

- [C.2009.5]V. Nhim, Ph. Rauffet, C. da Cunha, A. Bernard, W. Uys, L. Louw, N. du Preez, "Controlling ideas and concepts generation stage for a better management of innovation portfolio : analysis of the Fugle methodology's funnel", in *Industrial Engineering and Systems Management - IESM 2009*, Montréal, Canada, Mai 2009.
- [C.2009.6]J. Aranbarri Artetxe, C. da Cunha, V. Vergara Canizales, Ph. Rauffet, "Vertical integration : modeling and evaluation", in *13th IFAC symposium on information control problems in manufacturing - INCOM 2009*, Moscow, Russia, Juin 2009.
- [C.2009.7]A. Bernard, F. Laroche, C. Da Cunha, "Models and methods for knowledge formalisation in a PLM context", in *3rd International Congress Design and Modelling of Mechanical Systems - CMSM 2009*, Hammamet Tunisie, 2009.
- [C.2009.8]Ph. Rauffet, A. Bernard, M. Da Cunha, Catherine, N. Du Preez, L. Louw, W. Uys, "Assessed, interactive and automated reification in a virtual community of practice", in *International Symposium on Tools and Methods of Competitive Engineering - TMCE 2009*, Izmir, Turquie, 2009.
- [C.2010.1]Ph. Rauffet, C. Da Cunha, A. Bernard, "Knowledge sharing and communities of practices for intra-organizational interoperability", in *6th International Conference Interoperability for Enterprise Software and Applications - I-ESA 2010*, Coventry, Royaume-Uni, 2010.
- [C.2010.2]R. Chenouard, C. Da Cunha, F. Laroche, A. Bernard, "Model-based design of exploitation guidelines", in *9th International Conference on Integrated, Interactive and virtual product Engineering - IDMME 2010*, Bordeaux, France, 2010.
- [C.2011.1]J. Daaboul, C. da Cunha, F. Laroche, A. Bernard, "Value of personalized products : modelling the customer perception", in *2011 World Conference on Mass Customization, Personalization, and Co-Creation - MCPC 2011*, San Francisco, USA, 2011.
- [C.2011.2]K. Medini, C. da Cunha, A. Bernard, "Towards an Integrated Mass Customization and Sustainability Assessment Framework", in *2011 World Conference on Mass Customization, Personalization, and Co-Creation - MCPC 2011*, San Francisco, USA, 2011.
- [C.2011.3]K. Medini, C. da Cunha, A. Bernard, "Enterprise Modeling Requirements For A Sustainability Multi-Level Assessment", in *21st International Conference on Production Research - ICPR 2011*, Stuttgart, All, 2011.
- [C.2011.4]A. Bernard, Ph. Rauffet, C. Da Cunha, "Organizational capability management for improving performance of global production networks", in *44th CIRP Conference on Manufacturing Systems*, Madison, WI, june 2011.
- [C.2011.5]I. Jomaa, E. Poirson, C. Da Cunha, J.-F. Petiot, "A methodology for designing a recommender system bases on customer preferences", in *18th International Conference on Engineering Design - ICED 2011*, Copenhagen, 2011.

- [C.2012.1]K. Medini, C. da Cunha, A. Bernard, “Sustainable Mass Customized Enterprise : Key Concepts, Enablers and Assessment Techniques”, in *14th IFAC Symposium on Information Control Problems in Manufacturing - INCOM 2012*, Bucharest, Romania, 2012.
- [C.2012.2]K. Medini, C. da Cunha, A. Bernard, “An Enterprise Meta Model for the Assessment and Improvement of Sustainability and Mass Customization Performance”, in *9ième Conférence Internationale de Modélisation, Optimisation et SIMulation - MOSIM 2012*, Bordeaux, France, 2012.
- [C.2012.3]K. Medini, C. da Cunha, A. Bernard, “A Method for Developing Sustainability and Mass Customization Indicators”, in *International Workshop of Green Supply Chain - GSC 2012*, Arras, France, 2012.
- [C.2012.4]K. Medini, C. da Cunha, A. Bernard, “A Sustainability and Mass Customization Assessment Framework”, in *ASME 2012 11th Biennial Conference on Engineering Systems Design and Analysis - ESDA 2012*, Nantes, France, 2012.
- [C.2012.5]I. Jomaa, E. Poirson, C. Da Cunha, J.-F. Petiot, “Design of a recommender system based on customer preferences : a comparison between two approaches”, in *ASME 2012 11th Biennial Conference on Engineering Systems Design and Analysis - ESDA 2012*, Nantes, France, 2012.
- [C.2013.1]K. Medini, C. da Cunha, A. Bernard, “Méthodologie pour l'évaluation de la performance d'entreprises dans le contexte de personnalisation de masse durable”, in *10ième Congrès international de Génie industriel - CIGI 2013*, La Rochelle, France, 2013.
- [C.2013.2]J. Daaboul, M. Bosch-Mauchand, C. da Cunha, A. Bernard, “Configuration de processus industriels dans un contexte de produits customisés et multi-variés”, in *Congrès International Pluridisciplinaire Qualité et Sécurité de Fonctionnement - QUALITA*, Compiègne, France, 2013.
- [C.2014.1]E. Poirson, C. da Cunha, J.-F. Petiot, “Can we categorize moviegoers on their emotions?”, in *Kansei Engineering and Emotion Research international conference-KEER*, Linköping, suède, 2014.

D : Conférences nationales à comité de lecture

- [D.2004.1]C. da Cunha, Y. Frein, J. Mahmoudi, “Sur la connaissance de la demande dans un contexte de forte diversité”, in *Information, connaissances et compétences dans les systèmes de production- IPI, 2004*, p. 97–108, Autrans, France, Janvier 2004.
- [D.2005.1]C. da Cunha, B. Agard, “Constitution d'un stock de produits semi-finis pour une demande de produits variés sous contrainte de temps d'assemblage final avec recuit simulé”, in *9ème congrès PRIMECA, La Plagne, France*, Avril 2005.
- [D.2008.1]Ph. Rauffet, C. da Cunha, A. Bernard, “Pilotage de la performance organisationnelle : D'un modèle intuitif à un modèle inductif des capacités organisationnelles”, in *Colloque de Recherche de l'Intergroupe des Ecoles Centrale*, Nantes France, 05 2008.

- [D.2009.1]J. Daaboul, Y. Xu, V. Vergara, J. Le Duigou, B. Chevallereau, Ph. Rauffet, F. Laroché, C. da Cunha, A. Bernard, “Amélioration de la performance industrielle par l’ingénierie numérique”, *in 11ème congrès PRIMECA*, La Plagne, France, Avril 2009.
- [D.2009.2]Ph. Rauffet, A. Bernard, C. da Cunha, “Le pilotage d’entreprise par les capacités organisationnelles : étude de l’approche roadmapping”, *in Journées Nationales - Journées Doctorales MACS*, p. 8, Angers, France, 2009.
- [D.2009.3]Ph. Rauffet, C. da Cunha, A. Bernard, “L’apprentissage organisationnel : cadre de gestion, outils d’évaluation et d’amélioration”, *in Séminaire de l’école doctorale SPIGA*, Nantes France, 05 2009.
- [D.2011.1]Ph. Rauffet, C. da Cunha, A. Bernard, “Vers un apprentissage organisationnel durable dans le contexte de groupes d’entreprises : comparaison du progrès fonctionnel et de la performance opérationnelle”, *in 12ème congrès PRIMECA*, Mont-Dore, France, Avril 2011.
- [D.2011.2]I. Jomaa, C. da Cunha, E. Poirson, J.-F. Petiot, “Preference based system : an assistance for choosing a comic”, *in 12ème congrès PRIMECA*, Mont-Dore, France, Avril 2011.

E : Thèses de doctorat

- [E.2004.1]C. da Cunha, *Définition et gestion de produits semi-finis en vue d’une production de type assemblage à la commande*, Thèse de doctorat, INP Grenoble, 4 octobre 2004.

EE : Master

- [EE.2001.1]C. da Cunha, *Gestion des modifications*, Mémoire, INP Grenoble, Septembre 2001.

JJ : Autres

- [JJ.2008.1]Ph. Rauffet, C. da Cunha, A. Bernard, “Intégration de la conduite du progrès dans le pilotage de la performance : développement des capacités organisationnelles par l’apprentissage”, Metz France, *in Journée STP du GDR MACS*, 2008.

Deuxième partie

Travaux de recherche : Gestion de la diversité et personnalisation de masse

Chapitre I

Contexte

1 Contexte économique

La gestion de la diversité des produits se trouve à l'interface de plusieurs secteurs dans une même entreprise. Le service commercial, le service achat, le service de gestion, les concepteurs, les producteurs n'ont pas les mêmes logiques d'action [Midler, 1993], [Kocher et Rolland, 1995]. De plus, le contexte de plus en plus fréquent d'entreprise réseau, d'entreprise étendue et multi-sites pose d'importants problèmes de logistique, que ce soit pour les choix de localisation, d'affectation de site ou de moyens de transport [Howard *et al.*, 2006]. Cette organisation a également des impacts très forts sur le partage des informations. Cela implique, lors de la conception de la famille de produits, de prendre en compte simultanément le processus de fabrication qui servira à la réalisation de ces produits et l'organisation qui sera mobilisée pour la réalisation et la mise à disposition [Fixson, 2003]. Il s'agit ainsi d'utiliser au mieux l'information disponible.

Une voiture est un produit représentatif de la diversité physique et fonctionnelle. Pour une voiture moyenne le nombre de paramètres pouvant être choisis par le client est très important, ceux-ci vont de la couleur de la carrosserie à la motorisation en passant par la présence ou non de diverses options (lecteur CD, toit ouvrant,...). A ces paramètres doivent être ajoutés les services tels que le prêt bancaire, l'assurance,... L'offre produits est composée des différentes combinaisons de ces paramètres. La difficulté de gestion de la diversité réside dans l'éventail des combinaisons réalisables et réellement offertes aux clients.

1.1 Diversité de l'offre

Le passage d'une économie de la demande (offre < demande) à une économie de l'offre (offre > demande) a incité les industriels à multiplier leur offre produit pour gagner ou conserver des parts de marché [Ciavaldini et Loubet, 1995]. En effet, dans un marché soluble saturé et mondialisé, produire en quantité ne suffit plus, il faut adapter les produits proposés à la demande toujours plus individualisée des clients. Les entreprises doivent alors gérer une grande diversité de produits. Outre l'existence d'une grande diversité, une

autre caractéristique des marchés actuels est le manque d'information sur la demande [Gavirneni *et al.*, 1999], [Lee et Whang, 2000]. Celui-ci peut notamment être rencontré lorsque les fabricants de produits ne sont pas les revendeurs finaux, et n'ont accès qu'à une information partielle sur la demande réelle. De plus, dans des situations de très grande diversité qui rendent possibles des millions de combinaisons (cas des cuisines ou de l'automobile), toute l'information existante et disponible ne permet pas de prévoir la demande finale.

La concurrence, la diversité des besoins des clients et la volonté des entreprises de les satisfaire au plus proche ont conduit les fabricants à proposer une quantité toujours croissante de produits différents. Pour le fabricant, cette diversité commerciale doit être maîtrisée pour ne pas mener à une augmentation des coûts de conception, production, commercialisation et logistique. Il s'agit également de rester en phase avec le client et identifier ses attentes pour ne pas produire une diversité non souhaitée et coûteuse [Child *et al.*, 1991], [Tarondeau, 1998].

Cette maîtrise ne peut être atteinte que si l'on considère la problématique soulevée par la gestion et l'utilisation des informations liées à l'activité de l'entreprise. Tandis que les décisions requièrent de l'information fiable et complète (notamment sur la demande lorsqu'il s'agit de décisions impactant la production), l'information réellement à disposition est souvent partielle et non garantie.

1.2 Personnalisation de masse

L'environnement économique du début du XXI^e siècle a favorisé l'émergence de nouveaux schémas de consommation. Désormais le client attend non seulement un bien/service qui satisfait son besoin fonctionnel, il demande également une prise en compte de ses besoins en termes d'esthétisme, de valeurs, etc. [Zhang *et al.*, 2013]. Ces attentes deviennent des exigences. La mondialisation rendue possible par le développement des transports mais aussi par celui plus récent des modes de communication (notamment internet) a accru la concurrence entre entreprises et la volatilité des clients [Crié, 2002].

Par exemple dans le secteur des chaussures, les acteurs économiques européens doivent aujourd'hui faire face sur leur marché intérieur à des produits concurrents venant notamment d'Asie et commercialisés à des prix parfois inférieurs à ceux d'une production locale [Boër et Dulio, 2007]. La survie des entreprises européennes passe donc par la captation du marché des produits personnalisés dont la production est, pour l'instant, incompatible avec les modèles d'entreprises asiatiques [Manufuture, 2006].

Il s'agit pour des entreprises ayant une structure adaptée à la production de masse de muter pour répondre aux attentes/exigences personnelles de chaque client en conservant la maîtrise des coûts associés : c'est la personnalisation de masse.

La prise en compte des attentes/exigences du client, dans un but avoué de gagner des parts de marché, a mis en lumière l'importance de considérer conjointement la diversité des clients et celles des produits.

L'artisanat est doté de processus adaptés à la production personnalisée de faible volume voire unitaire. La gestion de cette diversité des produits à une échelle autre n'a pu être

possible qu'en s'attachant à la prise en compte des processus pouvant être utilisés pour réaliser des produits diversifiés à de grands volumes.

Le paradigme industriel, déjà ancien, de personnalisation de masse, qui promeut une personnalisation au coût de la production de masse devient donc une solution attrayante, si ce n'est celle de la dernière chance, pour de nombreuses entreprises. Pourtant, c'est seulement avec le développement des technologies de l'information que des recueils efficaces des attentes clients ont pu être mis en œuvre notamment via des systèmes en ligne qui permettent de toucher un nombre de clients important [Hoque, 2000]. C'est le développement d'outils de traitement du flux d'information qui a rendu possible non seulement la communication de l'entreprise avec le marché, mais également le traitement et la diffusion de l'information au sein des différents départements impliqués dans la définition et la mise à disposition de l'offre [Cross *et al.*, 2009].

Néanmoins son application ne paraissait pas pouvoir se faire au sein d'une entreprise « isolée ». L'impasse du paradigme de la personnalisation de masse ne pouvait être surmonté qu'en intégrant une nouvelle dimension, celle de l'organisation. Ce passage permet d'intégrer les ressources nécessaires à la création et à la réalisation de l'offre, comme la prise en compte des ressources immatérielles, telles les connaissances et compétences [Da Silveira *et al.*, 2001].

2 Contexte de la recherche

2.1 Contexte global

La recherche sur la personnalisation de masse s'est structurée autour de la formalisation proposée par Joseph Pine dans son livre "Mass customization : the new frontier in business competition" [Pine, 1993]. La définition initiale met en lumière la possibilité de satisfaire des besoins uniques non plus avec un processus sur mesure mais avec un outil de production en volume. Les bénéfices sont partagés entre le client qui peut satisfaire son besoin à moindre coûts et dans des délais raccourcis et l'entreprise qui utilise au mieux ses ressources pour conquérir des marchés de niches, souvent à forte marge.

La recherche dans le domaine de la gestion de la diversité et de la personnalisation de masse est abordée selon différents points de vue :

- le point de vue des gestionnaires, qui s'attachent à la modélisation économique et à l'élaboration de politique marketing permettant de maîtriser la performance financière de l'organisation,
- le point de vue des mathématiciens/informaticiens (correspondant en France à la section CNU 27) qui abordent les problématiques de gestion de stocks, de choix logistiques associées à la personnalisation de masse comme autant de cas d'étude permettant de tester ou développer de nouvelles démarches d'optimisation,
- le point de vue des mécaniciens, qui s'attachent aux problématiques techniques liées au processus de création et de réalisation de produits répondant aux attentes des clients,
- le point de vue de l'ingénierie industrielle qui vise une intégration des points de vue précédents.

De nombreux auteurs ont proposé des définitions de la personnalisation de masse ou de la customisation de masse. Ces définitions s'appuient sur celle de Pine et rajoutent qui des informations/contraintes sur les moyens à utiliser : la flexibilité [Da Silveira *et al.*, 2001], la modularité [Duray *et al.*, 2000] ; qui des contraintes sur l'unicité des produits proposés [Tseng *et al.*, 2010]. Je pense pour ma part que les contraintes sur les moyens ou sur la satisfaction du marché ne sont que des particularités de contexte (liées au marché adressé ou au secteur concerné).

Une différenciation existe également dans la littérature sur les différences entre la personnalisation de masse et la customisation de masse. La personnalisation de masse (mass personalization) visant à satisfaire chaque client individuellement, par une offre ad-hoc, tandis que la customisation de masse (mass customisation) limite l'offre produit à un espace pré-déterminé créé pour un ensemble de clients, identifiés comme similaires, ([Tseng et Jiao, 2001] et [Tseng *et al.*, 2010]). La différence entre ces deux approches n'est pour moi qu'un déplacement du point d'interaction entre la demande du client et le processus de création/réalisation de l'offre. Il ne s'agit donc pas d'une dichotomie mais d'une contextualisation.

Dans mon travail de recherche, et donc dans ce mémoire, je préfère une définition "ouverte", qui permet de proposer des solutions génériques, et peut s'exprimer comme suit : la personnalisation de masse est une configuration de l'offre produit, du système de production et de la chaîne de valeur, qui permet la satisfaction (mesurée par la valeur perçue) des besoins individuels des clients et celle des autres parties bénéficiaires (e.g. l'entreprise, les fournisseurs, etc.).

Des sociétés savantes se sont organisées autour des problématiques liées à la personnalisation de masse. Actuellement dirigée par ses fondateurs, (Frank Piller et Mitchell Tseng) l'IIMCP (International Institute on Mass Customization & Personalization¹) vise à promouvoir et développer les technologies supportant la personnalisation de masse et assurer le transfert des connaissances via la collaboration entre le monde industriel et académique. Les domaines de recherche scientifique liés à la personnalisation de masse sont vastes, c'est pourquoi je ne donnerai pas de tour d'horizon global de la littérature et des équipes de recherche impliquées.

2.2 Historique de mes recherches

J'ai effectué mon DEA et ma thèse au laboratoire GILCO (Gestion Industrielle, logistique et Conception) dans la spécialité Génie Industriel. C'était un laboratoire de recherche de l'Institut National Polytechnique de Grenoble rattaché à l'ENSGI (École Nationale Supérieure de Génie Industriel). Lors de la réorganisation des structures de recherche et d'enseignement grenobloises, cette entité de recherche a été intégrée dans un nouveau laboratoire le G-SCOP.

J'ai effectué mon stage de DEA en 2001, en immersion chez Valeo Connective Systems. Ma recherche encadrée par Michel TOLLENAERE (Pr. à l'INP Grenoble), s'intéressait à

1. <http://www.iimcp.org/>

la gestion des modifications techniques dans un contexte de grande diversité de produits. Ma thèse de doctorat (2001-04) a été financée par une bourse ministérielle (MENRT). Mon directeur de thèse était Yannick FREIN (Pr. à l'INP Grenoble). Durant cette période, nous avons considéré la question de l'assemblage à la commande en considérant le temps d'assemblage comme indicateur de performance. Ce problème, issu de la collaboration avec Valéo, a été formalisé et des méthodes de recherche/création d'information et de définition adaptée des modules ont été développées.

Pendant mon post-doctorat à l'Ecole Polytechnique de Montréal, j'ai pu travailler avec Bruno AGARD et approfondir mes recherches sur l'extraction de l'information partielle notamment en travaillant sur l'utilisation du data-mining pour les problématiques liées à la gestion de la diversité sur l'aspect de maîtrise (temps, qualité, etc.) des processus nécessaires à la réalisation de cette diversité.

J'ai intégré l'IRCCyn dans l'équipe IVGI (dirigée par Alain BERNARD) en septembre 2006. J'ai pu alors m'investir dans le co-encadrement de Victor VERGARA qui entamait sa deuxième année de thèse de doctorat (sous la direction d'A. BERNARD). Le sujet déjà défini m'a conduit à élargir le périmètre de ma recherche pour intégrer les aspects organisationnels que j'avais jusqu'alors occultés. Ainsi, la question de la structure organisationnelle de l'entreprise et de son impact sur les performances a été l'opportunité de définir un nouvel axe de recherche intégrant les impacts de la diversité sur l'organisation. C'est dans cet axe que s'inscrit la thèse de Philippe RAUFFET.

En septembre 2009, grâce à une allocation du ministère Inès JOMAA a pu commencer sa thèse qui a pour but d'intégrer les aspects perceptifs de l'évaluation des produits par le client, notamment lors de l'étape de recommandation. Cette étape est décisive lorsque la diversité produit est telle que l'offre est pléthorique.

Dans le cadre du projet européen DOROTHY (Cf. page 108), j'ai pu collaborer avec des collègues européens sur la thématique de la personnalisation de masse dans le domaine de la chaussure. Ma collaboration locale avec Joanna DAABOUL, doctorante puis post-doctorante de l'équipe, a également été très riche. La thèse de Khaled MEDINI a pour cadre un projet européen du 7e PCRD : S-MC-S (Cf. page 109). Celle-ci vise à considérer globalement les aspects produits, processus de production et organisation pour mettre à disposition des clients une offre personnalisée en intégrant les aspects durables.

Hesam SHIDPOUR a commencé récemment sa thèse sur la prise en compte des spécificités de la personnalisation de masse (variabilité des produits et contraintes temporelles) lors de l'ingénierie concurrente (3D concurrent engineering). Il s'agit notamment de choisir les sous-traitants et de traiter le problème d'allocation des commandes entre les sous-traitants en portefeuille. Yacine BOUALLOUCHE a débuté sa thèse CIFRE en octobre 2012. Il est en poste chez CGI Business consulting et travaille sur la problématique de l'administration étendue. Il s'agit de déterminer les indicateurs de valeur des services/missions rendues par les administrations et d'évaluer les opportunités d'externalisation. Cette thématique peut sembler éloignée de la personnalisation de masse mais il s'agit bien de fournir une prestation de qualité à une population très diverse (de par sa localisation géographique, sa définition du service publique,...) à un coût réduit et dans des délais maîtrisés. Ces

deux thèses n'en sont encore qu'au travail de définition et positionnement, elles ne seront que très peu abordées dans ce mémoire.

2.3 Définition de mes axes de recherche

Les projets présentés ici sont issus d'une double approche :

- des projets en collaboration avec des entreprises, portant sur un point d'achoppement opérationnel nécessitant des outils implémentables,
- des projets de recherche fondamentale issus d'une formulation et d'une curiosité académique.

Dans le cadre du projet européen Dorothy (cf. Annexe 3), j'ai pu travailler de manière étroite avec Joanna DAABOUL. Les recherches que nous avons menées ensemble ont notamment permis d'obtenir une identification des différentes étapes de la mise en place de la personnalisation. Pour la mise en œuvre d'une production de produits personnalisés (réalisés unitairement ou en masse), une organisation adaptée doit être choisie et implémentée. Cette démarche n'est possible qu'après une analyse préliminaire des types de personnalisation de masse et de leurs spécificités, ainsi qu'une identification des leviers correspondants. Un plan d'action doit alors être défini puis piloté.

A chacune des étapes spécifiques à la personnalisation de masse correspond bien entendu un champ de recherche générique. C'est cette démarche qui m'a permis de structurer ma recherche autour des champs que sont :

- le recueil des données caractérisant la personnalisation de masse et le contexte,
- la conception et la reconception de la configuration sur les trois niveaux : produit, process, organisation,
- la mise en œuvre puis le pilotage de la chaîne de valeur permettant la personnalisation de masse.

Les liens entre les différentes étapes sont représentés dans la figure I.1.

La structure de ce mémoire s'appuie sur ces étapes, ainsi :

le chapitre II décrit les travaux menés sur la récolte des données (sur la personnalisation de masse, sur les clients),

le chapitre III décrit les travaux menés sur les étapes de conception (ou reconception) de la chaîne de valeur adaptée à la personnalisation de masse (avec ses dimensions produits, process, organisation),

le chapitre IV décrit les travaux menés sur la mise en œuvre et le pilotage.

Ces chapitres partagent une même structure : une introduction présente le contexte de recherche, les approches utilisées puis notre recherche est ensuite synthétisée.

Les perspectives à court terme sont présentées thème par thème, les perspectives à long terme ainsi que le programme de recherche que je souhaite développer sont présentés dans une partie dédiée.

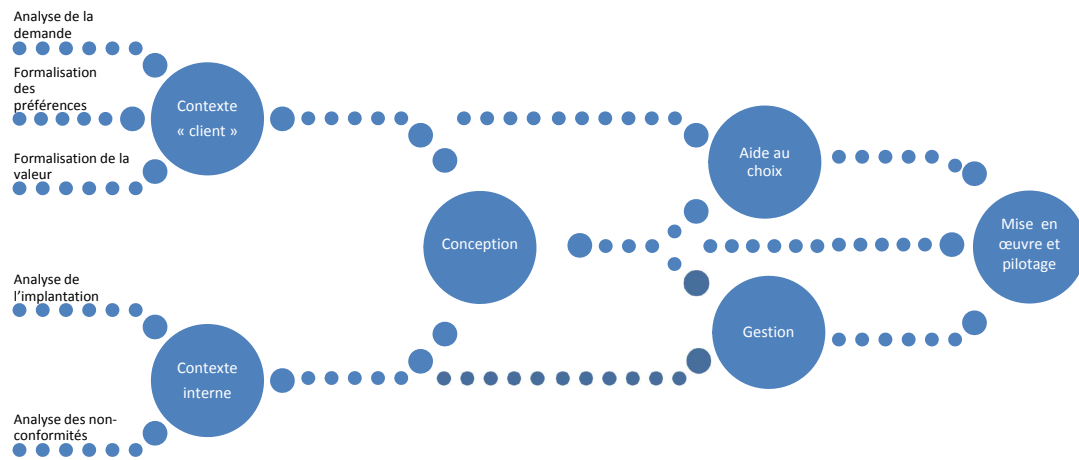


FIGURE I.1 – Liens entre les différents champs.

Chapitre II

Recueil des données

Ce contexte de grande diversité a un impact direct sur la nature des données à disposition. Ainsi il faut piloter la performance à partir de données partielles, incertaines, et parfois exprimées en termes non objectifs car provenant directement du client. Dans le cadre de l'amélioration des performances industrielles, ma recherche s'attache à la prise de décision à l'aide de ces informations. Mon objectif est de proposer des outils et des méthodes permettant de mieux maîtriser les inducteurs de performance dans un contexte de grande diversité en palliant le manque d'information.

Dans ce chapitre je décrirai mes travaux menés sur la récolte des informations décrivant le client et sa demande (figure II.1) ainsi que celle du contexte interne (figure II.2). Les informations ainsi récoltées permettront la conception (ou la re-conception) d'une configuration de personnalisation de masse, c'est-à-dire le choix d'un type de personnalisation de masse adapté à la situation et à la stratégie de l'entreprise, une offre produit, une sélection des processus nécessaires et une organisation permettant la réalisation. Ces décisions seront décrites dans les chapitres suivants.

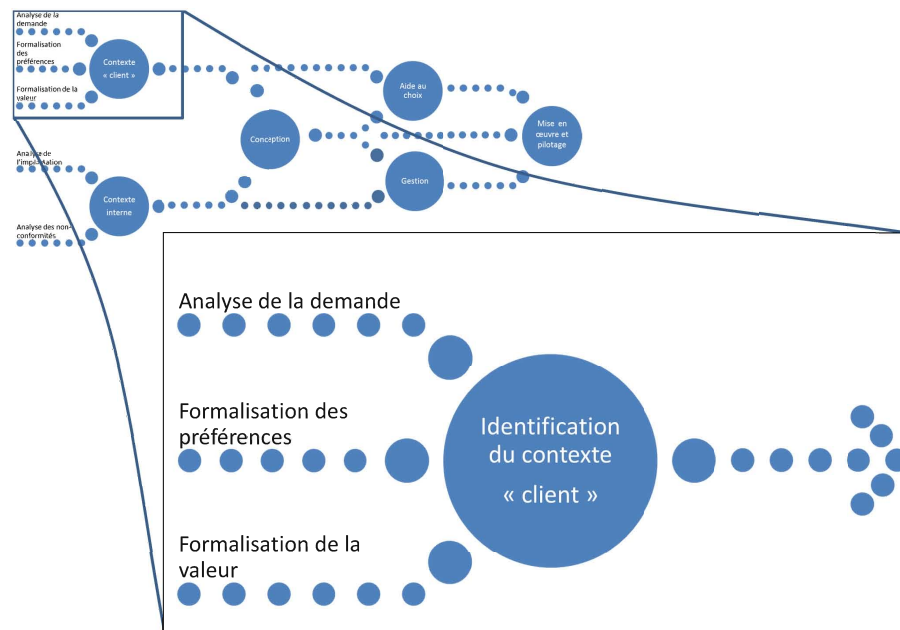


FIGURE II.1 – Analyse du contexte externe.

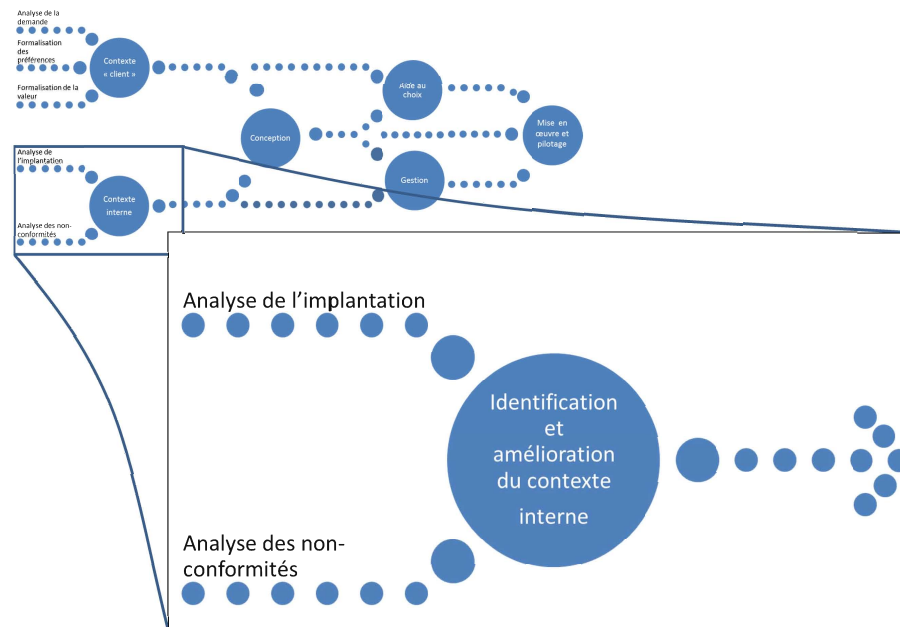


FIGURE II.2 – Analyse du contexte interne.

1 Récolte et formalisation des préférences des clients

1.1 Contexte

La récolte et la formalisation des préférences des clients est étudiée dans plusieurs champs scientifiques que ce soit en marketing, en micro économie ou même en psychologie. Nous abordons ce problème avec le prisme de l'usage pour la personnalisation de masse des données décrivant les clients. Dans ce cadre, Mitchell M. Tseng (directeur du département de génie industriel et de gestion logistique de l'Université de Science et technologie de Hong-Kong - HKUST) a choisi d'aborder les problématiques de mise en œuvre de la personnalisation de masse dans les étapes de design du produit (Design for Mass Customization DFMC [Tseng *et al.*, 1996] et Design for Mass Personalization DFMP [Tseng *et al.*, 2010]) et notamment la prise en compte du client. La problématique de la compréhension des attentes du client est au cœur de la recherche menée dans cette équipe [Wang et Tseng, 2008], [Wang et Tseng, 2011]. D'autres chercheurs s'attachent à définir des méthodes de recueil et de formalisation des exigences des clients afin d'optimiser la valeur des produits conçus, par le choix des caractéristiques techniques judicieuses, comme Ronald Askin [Askin et Dawson, 2000]. Des équipes de gestionnaires s'attachent à l'étude des impacts de la personnalisation, notamment celle des temps et modes de livraison sur le comportement de clients [Allon et Federgruen, 2009], [Allon *et al.*, 2012]. Des recherches sont également menées sur l'importance et l'impact de la personnalisation du processus même de définition du produit personnalisé [Thirumalai et Sinha, 2011]. Dans ce contexte nous avons traité deux questions :

1. Quels éléments suscitent l'appréciation d'un client ?
2. Est-ce que la personnalisation peut induire cette préférence ?

Nous nous intéressons à la première question à travers l'analyse des préférences, section 1.2. Nous nous intéressons à la deuxième question à travers l'analyse de la valeur d'un produit pour un client. Ces travaux sont résumés dans la section 1.3.

1.2 Proposition pour la formalisation des préférences

Cette première question a été abordée dans la thèse d'Inès Jomaa [e.2013.2]. Elle se rapproche de celle traitée par l'analyse conjointe [Johnson, 1974], [Green et Srinivasan, 1978]. Il s'agit en effet de décrire voire quantifier la valeur perçue d'un produit à partir de nombreux critères. On peut ainsi identifier et prévoir les arbitrages que les clients feront entre des produits. D'autres techniques se proposent d'identifier directement le taux d'échange entre attributs [Anderson *et al.*, 1993].

L'information ainsi récoltée peut être utilisée pour de nombreuses applications : pour des décisions marketing (comme les stratégies publicitaires), pour des décisions de conception (conception d'une famille de produits "complémentaires"), pour des décisions de politiques (notamment protection de l'environnement [Berger et Kanetkar, 1995]). Dans notre cas nous utiliserons l'information pour améliorer la proposition de produit faite au client.

Nous émettons l'hypothèse que les préférences des clients sont en partie dépendantes des émotions suscitées par l'usage. Pour chaque couple utilisateur/type de produit, il existerait donc une fonction f liant émotions et préférence. Pour valider cette hypothèse une étude grandeur réelle a été menée. Celle-ci suit plusieurs étapes :

1. détermination d'une liste d'émotions (§ 1.2.1),
2. récolte de données d'usage d'un produit : pour chaque couple client-produit, récolte des évaluations perceptives et de l'appréciation globale (§ 1.2.2),
3. identification pour chaque client des relations existant entre perceptions et appréciation (§ 1.2.3).

1.2.1 Détermination d'une liste d'émotions

Les émotions sont sélectionnées sur leur capacité à décrire l'usage (interaction client-produit) et à être segmentante (ie. la cotation varie d'une personne à une autre). Nous avons choisi de nous référer à Izard qui propose une liste générique [Izard, 1972] et [Gross et Levenson, 1995] qui la spécifient pour les films. Nous avons retenu 8 émotions (amusé, triste, en colère, apeuré, attentif, anxieux, surpris, heureux).

1.2.2 Récolte de données d'usage d'un produit

A travers un questionnaire en ligne, nous avons récolté les données sur l'appréciation et la perception de film. Cent films récents ont été choisis pour être soumis à l'évaluation. Pour un film vu donné, chaque sujet renseigne son appréciation globale (note sur une échelle de Likert à 10 niveaux) et ses évaluations pour les 8 émotions (note sur une échelle de Likert à 7 niveaux). Nous avons recueilli les évaluations de 644 clients : 483 ont évalué plus de quatre films, 161 moins de quatre films (figure II.3). 88 films ont été vus et évalués par plus de 10 clients (figure II.4).

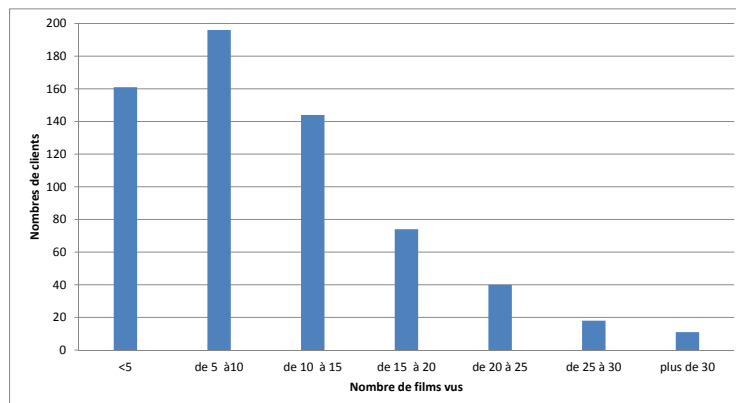


FIGURE II.3 – Répartition des clients en fonction du nombre de films évalués

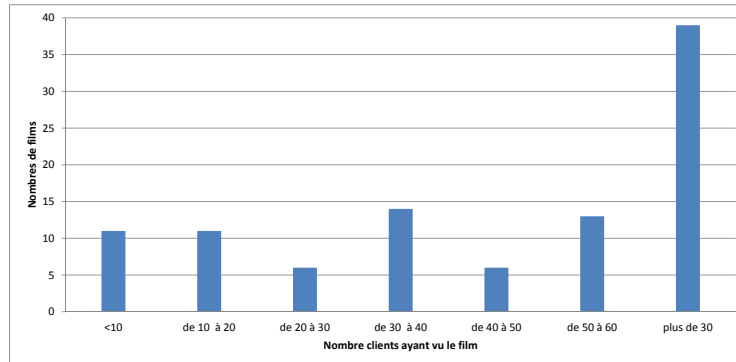


FIGURE II.4 – Répartition des films en fonction du nombre d'évaluations

1.2.3 Identification des relations entre perceptions et appréciation

Dans un premier temps nous avons fait l'hypothèse que le lien entre évaluations perceptives et appréciation globale était linéaire. Dans ce cas pour chaque client i il existerait donc une fonction f_i telle que :

$$\begin{aligned} f_i : [[1, 7]]^8 &\rightarrow [[1, 10]] \\ \text{perceptions} &\mapsto \text{appreciation} \end{aligned}$$

avec $\text{appreciation} = a_i + [b_{1i}, b_{2i}, b_{3i}, b_{4i}, b_{5i}, b_{6i}, b_{7i}, b_{8i}] \times \text{perceptions}$

Pour déterminer les coefficients de cette régression linéaire avec assez de confiance, nous nous sommes limités aux 483 clients ayant évalué plus de quatre films. Pour chaque client nous avons donc étudié les évaluations réalisées et cherché un lien entre les évaluations émotionnelles et l'appréciation. Les résultats obtenus pour un client donné : le numéro 145 sont présentés dans les tableaux II.1 et II.2. Pour ce client ce sont l'amusement et la tristesse qui conditionnent principalement l'appréciation d'un film.

Attribut	valeur
Taille de l'échantillon	46
R^2	0,78
R^2 -ajusté	0,74
Sigma error	0,66
F-Test	16,94

TABLE II.1 – Résultats globaux.

Attribute	Coef.	std	t(37)	p-value
Intercept	2,11	0,51	4,16	0,00
Amusé	0,51	0,11	4,58	0,00
Triste	0,53	0,15	3,48	0,00
En colère	-0,18	0,17	-1,08	0,28
Apeuré	0,08	0,19	0,41	0,68
Attentif	0,31	0,11	2,78	0,01
Anxieux	0,06	0,11	0,54	0,59
Surpris	0,14	0,09	1,46	0,15
Heureux	-0,08	0,12	-0,23	0,82

TABLE II.2 – Coefficients de la régression.

L'étude des résidus montre que la fonction f ainsi calculée est une très bonne représentation du lien entre émotions et appréciation.

Valeur	Nombres	Pourcentage
$x < -1,2348$	1	2,17%
$-1,2348 \leq x < -0,9055$	2	4,35%
$-0,9055 \leq x < -0,5761$	5	10,87%
$-0,5761 \leq x < -0,2467$	7	15,22%
$-0,2467 \leq x < 0,0826$	11	23,91%
$0,0826 \leq x < 0,4120$	10	21,74%
$0,4120 \leq x < 0,7414$	8	17,39%
$0,7414 \leq x < 1,0707$	1	2,17%
$1,0707 \leq x < 1,4001$	0	0,00%
$x \geq 1,4001$	1	2,17%

TABLE II.3 – Etude des résidus.

Les résultats obtenus, s'ils sont encore partiels, sont très encourageants. En effet un tel modèle linéaire a été trouvé pour 63% des clients.

Pour les autres, il n'existe pas de fonction f linéaire, mais les prochaines étapes visent à la recherche de liens non-linéaires.

Cette meilleure compréhension du client est utile lors de la conception (chap. III) et lors de l'aide au choix (section 1).

1.3 Proposition pour la formalisation de la valeur

Le passage d'une stratégie de production de masse à une personnalisation de masse doit pouvoir être évaluée (*ex-ante* et *ex-post*). L'indicateur de performance choisi doit notamment :

- permettre de prendre en compte toutes les parties prenantes,
- permettre l'agrégation,
- être mesurable à partir de données prédictives.

La valeur répond à ces quelques spécifications. Par ailleurs, cette notion a déjà fait l'objet de nombreuses études dans de nombreux domaines. Au sein de l'équipe IVGI, des travaux avaient déjà été menés pour intégrer cette notion dans le pilotage de production [Mauchand, 2007]. Nous nous sommes appuyés sur ces travaux pour les enrichir.

1.3.1 Modèle de valeur

La littérature regorge de définitions pour la notion de valeur, en particulier lorsqu'il s'agit de la valeur pour le client. La plupart des définitions s'accordent sur le fait qu'il s'agit d'un équilibre entre ce qui est donné et ce qui est récolté. Elles concordent aussi sur l'aspect subjectif de la valeur. Le tableau suivant compare des définitions classiques.

Référence	Multi-critère	Défini pour	Facteurs influençant
[Zeithaml, 1988]	☒	Client	Utilité du produit, perceptions
[Monroe, 1990]	☒	Client	Qualité et prix
[Anderson <i>et al.</i> , 1993]	☒	Entreprise	Echanges techniques, économiques, sociétaux et prix
[Gale, 1994]	☒	Client	Qualité et prix
[Butz et Goodstein, 1996]		Client	Lien émotionnel
[Woodruff, 1997]		Client	Performances perçues
[Hinterhuber, 2004]		Client	Prix
[Nagle et Holden, 1999]		Client	Prix et comparaison à la concurrence
[AFNOR, 1991]	☒	Utilisateur	Attentes, satisfaction, prix
[Elhamdi, 2005]	☒	Toutes les parties bénéficiaires	Performances et ressources utilisées

TABLE II.4 – Quelques définitions de la valeur.

A l'aide de cette bibliographie, nous construisons un réseau d'influence (figure II.5). Celui-ci permet de présenter les différents facteurs de la création de la valeur pour une partie bénéficiaire donnée. La valeur pour le client est influencée par les mêmes facteurs quel que soit le type de production (production ou personnalisation de masse), mais ce contexte aura un impact sur leur poids relatif.

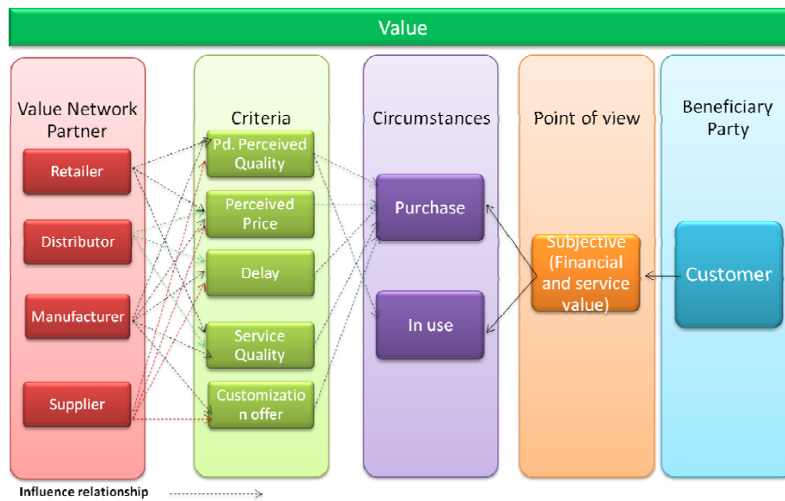


FIGURE II.5 – Réseau de valeur [C.2011.1].

1.3.2 Validation expérimentale

La validation expérimentale a eu lieu à travers un questionnaire. L'objectif était de valider la modélisation. Le protocole ainsi que les résultats ont fait l'objet d'une communication [C.2011.1]. Nous avons demandé aux questionnés de se décrire via des profils d'achat, nous avons utilisé un ensemble de huit profils proposés par le projet européen « CEC made shoe ». Par exemple le profil 7 « fashion addicted », inclut des personnes recherchant les produits à la dernière mode (et qui pour ce faire sont très impliqués dans les réseaux sociaux). Les interviewés choisissaient eux-mêmes le profil qui leur semblait le plus proche de leur comportement.

L'analyse des résultats nous a permis de faire évoluer notre modèle.

Nous n'avions pas considéré la marque comme un facteur influençant la valeur. Le questionnaire a bousculé cette hypothèse, en effet pour trois types de produits : alimentaires, produits high-tech et voitures, ce facteur a un impact de 10%. En ce qui concerne les vêtements et accessoires, ce critère devient prévalent (plus de 30%). La qualité de service est importante pour tous les types de produits. Elle est le facteur le plus important pour les produits alimentaires, tandis que pour les produits high-tech et les voitures c'est le service après-vente.

Les résultats obtenus par le questionnaire en ligne montrent que les clients ne sont, en grande majorité, pas intéressés par des produits vestimentaires personnalisés. Pour mieux en comprendre les raisons, des interviews avec vingt personnes ont été réalisées. Celles-ci ont mis en évidence un aspect important de la valeur perçue que nous n'avions pas pris en compte : l'acte d'achat lui-même. Ainsi 91% des interviewés disent toucher le matériau pour évaluer la qualité d'un vêtement. Par ailleurs, l'essayage apparaît comme incontournable dans le choix d'un vêtement. Les difficultés identifiées par la bibliographie sur la personnalisation de masse (le surcoût et les délais de livraison augmentés) ne sont

pas perçues comme telles par les clients potentiels. 54% attendraient une semaine un vêtement personnalisé (ce taux passe à 7% pour deux semaines).

1.4 Synthèse des résultats et perspectives

Quel que soit le domaine d'application, une bonne description des spécificités des clients permet de mieux aborder le processus de création de l'offre. Les résultats que nous avons obtenus nous ont permis de valider notre modèle d'évaluation des clients (la préférence est bien une fonction des perceptions) ainsi que notre modèle de valeur. Ces deux modèles nous ont été utiles pour l'élaboration et la validation de nos propositions sur la conception (notamment sur l'élaboration de la diversité section III.2) et le pilotage (notamment sur l'aide au choix du client IV.1).

2 Prise en compte d'information partielle sur la demande

2.1 Contexte et enjeux

Dans le milieu industriel actuel, l'information est essentielle, qu'elle concerne les commandes à venir, les évolutions du marché ou les stratégies des concurrents. L'information concernant la demande a fait l'objet de nombreuses études. Son utilisation pour la réalisation d'économies par une meilleure adaptation de la firme à son milieu est indéniable. Mon travail de thèse [E.2004.1] a proposé des approches analytiques et heuristiques, pour aborder le problème de l'utilisation d'une information partielle décrivant la demande lors de la définition/conception et de la gestion de stock de produits semi-finis. Les nouveaux systèmes informatiques mis en place dans les entreprises rendent accessibles des informations sur les stocks, les processus, les demandes... Il devient alors nécessaire de se doter de méthodes visant à traiter les données (pour identifier leur fiabilité et extraire les informations pertinentes) puis à utiliser l'information ainsi structurée. Il s'agit d'identifier, de valoriser et d'utiliser l'information dans les processus de conception (de produit ou de services) mais également dans les processus d'industrialisation et de réalisation de l'offre. Cette préoccupation est particulièrement forte dans un contexte de grande diversité, caractérisé par une offre potentielle fortement supérieure au volume réellement vendu.

2.2 Formalisation et notation

Le client a la possibilité de choisir parmi n options réalisées par n composants. Soit $S = \{a_1, a_2, \dots, a_n\}$ l'ensemble des composants, on notera un produit fini comme un vecteur de dimension n , chaque dimension vaudra 0 ou 1 et représentera l'absence ou la présence du composant correspondant. On notera $A_1 A_3$ le produit final composé des composants a_1 et a_3 . L'ensemble des produits finis sera noté $E = \{0, 1\}^S$. On appellera nR l'ensemble

des produits non réalisables et $\mathfrak{P}$ celui des produits réalisables. On a alors $\mathfrak{P} = E \setminus nR\{\mathbb{P}_i\}_{i \in \{1, \dots, 2^n - 1\}}$.

Dans ce travail nous avons considéré, sauf mention contraire, que tous les produits sont proposés à la vente. Ainsi on suppose par défaut qu'il n'y a pas de relations exclusives ou inclusives entre fonctions. Le nombre de produits finis potentiels est donc de $2^n - 1$ dans le cas général (pour lequel seul le produit sans option n'est pas considéré).

Nous avons proposé une modélisation de l'information disponible concernant la demande, nous la présenterons dans les paragraphes suivants. Elle introduit une notion de hiérarchisation de l'information.

Pour chaque demande on définit la fonction P qui représente la probabilité de présence du composant a_i dans un produit.

$$\begin{aligned} P : S &\rightarrow [0, 1] \\ a_i &\mapsto P(a_i) \end{aligned}$$

A chaque produit η , on associe la fonction f_η définie comme suit.

$$\begin{aligned} f_\eta : S &\rightarrow \{0, 1\} \\ a_i &\mapsto f_\eta(a_i) = \begin{cases} 1 & \text{si le composant } a_i \text{ est dans le produit } \eta \\ 0 & \text{sinon} \end{cases} \end{aligned}$$

Nous nous sommes intéressés à ces niveaux de connaissance de la demande finale. En effet, dans des situations de très grande diversité, qui rendent possibles des millions de combinaisons, on ne peut pas prévoir de manière fiable la demande en produits finis. Seules des indications partielles sur la demande sont disponibles, par exemple la demande de différentes options.

Le niveau le plus bas que nous avons considéré est atteint lorsque l'information se réduit à la demande en composants, cette information est notée N_1 . Nous avons cherché à mettre une loi de probabilité μ sur E (c'est-à-dire déterminer les probabilités de demande de tous les éléments de E) respectant les contraintes suivantes (qui correspondent aux informations disponibles au niveau 1) :

1- ses marginales sont connues : ce sont les demandes en composants (équation II.1)

$$\forall a_i \in S, \quad \sum_{\eta \text{ tq } f_\eta(a_i)=1} \mu(\eta) = P(a_i) \quad (\text{II.1})$$

2- elle s'annule sur un certain ensemble nR de configurations (équation II.2). L'ensemble nR est non vide, il contient au moins la configuration nulle, il représente les produits non réalisables (pour des raisons physiques ou de marketing).

$$\forall \eta \in nR, \quad \mu(\eta) = 0 \quad (\text{II.2})$$

Rappelons que souvent et par défaut seul le produit final sans option est non réalisable, on a dans ce cas $nR = (00 \dots 0)$.

La modélisation de la connaissance partielle peut être réalisée de différentes manières. Nous avons choisi ici une hiérarchisation des niveaux permettant de rendre compte des

relations de corrélations entre demandes de composants. Les différents niveaux définis sont les suivants :

- association de deux composants, N_2

En plus des données connues au niveau inférieur, nous avons les C_n^2 proportions de demande conjointe de deux composants, cette information est notée N_2

$$\left\{ \begin{array}{l} P(a_1), \dots, P(a_n) \\ P(a_1 \text{ et } a_2), \dots, P(a_{n-1} \text{ et } a_n) \end{array} \right.$$

- association de trois composants, N_3

En plus des données connues au niveau inférieur, nous avons les proportions de demande conjointe de trois composants.

$$\left\{ \begin{array}{l} P(a_1), \dots, P(a_n) \\ P(a_1 \text{ et } a_2), \dots, P(a_{n-1} \text{ et } a_n) \\ P(a_1 \text{ et } a_2 \text{ et } a_3), \dots, P(a_{n-2} \text{ et } a_{n-1} \text{ et } a_n) \end{array} \right.$$

$$\vdots$$

- $n - 1^{\text{ème}}$ niveau : association de $n-1$ composants, N_{n-1}

$$\left\{ \begin{array}{l} P(a_1), \dots, P(a_n) \\ P(a_1 \text{ et } a_2), \dots, P(a_{n-1} \text{ et } a_n) \\ \vdots \\ P(a_1 \text{ et } \dots \text{ et } a_{n-1}), \dots, P(a_2 \text{ et } \dots \text{ et } a_n) \end{array} \right.$$

On remarque que le niveau $n-1$ est toujours équivalent à la connaissance totale. A ce niveau, on a en effet assez d'information pour déduire de manière unique et exacte l'information totale ($\sum_{i=0}^{n-1} C_n^i = 2^n - 1$ équations indépendantes pour $2^n - 1$ inconnues).

- connaissance totale ou $n^{\text{ème}}$ niveau.

Nous dirons que l'information (ou la connaissance) est totale lorsque les demandes de tous les produits sont connues.

Dans le cas d'une connaissance totale le producteur a accès à une information cohérente sur la demande en produits finis. Cela signifie que l'information est disponible mais surtout qu'elle est fiable.

En formalisant l'information réellement disponible, nous avons établi une échelle de niveaux d'information sur la demande finale [D.2004.1].

2.3 Proposition de gestion de l'incertain

Nous avons présenté précédemment des modélisations de l'information partielle sur la demande finale. Néanmoins, les heuristiques que nous avons élaborées pour la conception

(qui seront présentées dans les sections suivantes) requièrent une évaluation de la demande en produits finis.

Pour établir une projection de la demande en produits finis à partir de l'information disponible nous avons utilisé la notion d'indépendance (§ 2.3.1) et la notion d'entropie (§ 2.3.2).

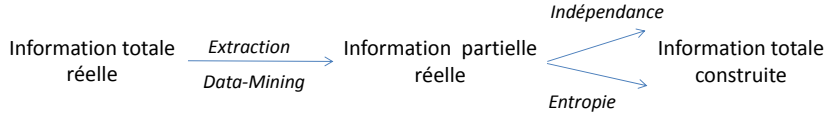


FIGURE II.6 – Méthodes d'obtention de l'information.

2.3.1 Notion d'indépendance

Une manière d'obtenir une unique répartition des demandes en produits finis à partir d'une information partielle, est de supposer l'indépendance entre composants. Ainsi on aura pour un cas à trois composants a , b , c :

$$P(AB) = P(a) \times P(b) \times (1 - P(c)) \quad (\text{II.3})$$

L'hypothèse d'indépendance implique notamment d'attribuer une probabilité de demande non nulle au produit ne comportant aucun composant. Pour l'exemple précédant, on aura $P(\text{produit sans composant}) = (1 - P(a)) \times (1 - P(b)) \times (1 - P(c))$.

Si cette hypothèse forte nous permet de déterminer très rapidement une information exploitable à partir de l'information de niveau N_1 , l'intégration des informations supplémentaires présentes dans des niveaux supérieurs n'est pas possible. Nous n'avons utilisé cette méthode que pour l'information de niveau 1.

2.3.2 Notion d'entropie

L'entropie désigne le degré de désordre des systèmes, son évolution est notamment décrite par le Second Principe de la Thermodynamique. Shannon [Shannon, 1948] a montré que ce concept peut également s'appliquer à l'information, il caractérise alors sa « valeur ». On définit l'entropie H d'une variable aléatoire discrète à valeurs dans $\{x_i\}_{i \in I}$ par

$$H(X) = \sum_i -p_i \log p_i \quad \text{où } p_i = \Pr[X = x_i] \quad (\text{II.4})$$

Jaynes [Jaynes, 1957b], [Jaynes, 1957a], utilise les notions d'entropie et de valeur de l'information définies par Shannon [Shannon, 1948] et montre que celles-ci peuvent être de bonnes alternatives au principe de « raison insuffisante » ou principe d'indifférence Laplacien.

Utiliser le Principe de Maximisation de l'Entropie nous permet donc, pour un niveau d'information partielle donné, de déterminer, sans poser d'hypothèses sur les éventuelles relations entre composants, une unique demande en produits finis. Cette technique de génération via l'entropie peut être appliquée aux différents niveaux de connaissances que nous utilisons. Nous pouvons alors formaliser le problème pour un niveau d'information i (N_i).

L'utilisation du principe de maximisation de l'entropie n'est pas restreinte à une information équivalente à un niveau i , la méthode d'obtention de la demande en produits finis est applicable quelle que soit l'information disponible.

2.3.3 Résolution

Les questions auxquelles nous nous sommes attachés à répondre sont les suivantes :
Connaissant nR (l'ensemble des configurations non réalisables) et un vecteur de marginale $P(a_i)$ (probabilité de présence d'un composant a_i , équivalent au niveau 1) :

1. Existe-t-il un vecteur $\pi = (\pi_{a_i})_{a_i \in S}$ tel que la loi PBC (Produit de Bernoulli Conditionné) de paramètre π satisfasse les contraintes ?
2. Le vecteur π s'il existe, est-il numériquement calculable ?

Le caractère réel des informations garantit l'existence d'une solution du système. Lorsque n est très grand, on ne peut espérer résoudre ce système si ce n'est pour des cas particuliers :
– $nR = \emptyset \Rightarrow \pi = P$ (où P est la fonction *probabilité de présence d'un composant* définie page 44)

lorsque tous les produits sont réalisables, la solution maximisant l'entropie est celle consistant à supposer l'indépendance entre composants. On a alors,

$$\forall \eta \in E, \quad \mu(\eta) = \prod_{1 \leq i \leq n} P(a_i)^{f_\eta(a_i)} (1 - P(a_i))^{(1 - f_\eta(a_i))}$$

– $nR = \{(00 \dots 0)\} \Rightarrow \pi = \alpha p$ avec α solution de $\alpha^n (\prod_{a_i \in S} P(a_i)) = 1 - \alpha$

Cette modélisation nous a permis d'envisager une génération de l'information manquante. Cette génération d'une unique demande en produits finis à partir des informations disponibles (informations limitées sur les caractéristiques des demandes des clients) a été effectuée en utilisant le principe de maximisation de l'entropie. L'application a été faite via l'utilisation d'un algorithme d'Uzawa [Arrow *et al.*, 1958].

[Mavridou *et al.*, 2011] utilisent et enrichissent notre proposition pour développer un système de recommandation qui révèle les associations entre les besoins affectifs des utilisateurs et les paramètres de conception (dans le domaine de l'automobile).

2.4 Synthèse des résultats

Nous avons proposé une modélisation de l'information. Celle-ci permet de rendre compte de l'existence de « niveaux » selon la précision des informations concernant la demande en produits finis. Finalement nous avons proposé une démarche permettant, quel que soit le niveau d'information initial, d'obtenir une évaluation de la demande finale. C'est cette évaluation que nous utiliserons par la suite pour traiter un problème de la conception de

la personnalisation de masse : la définition des modules à stocker ainsi que celui de la gestion des stocks.

3 Fouille de données

Cet axe de recherche fait l'objet d'une collaboration avec Bruno Agard et Andrew Kusiak. Les résultats présentés ici ont fait l'objet de communications en commun, [BB.2007.1].

3.1 Contexte et enjeux

Anand et Büchner [Anand et Büchner, 1998] définissent la fouille de données comme la découverte de modèles non triviaux, implicites, non connus, potentiellement utiles et compréhensibles, à partir d'une grande masse de données. Les algorithmes de fouille de données ont été utilisés dans différents domaines tels que le marketing [Berry et Linoff, 1997], la médecine [Lavrac et Zupan, 2005], et la conception industrielle [Agard et Kusiak, 2004]. Pour une vision sur les techniques de fouilles de données on pourra se référer à [Fayyad et al., 1996]. Pour des applications au marketing [Berry et Linoff, 1997] ; pour des applications à la production de biens [Buechner *et al.*, 1997], [Agard et Kusiak, 2005].

Mon travail s'est attaché à utiliser les développements des méthodes et outils du data-mining pour obtenir de l'information enrichissant les prises de décisions. Les verrous étaient liés à la transformation des données brutes (pour qu'elles soient compatibles avec les outils existants) et la transformation des résultats obtenus (pour qu'ils soient compréhensibles par les décideurs).

Le but de l'étude est d'utiliser les informations issues du data-mining dans un environnement de grande diversité. Deux axes ont été choisis pour améliorer la performance d'un atelier gérant la diversité : l'amélioration de la conformité via le re-séquencement et la ré-implantation.

3.2 Conformité et re-séquencement

Il s'agit ici d'extraire les liens entre non-conformité et séquences d'assemblage en présence de bruit. En effet, de nombreuses autres sources de non-conformité existent, par exemple des défauts dans les composants assemblés. Un produit est considéré comme défectueux lorsqu'il ne correspond pas à ses spécifications. Lorsque les défauts sont identifiés à la fin du processus de réalisation, les reprises sont onéreuses. L'inspection au cours de la réalisation permet de détecter les défauts lors de leur apparition et de diminuer ainsi les coûts de reprises ou de rebut. Cette inspection peut néanmoins être onéreuse et il peut être impossible de tester le produit après chaque opération d'assemblage. Il est alors essentiel de déterminer de manière précise les emplacements adaptés aux tests.

Lorsque des comportements défaillants sont identifiés, il devient possible de re-séquencer les opérations d'assemblage et/ou repenser les opérations de test [Kusiak et Huang, 1997] pour réduire le nombre d'opérations nécessitant une reprise. La démarche suit donc les étapes suivantes :

1. identification des séquences d'assemblage ayant un impact sur la conformité,
2. génération de nouvelles séquences,
3. génération d'une nouvelle politique de test.

La difficulté ici était de trouver une technique permettant d'identifier les séquences sources de non-conformité. La structure des données d'entrée, issues du système de gestion de l'entreprise doit être modifiée. Ainsi nous avons proposé une transformation permettant l'usage du logiciel TANAGRA (développé par Ricco Rakotomalala, membre de l'équipe de recherche en ingénierie des connaissances à l'université Lyon 2). Les données d'entrée sont présentées sous la forme suivante, pour chaque produit sont indiqués :

- la gamme de production (numéro de phase et opération),
- la conformité en fin de gamme (ok /non ok),
- les éventuelles opérations de retouche.

Par exemple, le produit n° 1 est associé aux informations suivantes : 5-4-2-1-6-Tf-4-Tok. Ce qui signifie qu'à la suite des cinq opérations nominales le produit n'était pas conforme, il a donc été retouché (opération 4) puis re-testé comme conforme.

La transformation proposée identifie pour chaque produit les couples d'opérations impliquées, qu'elles soient immédiatement successives ou non. Ainsi le produit n° 1 est décrit comme suit : B5 ; 5_4;5_2;5_1;5_6;4_2;4_1;4_6;2_1;2_6 ; 1_6 ; 6F ; R4Ok.

A la suite de cette transformation les données sont séparées en deux jeux de données : l'un complet et l'autre ne comportant que les produits défectueux. Le premier permet d'identifier les séquences sans problème et le deuxième de comprendre les raisons des défauts. Ces deux jeux sont soumis à l'algorithme pour les règles d'association d'Agrawal [Agrawal et Ramakrishnan, 1994].

Les résultats des instances simulées et des instances réelles montrent que cette transformation permet bien d'identifier des sources de non-conformités, qui n'étaient pas identifiables dans leur forme initiale. Ces résultats ont fait l'objet de communication [A.2006.1], [C.2005.1]. Une application à un cas réel dans le domaine de la production de service (crédit immobilier) a également été réalisée [C.2006.3], prouvant la robustesse de la démarche.

3.3 Implantation

La diversité du produit a de nombreux impacts sur le processus de réalisation : qualité, temps de réalisation, coûts, etc. [Child *et al.*, 1991]. La conception du processus de production et en particulier l'implantation des ateliers de réalisation doivent donc être faites en prenant en compte cette contrainte.

Selon Phillips 30% du coût de réalisation provient d'opérations de manutention [Phillips, 1997], comme celles-ci sont fortement dépendantes de l'implantation, cette dernière apparaît comme essentielle pour la maîtrise des coûts de réalisation. Nous proposons d'utiliser des techniques de fouille de données pour la détermination d'une « bonne » implantation. Notre démarche est constituée des étapes suivantes :

1. identification d'ensembles de produits représentatifs,

2. identification d'ensembles de processus,
3. proposition d'une implantation,
4. classification des nouveaux produits (rapprochement d'une famille de produits) et proposition d'une implantation adéquate.

De précédentes recherches ont proposé des méthodologies [Muther, 1973], [Apple, 1991], [Tompkins *et al.*, 2010] et des algorithmes [Lam *et al.*, 2005], [Karray *et al.*, 2000], [Litett *et al.*, 2001], [Mavridou et Pardalos, 1997] pour l'implantation. Nous utilisons la méthode du Systematic Layout Planning [Muther, 1973], pour proposer une méthodologie alternative basée sur des outils de fouille de données.

Dans nos travaux nous nous sommes concentrés sur les techniques de classification. La classification (aussi appelée segmentation) sépare une population en sous-populations plus petites ayant un comportement similaire. La classification maximise l'homogénéité dans chaque classe et maximise l'hétérogénéité entre classes [Westphal et Blaxton, 1998].

Considérons une entreprise qui réalise de petites quantités de nombreux produits différents, sans qu'il y ait de produit phare. Cette entreprise dispose d'un ensemble de machines ($M_1, M_2, \dots, M_n$) qui sont utilisées par les processus spécifiques à chaque produit. Pour cette opération nous transformons les données initiales pour obtenir le tableau II.7

Dans ce tableau les lignes représentent la liste des produits et les colonnes les machines utilisées. L'information sur la séquence des opérations est perdue. En appliquant les techniques de classification à ces données, on identifie des ensembles de produits requérant les mêmes process. A cette étape un expert doit valider les résultats. A partir de ces informations, des sous-ateliers (groupes de machines) peuvent être proposés.

	Ref	Process								
List of products		M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	...	Mn
	123	1	1		1			1		
	234	1	1		1			1		
	345			1		1	1			
	567			1		1	1	1		
	...	...	...							

FIGURE II.7 – Données pour la classification [BB.2007.1].

En connaissant le volume de production pour chaque produit ainsi que les lots de production, le diagramme relationnel d'activités (activity relationship diagram) peut être construit. L'implantation des différents sous-ateliers est alors relativement directe [Buffa *et al.*, 1964].

Pour l'implantation détaillée, toutes les machines sont assignées à un sous-atelier spécifique. L'objectif est d'implanter plus spécifiquement les machines dans l'ordre adéquat. Nous utilisons la transformation de données utilisée pour la détection de non-conformité (cf. 3.2) afin de détecter les séquences d'opération les plus fréquentes et en déduire l'implantation.

Les nouveaux produits seront affectés automatiquement à un ou plusieurs sous-atelier(s) par arbres de classification [Agard et Kusiak, 2005]. La démarche globale est synthétisée dans la figure suivante (fig. II.8).

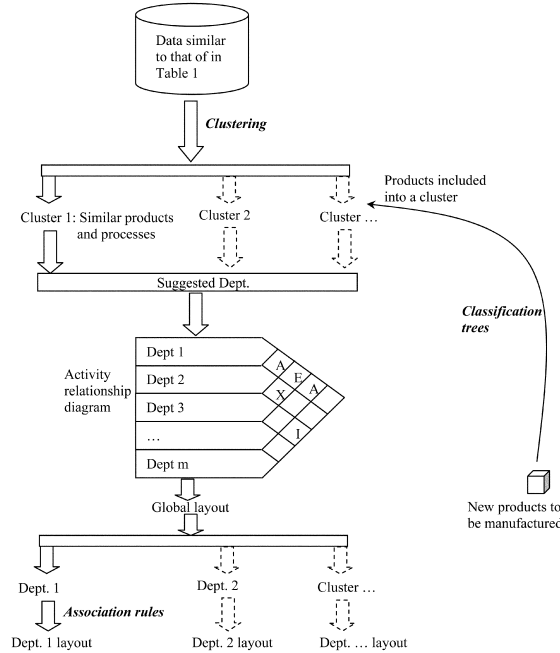


FIGURE II.8 – Démarche globale [BB.2007.1].

3.4 Synthèse des résultats et perspectives

La démarche présentée ici a permis sur des exemples académiques de valider l'application du data-mining pour l'identification des gammes d'assemblage générant des défauts. Ces résultats ont été repris notamment par [Rokach *et al.*, 2008] qui déploie la méthodologie afin de prendre en compte des séquences plus complexes (opérations intercalaires, opérations répétées). [Ruschin-Rimini *et al.*, 2012] enrichissent notre proposition d'un outil de visualisation. Il s'agit alors pour l'expert de décider de nouvelles séquences ou de déterminer les causes des défauts.

4 Conclusion

La récolte, l'organisation et le filtrage des données sont des étapes incontournables de la prise de décision. Notre objectif était de pallier le manque d'information fiable induit par la grande diversité. Les résultats obtenus sont des modèles valides de comportement des clients ainsi que des techniques d'analyse des processus robustes. Ils nous permettent d'aborder les questions de conception et de pilotage avec les données d'entrée nécessaires (figure II.9).

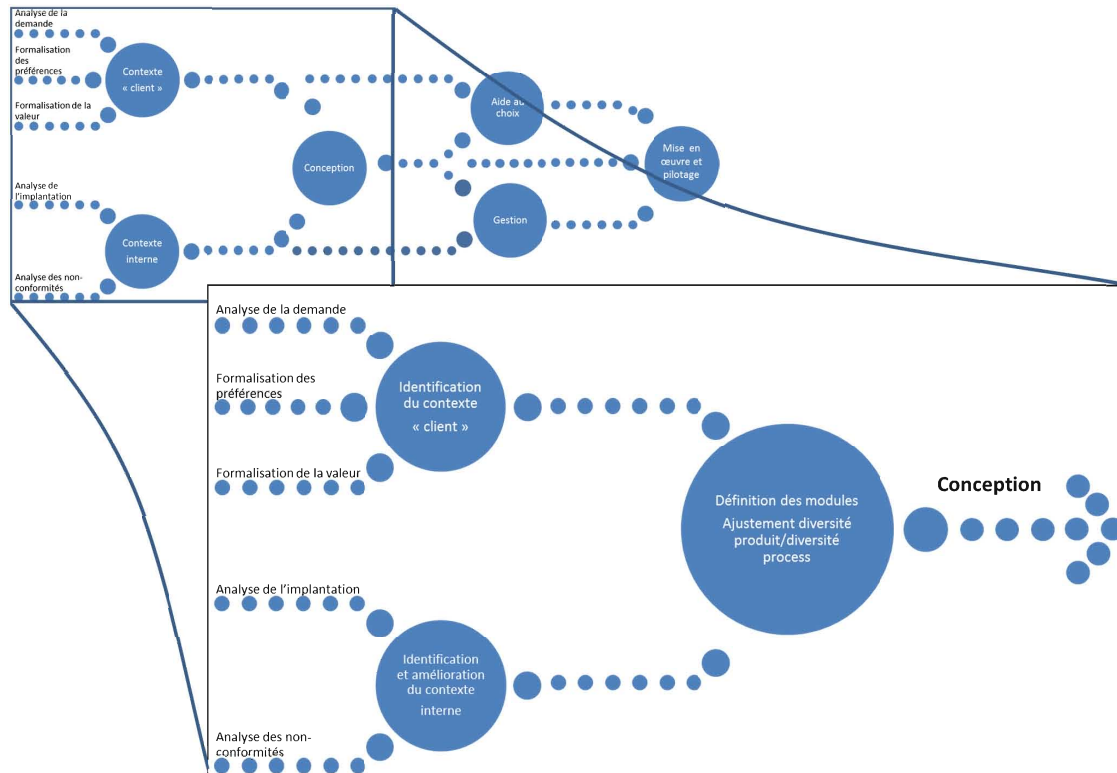


FIGURE II.9 – Utilisation des données.

Chapitre III

Conception

La personnalisation de masse est un concept dont la définition s'appuie sur les résultats obtenus (un produit personnalisé avec l'efficacité, notamment économique et temporelle, de la production de masse). Les moyens ne sont pas envisagés dans cette définition. En effet, la conception d'une configuration (produits, process, chaînes de valeur) permettant d'atteindre cet objectif n'est pas automatique. La détermination de la bonne conception passe donc par une analyse des spécificités du contexte puis par l'évaluation d'alternatives construites à partir de méthodes génériques. Les problèmes décrits dans ce chapitre abordent plusieurs des points durs de cette conception : tout d'abord la définition de modules puis l'équilibre entre la diversité des produits et celle des process. Le dernier point abordé est celui du lien entre le point de différenciation des produits et le point d'intégration des ordres des clients.

1 Définition des modules

1.1 Contexte et enjeux

Lorsque le contexte est celui d'une grande diversité, une solution permettant un bon compromis entre diversité offerte et délai d'obtention d'un produit fini est la conception flexible de produits alliée à un assemblage à la commande, Starr [Starr, 1965]. L'entreprise n'a pas à gérer un stock de produits finis qui peuvent ne jamais être demandés, et les délais ressentis par le client ne sont que ceux de l'assemblage des produits semi-finis.

La différenciation retardée est un moyen de gérer le risque associé à la variété des produits et l'incertitude des ventes. Celle-ci permet de garder le « plus longtemps » possible le caractère standard/générique des produits : mutualisant ainsi les moyens de production et les stocks [Zinn, 1990], [Aviv et Federgruen, 2001]. Cette stratégie peut s'appliquer via plusieurs formes, notamment [Lee et Tang, 1997] :

- standardisation des composants,
- conception modulaire,
- retardement d'opérations,
- reséquencement d'opérations.

Cette approche nécessite une connaissance fine du produit réalisé. La recherche dans ce domaine est généralement menée par des chercheurs relevant du génie mécanique. L'APICS (the Association for Operations Management) définit la production modulaire comme la capacité de concevoir et produire un ensemble de modules qui peuvent être combinés [Cox et Blackstone, 1998]. Cette politique se décompose en deux étapes. La production est initiée jusqu'à l'obtention de produits semi-finis qui seront stockés. Puis, une fois la commande ferme reçue, l'assemblage des produits finis, à partir de ces stocks, est réalisé. L'importante diversité finale (ressentie par le client) est alors obtenue par une diversité plus limitée (et donc plus facile à gérer) des modules ou produits semi- finis.

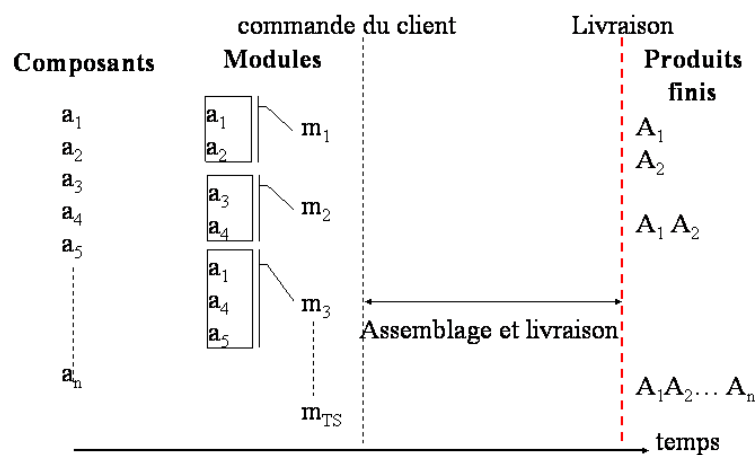


FIGURE III.1 – Assemblage à la commande [E.2004.1].

1.1.1 Problématique

Nous avons choisi d'utiliser ici le terme de définition et non de conception car nous distinguons ces deux concepts.

La conception désigne l'opération de création qui s'effectue dans la phase projet, avant la commercialisation des produits. La définition de l'APICS est la suivante :

« la conversion d'un besoin ou d'une innovation en un produit, process ou service qui concilie les attentes de l'entreprise et des clients. L'étape de conception consiste en une traduction d'un ensemble de fonctionnalités techniques en un produit, process ou service opérationnel » [Cox et Blackstone, 1998].

Le terme de définition sera utilisé ici pour désigner l'action de regroupement de fonctions en produits semi- finis, appelés modules. Cette opération, particulière à l'assemblage à la commande, s'effectue tandis que les produits définis peuvent même être déjà disponibles sur le marché. La création de modules s'appuie sur des préoccupations de réactivité et de productivité et nécessite des informations sur les demandes.

Les questions soulevées à cette étape de la mise en place de l'assemblage à la commande (figure III.1) sont les suivantes :

1. Combien de modules différents stocker (valeur TS) ?
2. Lesquels (quels sont les composants entrant dans la composition du module m_j , $j = 1 \dots TS$) ?

Le dimensionnement des stocks et des politiques d'approvisionnement est une question que nous avons commencée à traiter [C.2004.2], c'est une problématique de pilotage que nous n'aborderons pas ici.

Nous présentons dans cette section différents critères de définition rencontrés dans la littérature.

Les critères physiques sont souvent considérés pour concevoir des modules. En effet, l'identification des interactions physiques entre composants et le regroupement en modules des composants ayant une forte interaction permet d'obtenir des éléments modulaires indépendants. Une conception modulaire de ce type peut notamment s'effectuer, comme le préconisent Huang et Kusiak [Huang et Kusiak, 1998] par une modélisation matricielle.

Agard dans ses différents travaux [Agard et Tollenaere, 2002], [Agard, 2002] propose des méthodes de conception modulaire, qui tout en tenant compte de caractéristiques structurales ou fonctionnelles, permettent d'obtenir un bon compromis entre temps d'obtention d'un produit et diversité des modules nécessaires à son obtention. L'optimisation est réalisée via l'utilisation d'un algorithme glouton.

Swaminathan et Tayur [Swaminathan et Tayur, 1998], [Swaminathan et Tayur, 1999b] intègrent la notion d'information sur la demande finale pour s'intéresser au problème de définition de modules très spécifiques des Vanilla Boxes. Ces modules ont ceci de particulier qu'on ne peut utiliser plus d'une Vanilla Boxe pour un même produit fini. Ainsi l'obtention d'un produit pourra être faite à partir des composants de base ou par assemblage d'une unique Vanilla Boxe et des composants complémentaires.

1.1.2 Enjeux

Si le temps d'assemblage ne doit pas excéder un temps maximum fixé, on considère la minimisation du nombre de produits semi-finis permettant de fabriquer chaque produit fini dans le délai maximum fixé. L'information nécessaire est celle concernant l'existence (ou non-existence) d'un produit fini donné, ce problème est alors déterministe.

1.1.2.a) Temps moyen d'assemblage

Pour montrer la disparité des temps d'assemblage (TA) obtenus avec un même nombre de modules stockés on choisit de traiter de manière exhaustive les compositions acceptables pour un exemple de taille réduite. Pour illustrer l'enjeu de cette définition des stocks on retiendra pour chaque taille de stock TS la configuration optimale et celle conduisant au temps d'assemblage le plus long.

On utilise un exemple de cinq composants (soient trente et un produits finis potentiels), pour cet exemple TS varie donc de cinq à trente et un.

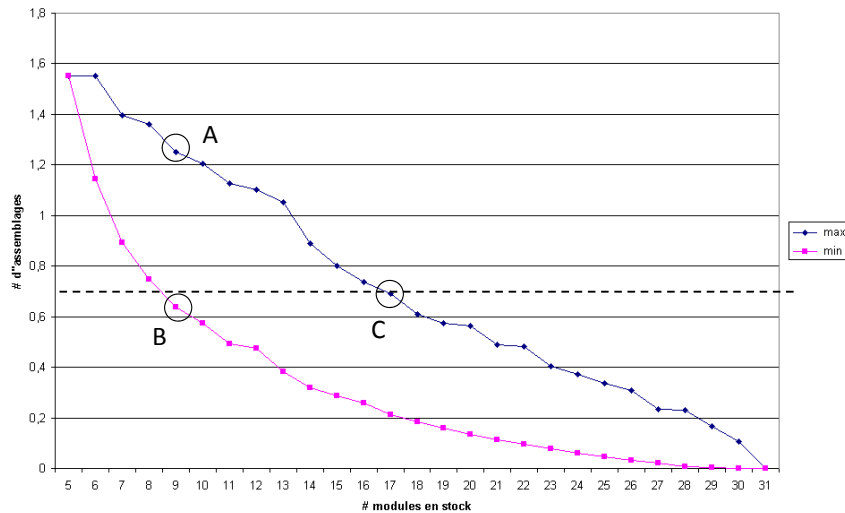


FIGURE III.2 – Temps d’assemblage pour une demande en produits connue (cas 5 options) [E.2004.1].

La figure III.2 montre les résultats obtenus pour une simulation de cinq composants. On remarque qu’une définition pertinente des modules à stocker permet un gain important. Ainsi les points A et B sont obtenus pour un même nombre de références, toutefois le temps obtenu avec la définition (B) permet un assemblage deux fois plus rapide qu’avec le choix au pire (A).

On observe également que l’augmentation du nombre de références n’est pas une garantie d’une diminution du temps d’assemblage. Le point C présente le temps obtenu avec un stock de dix-sept références, il est moins performant que le stock représenté en B neuf références en stocks).

1.1.2.b) Coût

Le pré-assemblage des modules à partir des composants est souvent réalisé dans des sites distants (à faible coût de main d’œuvre). Puis les modules sont transportés à des sites de proximité et stockés en attente de la demande. La demande ferme du client déclenche l’opération d’assemblage final. Le temps de livraison ressenti par le client ne comporte donc que le temps d’assemblage final et la livraison au site de consommation. Lors de la minimisation du coût il s’agit donc de respecter la contrainte de temps fixé par le client, représenté par un temps moyen d’assemblage inférieur à x .

Reprenons l’exemple de la figure III.2. Si le temps moyen d’assemblage acceptable x est de 0,7 u.t. (ligne pointillée), avoir dix-sept modules ou plus en stock garantit que la demande moyenne est réalisée dans le temps imparti. Une « bonne » configuration de neuf modules permet également de garantir cette contrainte. De nombreuses compositions permettent de vérifier la contrainte, néanmoins elles génèrent des coûts différents, c’est sur ce critère qu’il faudra baser la sélection.

La figure III.3 est déterminée par l'étude exhaustive des configurations du même cas cinq composants, seuls les compositions vérifiant la contrainte temporelle sont considérées. Stocker le nombre minimum de modules (i.e., le plus petit nombre de références qui garantit x) n'est pas toujours la solution optimale comme illustré sur l'exemple suivant. La figure III.3 montre que l'optimum est atteint en stockant douze modules.

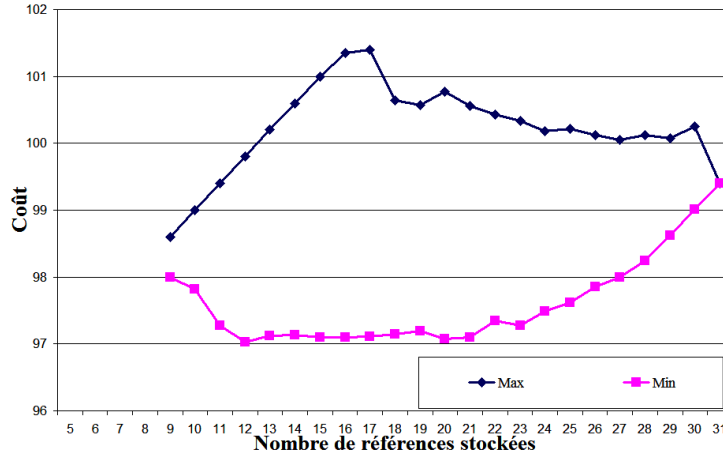


FIGURE III.3 – Coûts extrêmes pour $\alpha = 1, \beta = 0.4, \gamma = 0.1, \delta = 10$ [A.2007.1].

1.2 Formalisation

1.2.1 Notations

Les notations employées sont les suivantes, soient :

- n le nombre de composants, on a alors $2^n - 1$ produits finis potentiels, $\mathbb{P}_i$,
- la probabilité de demande d'un produit $\mathbb{P}_i$ sera notée $P(\mathbb{P}_i)$,
- C_j une composition de stock,
- TS le nombre de modules que l'on veut stocker lorsque ce paramètre est une entrée du système,
- $|C_j|$ le nombre de modules contenus dans la composition considérée,
- $TA(C_j)$ temps d'assemblage moyen ,
- $NA(\mathbb{P}_i, C_j)$ le nombre moyen d'assemblages nécessaires à la satisfaction d'une demande,
- $|M_i|$ le nombre de composants entrant dans la composition du module M_i .

1.2.2 Objectifs

1.2.2.a) Minimisation du temps moyen d'assemblage

Le critère de minimisation du temps moyen d'assemblage a un sens dès lors qu'il y a différents produits. Dans un univers stochastique, le temps moyen correspondra alors à l'espérance mathématique du temps d'assemblage.

Le problème est alors, pour une connaissance sur la demande donnée, de déterminer quelle sera la composition du stock de modules qui permettra de minimiser le temps moyen d'assemblage. Celui-ci est supposé proportionnel au nombre d'opérations d'assemblage nécessaires à la production d'un produit. Ainsi un produit réalisé à partir de deux modules (une opération d'assemblage) aura un temps d'assemblage deux fois plus court qu'un produit réalisé à partir de trois modules (deux opérations d'assemblage).

Le temps d'assemblage (TA) peut alors être assimilé à l'espérance du nombre d'assemblages. On peut évaluer la performance d'une composition de stock en fonction de ce critère. On note $NA(\mathbb{P}_i, C_j)$ le nombre d'assemblages nécessaires à la réalisation du produit $\mathbb{P}_i$ à partir de la composition de stock C_j , l'équation III.1 traduit la relation existant entre nombre d'assemblages et temps moyen.

$$TA(C_j) = \sum_i P(\mathbb{P}_i) \times NA(\mathbb{P}_i, C_j) \quad (\text{III.1})$$

Le problème se formalise alors comme suit :

$$\min_{C_j} TA(C_j) \quad (\text{III.2})$$

La détermination de $A(\mathbb{P}_i, C_j)$ n'est pas triviale, en effet il s'agit d'un problème de set covering, Ce problème est NP-complet [Garey et Johnson, 1979]. De plus un résultat de 1995 montre que le meilleur facteur d'approximation est $O(\log n)$ ([Hochbaum, 1997], chap. 10). La contrainte de n'assembler que des options différentes nous conduit à un cas particulier aussi appelé Set partitioning, ce problème est également NP-complet [Garey et Johnson, 1979].

1.2.2.b) Minimisation des coûts

Le modèle est formalisé comme suit :

$$\min_C \text{Coût}$$

Sous contrainte

$$TA(C) < x$$

avec

$$\text{Coût} = \text{Coût de pré-assemblage} + \text{Coût de transport} + \text{Coût d'assemblage final}$$

Pour la détermination du coût quelques hypothèses sont formulées :

- le coût de chaque opération d'assemblage est équivalent (même complexité),
- le coût de chaque pré-assemblage est donc proportionnel au nombre de composants assemblés dans chaque module M_i .

$$\text{Coût de pré-assemblage} \propto \sum_{i=1}^{|C|} (|M_i| - 1)$$

Les coûts de transports du site distant sont composés d'une part de coûts fixes et d'une part de coûts variables. Le coût fixe est proportionnel au nombre de références transportées, i.e. le nombre de modules différents $|C|$.

Chaque module est livré à intervalles et quantités fixes. Le coût variable du transport est proportionnel au volume transporté ; par simplification, il sera proportionnel au nombre de composants dans un module.

$$\text{Coût de transport} \propto \gamma \times |C| + \beta \sum_{i=1}^{|C|} (|M_i|)$$

Le coût d'assemblage final est considéré comme proportionnel au temps d'assemblage final, c'est-à-dire proportionnel au nombre de modules utilisés.

$$\text{Coût d'assemblage final} \propto TA(C)$$

$$\text{Coût} = \alpha \sum_{i=1}^{|C|} (|M_i| - 1) + \gamma \times |C| + \beta \sum_{i=1}^{|C|} (|M_i|) + \delta TA(C)$$

Le modèle est non linéaire car la fonction déterminant le temps d'assemblage (TA) est non linéaire (cf. eq. III.1).

1.3 Proposition : idées de sélection

Nous nous sommes attachés à déterminer une méthode heuristique nous permettant, quel que soit le niveau de connaissance à disposition, de trouver une solution acceptable, c'est-à-dire permettant de limiter les choix néfastes. Les résultats montrent qu'il est important de bien définir la composition de stock, mais aussi qu'une exploration exhaustive n'est pas possible. Différentes stratégies peuvent être suivies pour déterminer la composition du stock de produits semi-finis à stocker. Les principales idées retenues sont :

- favoriser les modules entrant dans la composition des produits les plus fréquemment demandés,
- favoriser une bonne couverture des composants : en effet, on ne peut associer que des modules totalement différents, dès lors il vaut mieux stocker des modules pouvant être combinés,
- favoriser les modules simples, c'est-à-dire ceux constitués de peu de composants.

1.3.1 Description

Nous nous sommes ainsi intéressés à quatre méthodes de détermination du choix des compositions. Celles-ci ne s'appliquent qu'aux modules venant en sus des composants de base.

1. Choix aléatoire (*aléatoire*) :
tous les modules ont $TS - n$ chances sur $2^n - n$ d'appartenir à la composition.
Cette méthode nous servira par la suite de moyen d'évaluation ; en effet, cette solution est fort peu coûteuse en temps, les autres méthodes devront donc donner des résultats plus performants.
2. Prise en compte de règles :
les modules candidats à la sélection sont ceux identifiés avec la fouille de données, tous les modules candidats ont la même chance d'appartenir à la composition
3. Prise en compte de la fréquence d'utilisation des modules :
l'utilisation des modules est obtenue en utilisant le PME (cf. 2)
 - (a) à partir de la demande des composants,
 - (b) à partir des règles obtenues par fouille de données.
 la sélection dans la composition se fait par fréquence décroissante.
4. Utilisation d'une méta-heuristique

Les méthodes 2 et 3 sont déterministes.

1.3.2 Performance des algorithmes proposés

Résultats publiés dans	Objectif	Méthode utilisée
[C.2004.1]	$\min_{C_j} TA_{\mathfrak{d}}(C_j)$	- Algo. déterministe basé sur la taille - Algo. déterministe basé sur la fréquence
[C.2005.2]	$\min_{C_j} TA_{\mathfrak{d}}(C_j)$	- Recuit simulé, population initiale générée avec les algo. de [C.2004.1]
[A.2007.1]	$\min_C Coût$	- algo. de [C.2004.1] - Recuit simulé, population initiale aléatoire
[A.2008.1]	$\min_{C_j} TA_{\mathfrak{d}}(C_j)$	- Algo. de [C.2004.1] appliqués sur une information générée par PME
[A.2009.1]	$\min_{C_j} TA_{\mathfrak{d}}(C_j)$	- Algorithme génétique
[A.2010.1]	$\min_{C_j} TA_{\mathfrak{d}}(C_j)$	- Algo. déterministe basé sur la fréquence appliqué sur une information générée par PME enrichie de data-mining

TABLE III.1 – Différents problèmes traités avec leur modes de résolution.

Le tableau III.1 présente les différentes valorisations de nos travaux. Les performances obtenues sur de multiples exemples de tailles différentes ne nous ont pas permis de mettre en lumière une méthode plus efficace que les autres. Néanmoins les temps d'exécution sont tels que nous pouvons nous permettre d'appliquer, sur une même instance, différentes méthodes afin de trouver la solution la plus efficace.

1.4 Synthèse des résultats

Dans cette section nous nous sommes concentrés sur la question de définition des stocks de produits semi-finis, essentielle dans la mise en place d'une politique d'assemblage à la commande. Nous avons considéré ce problème en utilisant plusieurs critères. Des heuristiques permettant de minimiser le critère du temps moyen d'assemblage ont été proposées et leurs performances évaluées. L'utilisation de ces heuristiques avec différents niveaux d'information a mis en lumière l'importance de l'information dans cette étape de définition. Les applications de recuit simulé ont été reprises, [Wagner et Silveira-Camargos, 2011] utilisent une partie de notre formulation pour aborder le problème du choix entre juste à temps et juste en séquence. [Moon *et al.*, 2010] reprennent notre modélisation des coûts pour traiter le problème de la conception de familles de services. Nos algorithmes de sélection déterministes sont reconnus dans la littérature de la personnalisation de masse [Fogliatto *et al.*, 2012]. Les algorithmes évolutionnaires sont également reconnus dans le domaine de l'architecture produit [Nepal *et al.*, 2012].

2 Diversité produit vs. diversité process

La personnalisation de masse peut être obtenue via une diversité des produits et process. La diversité des produits est définie par l'ensemble des produits qu'un système de production amène sur le marché [Ulrich, 1995], tandis que la diversité des processus de production n'est pas visible directement par le consommateur mais décrit les alternatives [Zhang *et al.*, 2005]. Afin de rester économiquement viables, les entreprises doivent déterminer le niveau de variété produit et processus de production en fonction de leur impact sur la valeur perçue par le client (cf. 1.3). Ces travaux ont été publiés dans [A.2011.1], [A.in Press.2].

2.1 Formalisation : diversité des produits et diversité des process

Le produit est au centre d'une chaîne de valeur. Le rôle des intervenants de cette chaîne est de proposer au client un produit générant assez de valeur pour lui ainsi que pour tous les acteurs. Cette génération de valeur commence dès la conception qui dans le cadre de la personnalisation de masse doit définir l'ensemble des possibilités de personnalisation. Afin de réduire les coûts (et les rapprocher de ceux de la production de masse) la personnalisation peut être réalisée par de la modularité et de la communalité. Ces deux approches permettent une différenciation des produits en limitant les coûts [Ulrich, 1995]. Des approches de type plateforme peuvent également augmenter la diversité en réalisant des économies d'échelle [Tseng et Jiao, 2001], [Berger *et al.*, 2005].

Cette tâche essentielle de conception peut s'appuyer sur une approche adaptée à la personnalisation de masse : DFMC (Design For Mass Customization) [Tseng *et al.*, 1996]. Cette approche propose de s'appuyer sur une architecture de familles de produits avec une conception du processus de haut niveau, unifiant les étapes de production et de mise à disposition.

Hernandez [Hernandez *et al.*, 2006] propose une démarche formalisée pour la détermination d'une conception produit/processus :

1. définition de l'espace de personnalisation,
2. formulation d'une fonction objectif pour la conception (souvent la minimisation des coûts),
3. identification des modes de gestion de la diversité : modularité, personnalisation dimensionnelle, etc.,
4. détermination du nombre de niveaux et des modes de gestion de la diversité à chacun d'eux,
5. formulation d'un problème d'optimisation,
6. résolution du problème.

L'une des limites de cette démarche est la difficulté de mise en œuvre liée à la formalisation des divers coûts de la diversité.

La personnalisation des produits conduit souvent à l'augmentation de la variété du système de production : machines, main d'œuvre, etc. Cette variété est une source de coûts qui doit être contrôlée [Jiao *et al.*, 2006a]. Les nombreux travaux dans la conception de plateforme de processus sont présentés par Jiao et Simpson [Jiao et Simpson, 2007]. On pourra se référer aux recherches de Jiao [Jiao *et al.*, 2006b] pour son utilisation des représentations génériques. Ils fusionnent les structures génériques Produit et les structures génériques Process dans une structure générique Produit et Process.

De nombreux travaux existent dans le domaine de la conception pour la personnalisation de masse et la maîtrise de la diversité des process. Néanmoins, la plupart d'entre eux se concentre sur les coûts et les délais, peu considèrent comme centrale la satisfaction du client.

2.2 Proposition : impact des diversités produit et processus de production sur la valeur perçue

L'entreprise doit optimiser la diversité externe en maîtrisant la complexité interne issue de la différenciation des produits [Tseng et Jiao, 2001],[Hernandez *et al.*, 2006]. Le coût de la diversité, même lorsqu'elle est considérée optimale par le client, doit être piloté [Lehman, 1998].

A partir de la définition de valeur proposée, l'impact de la diversité produit et processus de production sur la chaîne de valeur peut être identifié (Figure III.4). Les flèches indiquent une influence tandis que les signes la décrivent : le signe + indique une influence positive (si la variable amont augmente la variable aval augmente également), le signe – indique une influence négative (si la variable amont augmente la variable aval décroît).

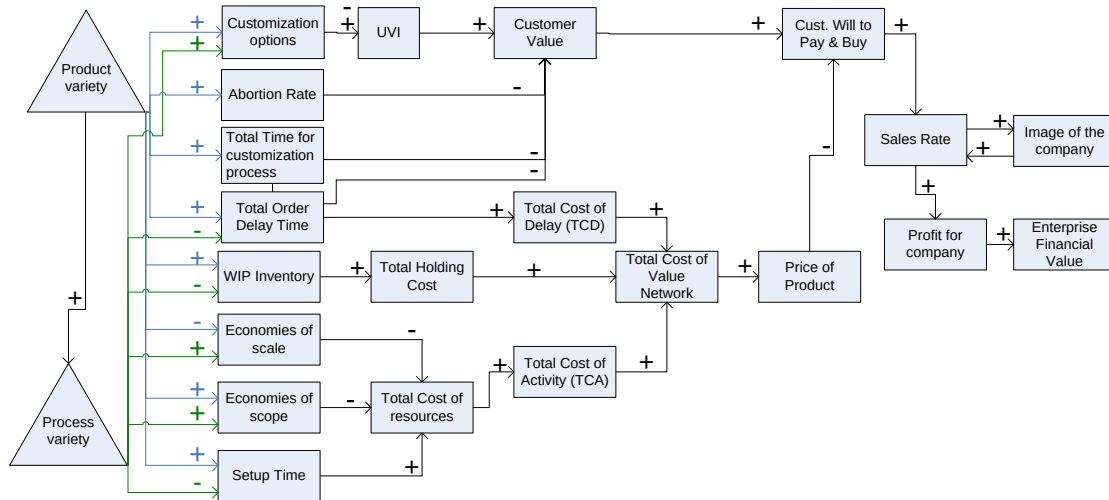


FIGURE III.4 – Réseau d'inducteurs de valeur [A.2001.1].

Avec cette représentation, l'influence de la diversité (qu'elle soit produit ou process) sur la valeur est identifiable.

Il est alors possible de modéliser les relations mises en exergue ici et de simuler différentes configurations de diversité afin de déterminer celle qui générera le plus de valeur pour le client.

2.3 Validation : Etude de cas dans l'industrie de la chaussure

Le projet européen DOROTHY a été l'occasion de travailler avec des entreprises réfléchissant à la mise en place d'organisations / chaînes de valeurs adaptées à la personnalisation. L'étude présentée ici est celle de la société Alpina, les résultats obtenus sont présentés dans [A.in Press.1]. Alpina est une entreprise slovène qui a été créée après la seconde guerre mondiale, par le regroupement de nombreux artisans spécialistes des bottes. Aujourd'hui Alpina est plus particulièrement reconnue pour ses bottes de ski et spécialement de ski-cross pour lesquelles Alpina est leader mondial.

Alpina possède des sites de production et de vente dans plusieurs pays. La problématique à laquelle Alpina doit faire face est la suivante : au moins 25% de ces clients ont des pieds de tailles différentes. Actuellement une personnalisation rapide est possible dans les boutiques. Cette opération, qui dure quelques minutes, n'est pas facturée au client.

Afin de rester concurrentiel sur le marché des bottes de ski, Alpina envisage de passer d'une production de masse à une personnalisation de masse en multipliant par plus de 60 le nombre de produits finaux proposés. Cette augmentation de l'offre se fait par une relaxation des contraintes sur les couleurs des différents éléments. La mise en œuvre de cette stratégie peut se faire selon plusieurs alternatives. La difficulté pour Alpina est d'évaluer si cette nouvelle stratégie sera rentable et dans ce cas, quelle est l'alternative la plus profitable.

La démarche d'analyse de cette évolution a permis de modéliser la situation initiale ainsi que les quatre solutions alternatives de personnalisation de masse (différentes positions de prise en compte de la commande client) envisagées par l'entreprise. Il s'avère que cette évolution vers la personnalisation, sans modification des processus, ne serait pas rentable (cf. tableau III.2), en effet la structure actuelle de l'entreprise n'est pas adaptée et différents points ne pourraient être gérés efficacement (par exemple les relations existantes avec les fournisseurs ne permettent pas de garantir des délais acceptables pour le client).

	Valeur pour Alpina (Euros)	Valeur perçue par le client
AS-IS	183,304.5	335.41
Alternative 1	68,398.62	446.36
Alternative 2	47,006.83	480.40
Alternative 3	11,924.51	566.57
Alternative 4	35,411.51	743.96

TABLE III.2 – Résultat de l'étude de migration MP vers PC pour Alpina.

2.4 Synthèse des résultats

L'analyse réalisée a mis en lumière les liens existants entre la valeur (pour le client ou pour l'entreprise) et la diversité (produit et process). Nous avons proposé des outils de simulation permettant d'évaluer et de comparer des alternatives de configurations. La validation par un exemple réel a mis en évidence l'importance de considérer conjointement les trois aspects de la configuration (produit, process, chaîne de valeur) pour parvenir à générer de la valeur pour les différentes parties bénéficiaires.

3 Conclusion

Nous nous sommes attachés à l'un des aspects de la conception d'une configuration de personnalisation de masse : la définition des modules pour la production à la commande. Les résultats obtenus nous ont conduit à nous questionner sur l'interaction entre les éléments d'une configuration : l'offre de produits, l'offre de processus de production et la chaîne de valeur. Une analyse de l'impact de ces deux aspects sur la valeur perçue par le client a été réalisée. Celle-ci a été outillée notamment par un module de simulation permettant d'évaluer des alternatives. Le chapitre suivant étudiera la mise en place et le pilotage d'une alternative ainsi choisie.

Chapitre IV

Mise en œuvre et pilotage

Dans la majorité des recherches menées sur l'implémentation de la personnalisation de masse, la gestion de la diversité produits est assimilée à un problème de conception. Il s'agit alors de trouver une conception permettant d'offrir au client le produit souhaité en maîtrisant les coûts associés. De nombreuses démarches ont été développées, étudiées et évaluées pour aborder ce problème. Ainsi la conception modulaire, la mise en œuvre de variabilité dimensionnelle, la mise en commun de composants, ou de plateformes plus complexes, sont des objets d'études pour de nombreuses équipes de recherche.

Cette approche statique, bien qu'indispensable, ne nous semble pas suffisante. En effet, l'implémentation puis le pilotage de la stratégie qu'est la personnalisation de masse sont des problèmes industriels qu'il nous semble impossible de ne pas considérer. Différents niveaux de pilotage sont nécessaires : du pilotage très opérationnel (gestion des modifications techniques sur les produits) à un pilotage plus stratégique par les capacités organisationnelles (figure IV.1). Nous débuterons ce chapitre avec l'aide à la décision de choix d'achat.

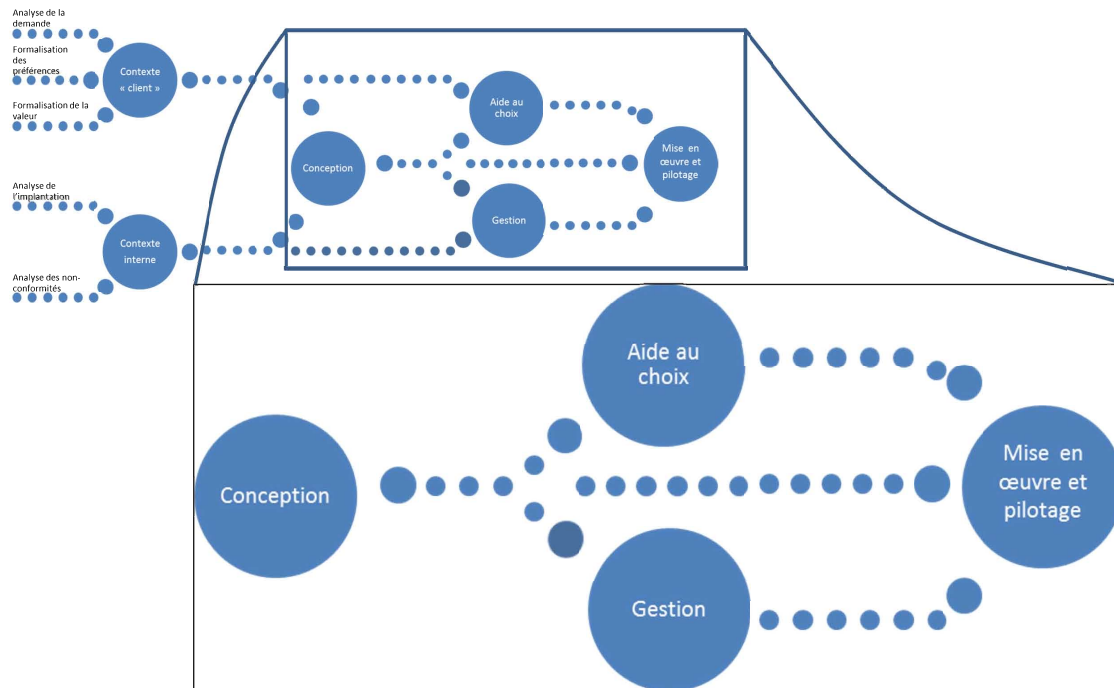


FIGURE IV.1 – Mise en œuvre de la personnalisation de masse.

1 Aide au choix du client

1.1 Contexte

Adomavicius et Tuzhilin [Adomavicius et Tuzhilin, 2005] définissent la personnalisation comme un processus à cinq étapes

1. recueil des données des clients,
2. création des profils des clients,
3. association des produits, services et contenus les plus adaptés pour un client,
4. livraison la plus adaptée possible du produit, service ou contenu au client,
5. mesure de la réponse du client à l'offre.

Nous avons abordé les deux premières étapes dans le chapitre II. Ici nous aborderons le problème de l'étape 3 « association des produits, services et contenus les plus adaptés pour un client » (figure IV.2). C'est l'étape de recommandation, celle-ci peut être réalisée de manière autonome par le client, avec l'aide d'un expert (usuellement le vendeur) ou bien avec un outil de recommandation. Dans le contexte de la personnalisation de masse

le nombre important de produits qu'ils soient en portefeuille ou réalisés à façon, impose très souvent l'usage d'un de ces systèmes.

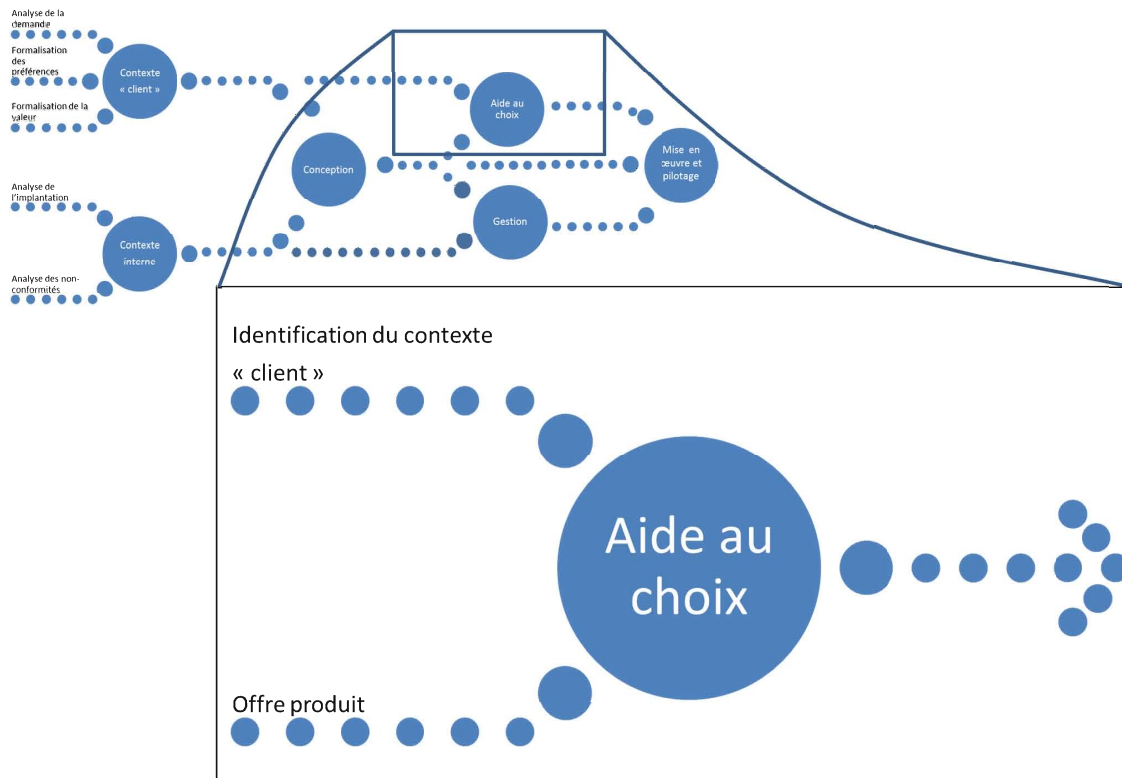


FIGURE IV.2 – Aide au choix du client.

Les systèmes de recommandation sont apparus dans les années 90. Utilisés sur les sites de commerce en ligne, ils aident les utilisateurs à trouver, parmi les trop nombreux produits et services proposés à la vente, ceux qui sont les plus adaptés à leur recherche. Ces systèmes sont basés sur des techniques de filtrage tel le filtrage collaboratif [Resnick *et al.*, 1994], [Hill *et al.*, 1995] ou le filtrage démographique [Krulwich, 1997]. La plupart des algorithmes de recommandation effectuent des rapprochements de clients en fonction des produits qu'ils ont achetés ou évalués.

Notre objectif est d'améliorer les recommandations en n'utilisant non pas la préférence mais les informations sur les raisons de la préférence. Notre hypothèse est que la préférence dépend des émotions et des perceptions lors de l'usage.

1.2 Formalisation

Nous faisons l'hypothèse que l'appréciation du client d'un produit acheté et utilisé dépend des perceptions. Il existe donc une relation liant la préférence aux perceptions. On no-

tera cette fonction f (Cf. section 1). Nous faisons également l'hypothèse que l'utilisation de l'information décrivant cette relation peut être utilisée pour aider le client. Dans le processus de recommandation spontané, il s'agit d'identifier les personnes qui partagent un même type de fonction f . Les systèmes classiques identifient les personnes partageant une même préférence mais les raisons de la préférence ne sont ni analysées ni utilisées. Ainsi deux personnes aimant le même produit mais pour des raisons différentes seront considérées comme voisines ce qui ne sera pas le cas pour nous.

1.3 Proposition

Le but du système est d'aider l'utilisateur du système (acheteur potentiel) dans son choix d'un produit adapté, c'est-à-dire répondant à ses attentes et satisfaisant ses préférences. Pour cela, nous avons proposé un algorithme de filtrage. Celui-ci est constitué de trois étapes :

1. détermination d'un voisinage général, basé sur les évaluations globales,
2. réduction de ce voisinage aux voisins partageant les mêmes perceptions,
3. sélection des propositions par filtrage.

1.4 Implémentation et tests

1.4.1 Principes

La proposition présentée précédemment est mise en œuvre comme suit :

1. création de la classe 1 : application sur l'ensemble des clients d'un filtre basé sur les évaluations globales des produits. La distance entre deux clients est mesurée via le cosinus et la distance euclidienne de leurs évaluations globales,
2. création de la classe 2 : application sur les clients de la classe 1 d'un filtre basé sur les évaluations perceptives des produits. La distance entre deux clients est mesurée via le cosinus et la distance euclidienne de leurs évaluations perceptives,
3. recommandation : les produits préférés des clients de la classe 2 sont proposés au client actif.

Ces étapes sont synthétisées dans la figure IV.3

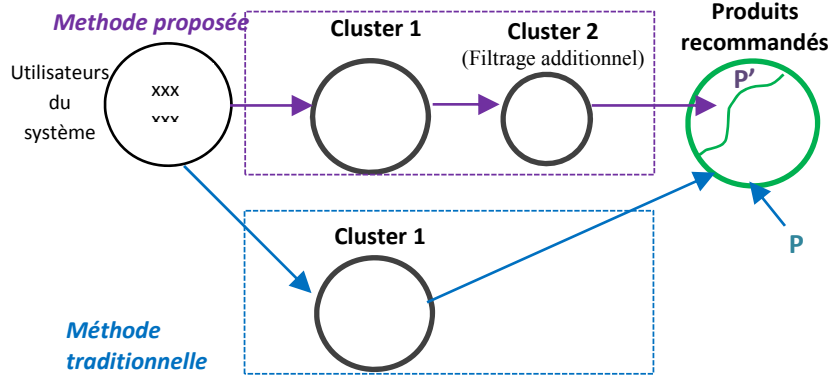


FIGURE IV.3 – Algorithme de filtrage [C.2012.5].

1.4.2 Performance sur un cas simulé

Nous avons comparé les résultats de l'approche proposée et de l'approche classique sur un cas simulé. Cette instance comporte 100 clients et 50 produits. Chaque client est affecté aléatoirement à un profil perceptif et un profil de préférence (cf. section 1.2) puis le système est bruité aléatoirement, pour chaque couple client/produit on a ainsi les notes perceptives et la note d'évaluation globale. Les matrices d'évaluation sont ensuite creusées pour se rapprocher d'un cas réel. Pour évaluer les algorithmes nous les appliquons sur le même client, pour chaque produit recommandé il est alors possible de connaître la note que le client aurait attribué (en fonction de ses profils de préférence et de perceptions). Pour critère de comparaison nous utilisons la formule suivante :

$$k = \frac{S1}{B} - 0,5 \times \frac{S2}{I} - 2 \times \frac{S3}{M}$$

Avec :

- B : nombre de bons produits (note globale supérieure à 7/10) enlevés du système
- S1 : nombre de bons produits recommandés
- I : nombre de produits moyens (note globale comprises entre 5 et 7/10) enlevés du système
- S2 : nombre de produits moyens recommandés.
- M : nombre de mauvais produits (note globale inférieure à 5/10) enlevés du système
- S3 : nombre de bons produits recommandés.

Les poids relatifs de bonnes, moyennes et mauvaises recommandations ont été déterminés à partir d'une enquête. Quels que soient les seuils de filtrage (cosinus et distance), l'approche proposée était plus performante que l'approche traditionnelle (cf. figure IV.4).

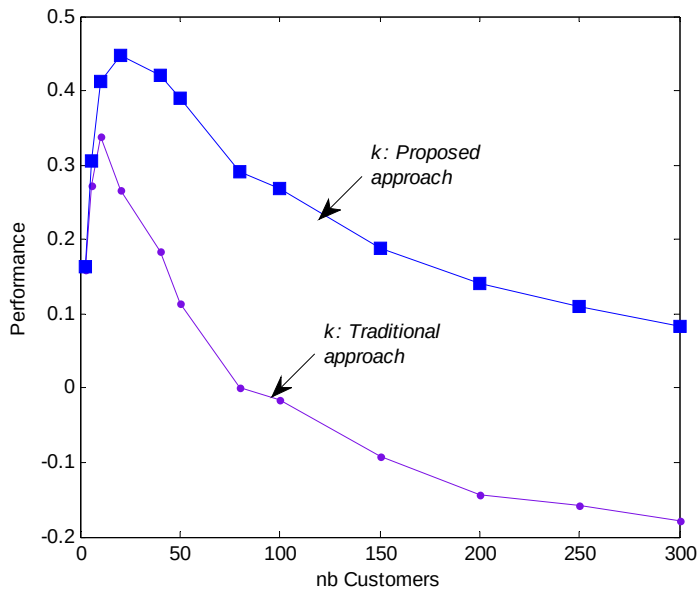


FIGURE IV.4 – Résultats des deux algorithmes sur l’instance générée[C.2012.5].

1.4.3 Performance sur un cas réel

Nous avons ensuite appliqué les deux approches sur un cas réel de 526 personnes et 100 films (il s’agit de la même instance qu’à la section 1.2, nous ne retenons que les sujets ayant vu plus de quatre films).

Approche	Performance
classique	0.451
proposée	0.465

TABLE IV.1 – Résultats moyens des deux algorithmes sur l’instance réelle.

1.5 Synthèse des résultats et perspectives

L’objectif de cette étude était d’utiliser une information sur les perceptions pour améliorer la recommandation de produits. Nous avons pu à partir de la validation de notre hypothèse initiale ($préférence = f(perceptions)$) élaborer un nouvel axe de filtrage collaboratif. Les tests menés ont permis de valider la pertinence de ce filtrage. Les performances mesurées montrent que la performance de la recommandation est améliorée.

2 Gestion des modifications

Mon projet de DEA (sept. 2000-sept. 2001) [EE.2001.1] a été réalisé sous la direction de Michel Tollenaere (Pr. à l'INP Grenoble) en collaboration avec le département Recherche et développement de *Valeo Connective Systems*. Le cas d'étude était le produit faisceau électrique produit par Valeo pour différents constructeurs automobiles. La première phase de l'étude a été une analyse de l'existant, un intérêt particulier a été porté aux spécificités produit/process et aux enjeux des modifications (pouvoirs des acteurs en présence, potentiel économique,...). Les techniques d'observation utilisées étaient les interviews, les observations et surtout le mode de validation/confrontation interactif. L'objectif de cette étape était la modélisation des pratiques que ce soit au niveau des flux d'information existants, des critères utilisés lors de l'acceptation d'une modification ou du calcul des coûts induits. La confrontation de ces travaux de DEA à ceux d'Arnaud Rivière, alors doctorant en CIFRE chez EADS a permis d'enrichir les propositions initiales. Cette collaboration a été valorisée par des publications communes : [BB.2003.1], [C.2002.1].

2.1 Contexte

L'évolution permanente des techniques impose aux industriels des modifications fréquentes, tant au niveau des produits qu'à celui du process. Ce processus doit se plier à des impératifs forts comme les délais très courts entre date à laquelle la conception produit est figée et le début de production. Une gestion efficace des demandes d'évolution est de ce fait devenue cruciale. Les produits complexes ne sont pas épargnés par les modifications du marché entraînant une concurrence accrue et une obligation de prendre en compte toutes les attentes de clients pour conserver des parts de marché. Ces produits personnalisés augmentent la diversité au sein d'une même famille de produits. L'ingénierie concurrente est une solution souvent choisie pour gérer la conception de ces familles [Prasad, 1996]. Ces modes de conception génèrent de nombreuses modifications techniques en particulier dans les phases de développement.

2.2 Formalisation : qu'est ce qu'une modification technique ?

Une modification technique peut être considérée comme « une altération d'une configuration approuvée d'un objet relatif à un produit » [Norme 480B, 1988]. Un objet peut être un document ou un composant. Wright [Wright, 1997] définit ces modifications comme « la modification d'un composant d'un produit, dans sa phase de production », il aborde alors la gestion de ces modifications comme un problème de production et de stock. Pour notre part nous considérons les modifications d'un point de vue processus et nous ne nous focalisons donc pas sur une phase du cycle de vie en particulier.

Les raisons d'une modification technique sont souvent multiples, des travaux ont été réalisés dans leur classification [Hsu, 1996] mais seulement dans le domaine de la production aérienne militaire. Nous les avons complétées avec nos observations dans le domaine de l'aéronautique civile et de l'automobile :

- modifications dans les besoins et les spécifications : les besoins des clients évoluent au travers de l'identification de nouveaux attributs dépendant notamment de l'utilisation, des nouvelles offres de la concurrence, des nouvelles alliances avec les fournisseurs, nouvelles technologies, etc. Les spécifications peuvent également évoluer car elles ont été mal traduites précédemment,
- interactions entre programme ou projet : au sein d'une organisation, les programmes ou projets peuvent être fortement liés. Une modification technique dans un programme peut devenir le standard d'un futur programme mais aussi entraîner une modification sur les programmes antérieurs.
- besoin de pallier des déficiences,
- changements de technologies,
- changement de législation,
- changement dans la planification de projet : ces modifications peuvent faire suite à des demandes des clients ou à des contraintes internes.

Au contraire des causes, il est difficile de prévoir les conséquences d'une modification technique ; la plupart du temps ces modifications sont plutôt considérées comme une source de problèmes qu'une opportunité d'amélioration [Ring et Fricke, 1998]. S'il est difficile de prévoir et de quantifier ces conséquences il est possible de les classer :

- impacts sur les coûts,
- impacts sur le planning,
- impacts sur les performances du produit : si certaines modifications ont pour but premier d'améliorer les performances, certaines modifications sur le système de production ou de support peuvent avoir des conséquences néfastes,
- impacts sur les relations avec les membres de la chaîne de valeur,
- impacts sur d'autres programmes ou projets,
- générations de nouvelles modifications techniques : des évolutions apportées sur une fonction, un élément ou un sous-système spécifique peuvent se propager au travers leurs interfaces physiques ou leurs liens structurels.

2.3 Proposition

2.3.1 Un mode de gestion générique pour les modifications techniques

Nos analyses du terrain (aéronautique et automobile) nous ont permis d'identifier les trois grandes étapes d'une modification technique. Chacune d'elles peut être raffinée en activités représentées dans la figure IV.5. Cette validation réelle permet de valider l'aspect générique du modèle proposé, adapté tant à différents secteurs d'activité qu'à différentes structures organisationnelles. Néanmoins en pratique certaines activités sont difficiles à identifier car elles sont réalisées de manière concurrente et parfois de manière informelle. La première étape est celle de la demande de modification (ou Engineering Change Requests, ECR) qui doit être prise en compte. A la suite de cette initiation, une étude de pré-faisabilité est menée pour identifier les impacts potentiels. Un comité, constitué de membres représentant les différents métiers, doit alors évaluer les risques et coûts de cette

demande. Il s'agit de statuer de la pertinence de cette demande et d'informer les acteurs qui seront par la suite impliqués dans sa réalisation. Une demande acceptée devient une proposition (Engineering Change Proposal, ECP).

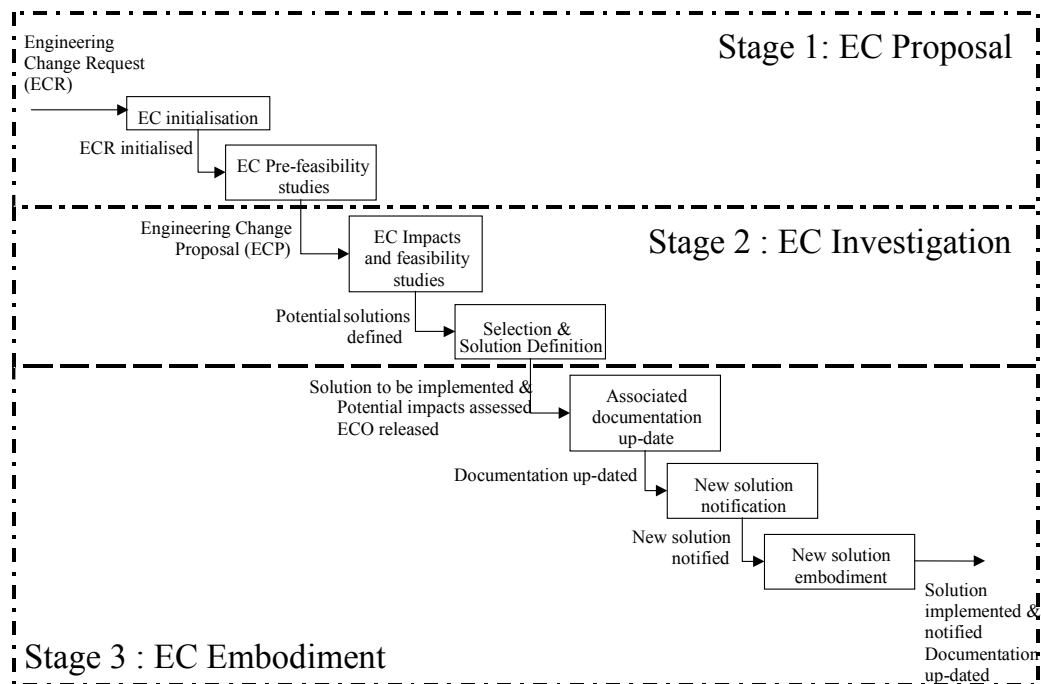


FIGURE IV.5 – Un processus générique de modification technique [BB.2003.1].

La deuxième étape est celle de l'identification des alternatives de solution et de la sélection de la plus adéquate.

La troisième étape est celle de l'implémentation et de la mise à jour de la documentation (plans, calculs, guide de maintenance, etc.). Une information aux personnes impactées doit également être réalisée.

2.3.2 Proposition d'indicateurs

Les indicateurs servent à mesurer des performances d'un processus afin de les comparer à des objectifs et ainsi le piloter. Une distinction doit être faite entre les mesures qui peuvent être faites lors de la réalisation du processus et celles qui ne sont possibles qu'ex-post (modification réalisée et mise en œuvre dans les produits). Pour les trois étapes décrites précédemment nous proposons un ensemble d'indicateurs (la figure IV.6 liste ceux de l'étape 1). Ils permettent de montrer le bénéfice (ou l'absence de bénéfice) d'une modification technique.

	EFFECTIVENESS	EFFICIENCY	FRONT-LOADING
Stage 1	1. ESTIMATED EFFECTIVENESS <u>Estimated product performances efficiency</u> Estimated product lead time	1. Throughput time 2. <u>Lead time</u> Scheduled lead time	1. Product life cycle phase where the change is detected
	<u>Estimated product performances efficiency</u> Actual product performances	3. Number of ECR related to the same problem	
	<u>Estimated cost efficiency</u> Processing costs	4. Costs of waiting time until the decision to proceed is taken	
	<u>Estimated product performances efficiency</u> Estimated number of activities impacted	5. Urgency	
		6. Number of elements impacted by ECR	
		7. Planned effectivity of a solution	

FIGURE IV.6 – Indicateurs de l'étape 1 [BB.2003.1].

2.4 Synthèse des résultats et perspectives

Notre analyse du processus de gestion des modifications techniques s'est appuyée sur une étude de terrain menée dans des entreprises du domaine de l'aéronautique et de l'automobile. Nous avons identifié les principales sources de modifications ainsi que leurs conséquences. Cette classification nous a permis de proposer un modèle de gestion générique. Les indicateurs proposés permettent d'évaluer les performances de ce modèle et de le piloter efficacement. Ces indicateurs sont la première brique d'un système de pilotage des modifications. Le pilotage permettra de mieux anticiper les ressources nécessaires à la gestion des modifications, de mieux contrôler les effets en cascade mais également de négocier avec les clients pour réduire les demandes de modifications et/ou pour répartir les coûts associés.

3 Gestion des capacités organisationnelles

3.1 Contexte : positionnement et définition

La compétence est définie comme l'aptitude d'un acteur à mettre en pratique un ensemble de connaissances et ressources dans un contexte spécifique pour atteindre des objectifs. La compétence peut être :

- individuelle, relative à un acteur élémentaire [Amherdt *et al.*, 2002],
- collective, pour une entité organisationnelle [Vaudelin, 2002], ou pour toute l'organisation [Sanchez *et al.*, 1996].

La compétence peut aussi être considérée selon :

- une vue processus, en définissant les compétences selon des processus qu'elles doivent permettre [Armistead, 1999]. La compétence est alors limitée à une « compétence technique » [Mac Clelland, 1973], et sa définition change en fonction de l'activité,

- une vue ressource, en définissant les compétences comme un capital de connaissances mise en œuvre pour maîtriser différents aspects d’une mission [Tarafdar et Gordon, 2007].

Pour gérer ces dimensions, différentes approches visent à développer les compétences localement ou de manière partagée :

- la qualification : c’est l’une des approches les plus anciennes des ressources. Elle s’appuie sur l’idée Fordienne qu’il existe une relation stable entre les compétences individuelles, la durée du service et le poste de travail [Houé *et al.*, 2006],
- l’approche basée sur les compétences individuelles : l’acteur est alors caractérisé par un ensemble de compétences possédées et mises en œuvre. L’évaluation n’est donc pas effectuée par comparaison d’activités et d’habilités à les réaliser [Zarifian, 2002],
- l’approche qualité : elle se concentre sur la justification des compétences pour déterminer si un département, une usine ou une organisation maîtrise son activité [Houé et Grabot, 2009].

Niveau / Point de vue	Processus	Ressource
Individuel	Qualification	Compétence individuelle
Collectif	Qualité	Capacité organisationnelle

FIGURE IV.7 – Approche de gestion des capacités [ee.2010.1].

Une approche centrée sur la gestion des compétences collectives selon une vue basée sur les ressources est manquante (Figure IV.7). Il s’agit de l’approche par les capacités organisationnelles, elle vise à développer des compétences collectives et partagées autour des objectifs de l’organisation, de manière à maintenir et améliorer la performance opérationnelle et la cohésion de l’organisation.

[Saint-Amant et Renard, 2009] définissent les capacités organisationnelles comme « un savoir-agir, un potentiel d’action qui résulte d’une combinaison et d’une coordination de ressources, de connaissances et de compétences, et qui peut s’exprimer au travers du flux de valeur, pour atteindre les objectifs stratégiques de l’organisation ». Cette définition identifie les spécificités des capacités organisationnelles.

La littérature ne propose pas de modèle de gestion de ces capacités organisationnelles, c’est ce vide que nous avons souhaité combler. A partir d’une analyse croisée de l’approche basée sur les compétences individuelles et de l’approche qualité nous identifions les éléments qu’il nous semble important de prendre en compte et proposons un modèle. Les résultats présentés ici ont fait l’objet de plusieurs publications [A.2012.1], [BB.2010.1] et [C.2009.2].

3.2 Formalisation : éléments du modèle de gestion

3.2.1 Éléments issus de l'approche basée sur les compétences individuelles

De nombreux modèles existent pour gérer les compétences individuelles : CRAI [Harzallah et Vernadat, 2002], sarC [Boucher, 2003], le modèle Systémique de la Compétence (CSM) [Boumane *et al.*, 2006], le cadre étendu des compétences [Houé *et al.*, 2006], UECML [Pépiot *et al.*, 1974]... Certains concepts et relations sont partagés par tous ces travaux et peuvent être utilisés pour modéliser la compétence spécifique qu'est la capacité organisationnelle.

Principaux objets de modélisation :

- entité (Acteur) : il s'agit de l'entité (un individu, une équipe ou une usine à un niveau collectif) qui produit des résultats en réalisant des activités et en mettant en pratique les compétences acquises,
- mission : c'est la fonction de l'entité,
- aspect : ce concept définit le domaine de connaissance/fonctionnel couvert par la mission,
- connaissance et ressources environnementales : les éléments sur lesquels l'entité agit pour construire et utiliser une compétence,
- situation : cette notion prend en compte le contexte.

Principales relations :

- lien requis /acquis : cette relation est utilisée pour évaluer la compétence en observant l'adéquation entre ce que l'entité acquiert et ce que la mission requiert,
- lien entre activité et résultat : le concept de résultat est statique : c'est le produit de l'activité.

Nous utiliserons ces concepts et liens issus de l'approche basée sur les compétences individuelles pour la modélisation de la capacité organisationnelle

3.2.2 Éléments issus de l'approche qualité

L'approche qualité est basée sur la création et le déploiement de bibliothèques de bonnes pratiques. Des modèles orientés process, des concepts peuvent être identifiés pour enrichir le modèle des capacités organisationnelles.

Principaux objets de modélisation :

- objectifs opérationnel et fonctionnel,
- domaines de connaissances et domaines de processus.

Principales relations :

- décomposition des objectifs : la mission est décomposée en principes généraux puis spécifiques,
- principes de conception axiomatique : la structure des guides qualité (ISO) ou les modèles de maturité (CMMI par exemple) différencient et lient les exigences de l'organisation et les pratiques, selon une démarche analogue à la conception axiomatique [Suh, 2001].

3.3 Proposition : modèle de capacité organisationnelle : C-makers

3.3.1 Modélisation des capacités organisationnelles

La figure IV.8 représente le modèle proposé [A.2012.1]. UML a été choisi pour permettre un développement facilité.

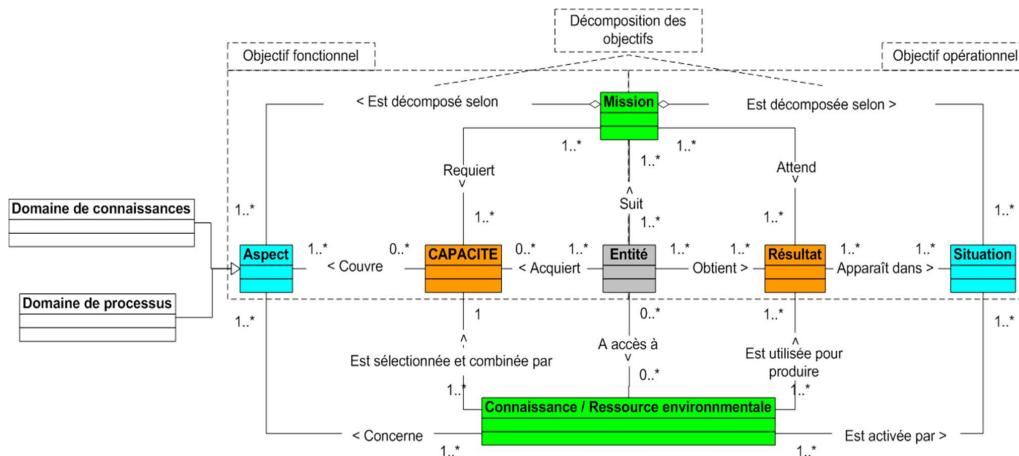


FIGURE IV.8 – Proposition d'un modèle conceptuel de capacité : le C-makers [A.2012.1].

Ce modèle s'appuie sur un ensemble de symétries :

- entre potentiel et résultat (boîtes oranges : “Capacité” et “Résultat”),
- entre aspect métier (exigence formelle) et situation opérationnelle (réalisation pratique) (boîtes bleues : “Aspect” et “Situation”),
- entre mission et moyen (boîtes vertes : “Mission” et “Connaissance / Ressource environnementale”).

L'entité suit une mission, c'est-à-dire qu'elle doit acquérir les capacités requises par les aspects de cette mission (objectifs fonctionnels), ainsi que les résultats attendus par la mission dans une situation donnée (objectifs opérationnels). Pour cela, l'entité a accès à des connaissances et des ressources. Ces dernières peuvent être ou non activées. Elles sont d'autre part sélectionnées et combinées par les capacités acquises par l'entité, afin de mobiliser ces connaissances et ces ressources dans l'obtention des résultats attendus par la mission. De plus, ces connaissances et ces ressources sont liées à des aspects, qui peuvent être des domaines de connaissances ou des domaines de processus. Par ailleurs, les boîtes bleues (sur les extrémités gauche et droite du schéma) soulignent la dichotomie entre le travail pratique et le travail formel. Les boîtes oranges différencient performance potentielle (ou causale) et performance réelle (conséquentielle). Les boîtes vertes sont les éléments de la « fonction » et de la « structure » de la conception axiomatique de la capacité.

La section suivante cherche à ajouter des éléments dynamiques qui permettent de considérer la capacité selon un point de vue plus « apprentissage » et « gestion ».

3.3.2 Modes de management : modes et cadre global

L'évaluation est généralement basée sur les différences existant entre capacités acquises et requises. Néanmoins il n'est pas toujours facile de garantir que l'objectif en terme de capacité représente les réels besoins, ni que les bonnes pratiques sont nécessaires et suffisantes pour la mesure de l'acquisition des capacités.

De plus, le système de mesure peut lui-même engendrer des biais : tous les efforts de l'organisation peuvent être dirigés vers la production de « preuves », sans que la capacité ne soit mise en œuvre.

L'évaluation des capacités (écart acquis/requis) et celle des résultats associés (écart attendu/obtenu) doivent donc être croisées (cf. IV.9).

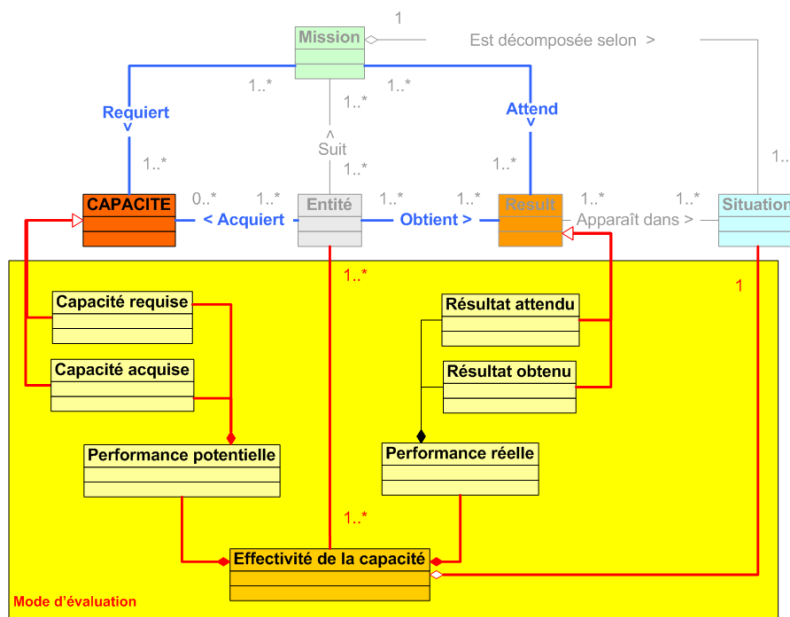


FIGURE IV.9 – Evaluation des capacités [A.2012.1].

Comme souligné par la figure IV.10, il est nécessaire d'avoir :

- un support à la simple boucle : la capacité doit être modélisée pour structurer et capitaliser les bonnes pratiques (communication “one-to-many”),
- un support à la double boucle : un système de feedback (communication “many-to-one”) pour identifier les problèmes et les opportunités,
- un support à la triple boucle : des communautés de pratique (communication “many-to-many”).

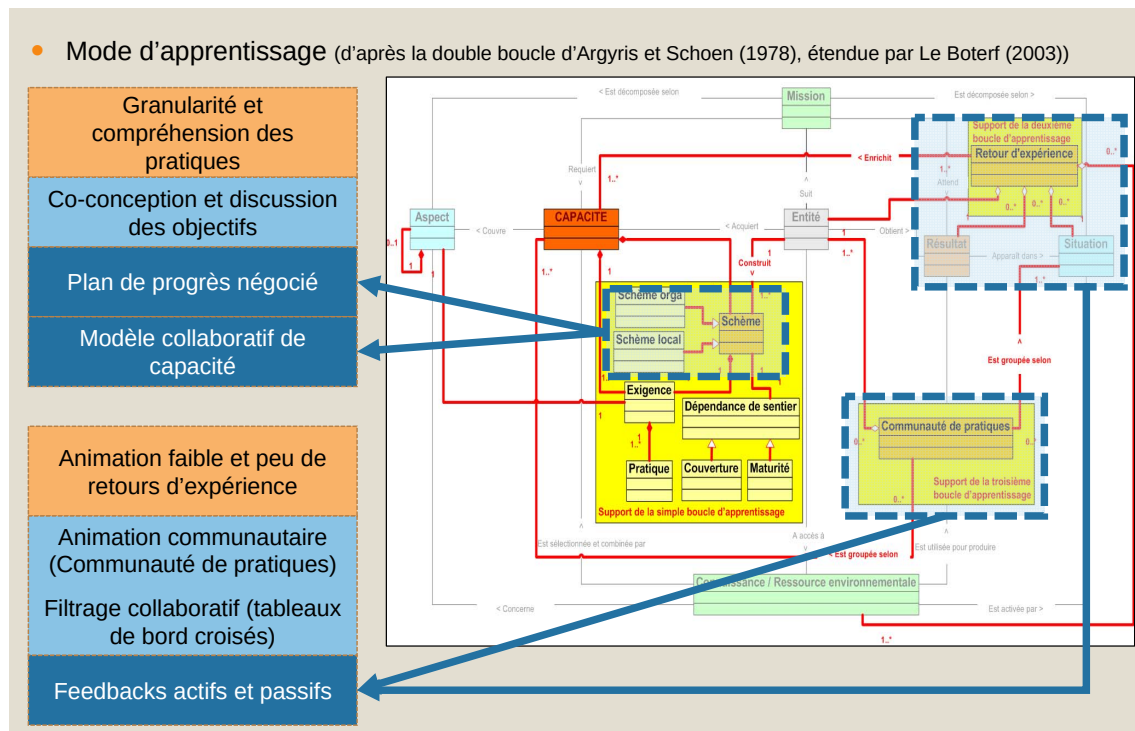


FIGURE IV.10 – Triple boucle d'apprentissage : interaction many-to-one, one-to-many et many-to-many [ee.2010.1].

3.4 Validation : développement d'une plateforme et son usage dans le contexte de Valéo

3.4.1 Plateforme de roadmapping

Le roadmapping de management [Monomakhoff et Blanc, 2008] est supporté par un outil formel, la roadmap, et un software. Il est utilisé pour le transfert de bonnes pratiques, l'intégration de nouvelles entités, l'évaluation locale et globale des capacités organisationnelles.

La roadmap est un support à la première boucle d'apprentissage. Les aspects sont ici décomposés en leviers d'action, ils détaillent les inducteurs. La capacité peut alors être gérée grâce à une matrice (Figure IV.11), dans laquelle les capacités sont décomposées en exigences qui sont l'intersection entre un levier d'action et un niveau de maturité. Chaque exigence est décomposée en livrables qui sont les preuves garantissant que la capacité est acquise. L'évaluation des résultats n'est donc pas intégrée, seules les différences « requis/acquis » sont prises en compte.

Nom de la Roadmap: Amélioration de l'accueil du public		Niveau 1	Niveau 2	Niveau 3	Niveau 4	Niveau 5
		Structurer	Traduire	Etablir	Progresser	S'améliorer
		Les engagements sont définis	Les documents et outils sont diffusés et connus	Les pratiques sont harmonisées	La qualité de l'accueil est mesurée et optimisée	L'accueil du public est orienté performance
Thèmes	Leviers d'action	Exigences et livrables				
Organisation	Locaux	L'état des lieux et les besoins en aménagement sont définis	Un système de signalisation est mis en place	Les aménagements sont conformes et utilisés	Des outils supplémentaires sont mis en place	La satisfaction client est mesurable
	Contrôle	La mesure de satisfaction client est utilisée	Une vérification de la connaissance des outils est mise en place	Livrables : • 2 zones d'accueil sont disponibles • L'aménagement des zones d'accueil est conforme	Un système de mesure des objectifs fixés est établi	Les contrôles servent à améliorer la satisfaction du client
RH	Formation	Un plan de formation est défini	La sensibilisation des employés est prévue		Les employés ont acteurs de la formation	Les formations fonctionnent en interne
	...					

FIGURE IV.11 – Exemple de roadmap [BB.2010.2].

Une plateforme full-web, développée par MNM-Consulting, a été déployée sur l'ensemble du groupe Valéo (50 capacités organisationnelles, 6 réseaux fonctionnels, 120 sites). Le roadmapping a permis de capitaliser et de rendre opérationnel des bibliothèques de bonnes pratiques, d'intégrer rapidement les nouveaux éléments et de contrôler l'excellence opérationnelle et la cohésion organisationnelle [Fall, 2008].

Dans ce contexte la pertinence de cet outil pour l'évaluation de la « bonne santé » des entités, via l'évaluation des écarts « requis/acquis » et la mise en place d'une double boucle d'apprentissage, a été démontrée. Néanmoins des problèmes ont été identifiés [C.2009.2], [Fall et Rauffet, 2008] sur l'implication des personnels et leur participation aux feedbacks. il est donc nécessaire de renforcer cette double boucle (communication ascendante “many-to-one”) et de créer une troisième boucle (collaboration horizontale “many-to-many”).

3.4.2 Module pour l'analyse d'impacts et la détection des CoPs

Les deux limites identifiées du roadmapping sont :

1. une évaluation des capacités ne considérant que les liens « requis/acquis » sans prise en compte des effets de la capacité sur les performances,
2. une deuxième boucle défaillante, causée par le manque de participation des opérationnels dans les feedbacks.

Pour dépasser ces limites un module additionnel a été conçu. Un démonstrateur a été développé pour validation. Il permet :

- une analyse d'impact : en croisant l'évaluation des capacités et celle des résultats à l'aide de méthodes statistiques [BB.2010.1]. L'analyse de l'impact des capacités sur les performances réelles, est un moyen de détecter si une roadmap modélise correctement une capacité sans effets secondaires négatifs.
- une identification des facteurs formels et contextuels : en enrichissant les feedbacks

(deuxième boucle d'apprentissage) par de l'information passive, notamment la détection des entités en sous- ou sur-performances ;

- une recherche et création de communautés de pratiques : l'analyse précédente permet de grouper des entités selon des filtres (performances, propriétés...) et créer ainsi une vraie triple boucle.

3.5 Synthèse des résultats et perspectives

Le modèle C-makers a été construit pour gérer les capacités organisationnelles, les mécanismes dynamiques d'évaluation et la triple boucle d'apprentissage permettent de définir un vrai cadre de gestion que l'on peut opérationnaliser.

Dans le contexte du projet ANR Pilot 2.0 (cf. 107) ces outils ont été testés au sein du groupe Valéo.

4 Identification et mesure des écarts

4.1 Contexte : limites du modèle d'analyse causale

La gestion des capacités organisationnelles s'appuie sur deux phases principales : tout d'abord la conception du référentiel puis le transfert des bonnes pratiques. La réalisation de ces deux étapes peut s'effectuer avec des erreurs qui causeront des écarts entre les performances attendues et les performances réellement atteintes.

4.2 Formalisation

4.2.1 Ecart

Afin de définir des outils de contrôle des écarts, nous en avons tout d'abord établi une typologie.

Ecart lié à la conception

– écart dû à la structure des ressources :

c'est un écart généré par une structure de ressource non-adaptée (trop de niveaux, pas assez de hiérarchie,...).

– écart dû à la structure des pratiques :

c'est un écart généré par un chemin d'apprentissage non adapté : les livrables peuvent être insuffisants ou mal ordonnancés.

Ecart lié au transfert

– écart lors de la contextualisation des ressources :

c'est un écart généré par une discordance entre les ressources du contexte d'application et les ressources modélisées (par exemple des ressources peuvent être absentes sur le terrain). Si cet écart est présent dans toutes les entités, il s'agit d'un écart lié à la conception.

– écart lors de la contextualisation des pratiques :

c'est un écart généré par une discordance entre les pratiques nécessaires dans le contexte et les pratiques modélisées (par exemple des pratiques de gestion des stocks de produits finis dans un site qui ne fait que de la conception). Si cet écart est présent dans toutes les entités, il s'agit d'un écart lié à la conception.

– écart lors de l'évaluation :

c'est un écart généré lors de l'évaluation des capacités organisationnelles.

4.2.2 Hypothèses

Afin de mesurer les écarts formalisés précédemment nous avons formulé des hypothèses. Celles-ci proviennent de l'analyse de la structure des capacités organisationnelles décrite dans la section 3.

1. Evaluation basée sur l'acquisition des pratiques : une capacité peut être évaluée au travers de la mesure de l'acquisition des connaissances et pratiques par les entités,
2. causalité : il y a un lien de causalité entre les capacités (ce que les entités sont capables de faire) et les résultats (ce que l'organisation fait réellement). Cette hypothèse est temporelle, il peut y avoir un décalage entre l'acquisition des pratiques et l'amélioration des performances,
3. équivalence : à un niveau de capacité correspond un niveau de performance, des entités possédant les mêmes capacités doivent donc avoir des performance similaires,
4. présence de facteurs contextuels et formels : des écarts existent et la méthodologie d'évaluation doit les prendre en compte.

4.3 Proposition : méthode et outils pour la détection d'écarts

4.3.1 Proposition d'une méthode

La méthodologie est représentée dans la figure IV.12. Les étapes sont les suivantes :

1. analyse d'impact des capacités organisationnelles sur la performance,
2. identification des écarts,
3. minimisation de leur impact,
4. agrégation et consolidation de l'évaluation.

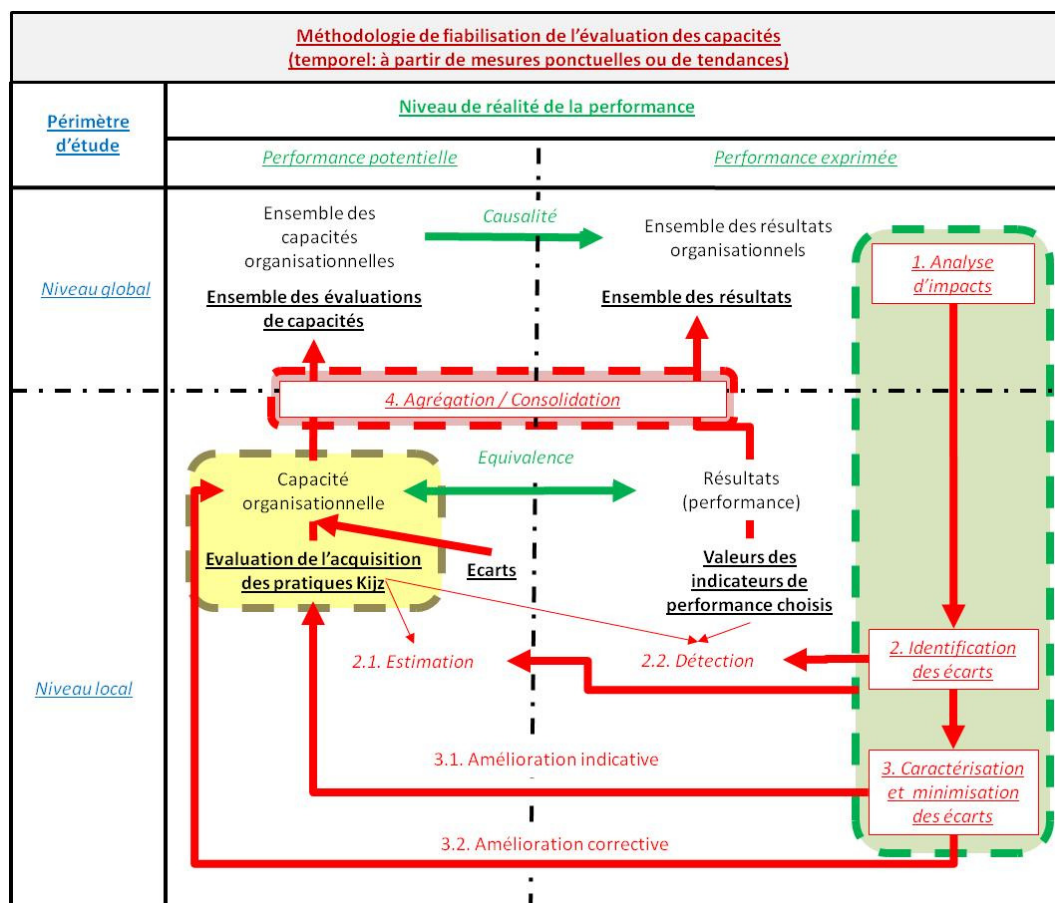


FIGURE IV.12 – Méthodologie pour fiabiliser l'évaluation des capacités organisationnelles [ee.2010.1].

4.3.2 Développement d'outils

Les écarts peuvent être détectés (étapes 1 à 3) :

- par estimation, en observant la vitesse d'apprentissage,
- ou par détection, en comparant les résultats de l'acquisition des capacités aux performances.

Cette détection doit être outillée afin de gérer facilement un nombre important d'entités.

Outils pour l'analyse d'impact - Etape 1

Une analyse statistique peut déterminer l'impact des capacités organisationnelles sur les performances.

Outils pour l'étude des écarts - Etape 2

Une analyse d'impact permet également d'identifier des écarts. Une analyse globale, sur l'ensemble des entités, permet d'identifier des effets « cachés » des capacités (ceux-ci peuvent être positifs ou négatifs) et de détecter des écarts liés à la conception. Une analyse

pour une unique entité comparée à l'ensemble des autres entités permet de détecter des erreurs de transfert. Celles-ci sont détectées à un instant donné en appliquant l'hypothèse d'équivalence décrite dans la section précédente.

Par ailleurs un suivi temporel permet d'identifier les entités ne respectant pas l'hypothèse de causalité (existence d'une bijection par intervalle entre capacité et performance).

Le module décrit en section 3.4.2 permet de mettre en œuvre cette étape. Les résultats donnés par ces outils requièrent l'interprétation d'un expert.

Outils pour la minimisation des impacts des écarts - Etape 3

Une fois que les écarts sont détectés et mesurés avec les outils précédents, il faut en comprendre les causes. Pour cela deux voies sont à privilégier :

- la recherche de facteurs liés à la modélisation,
- la recherche de facteurs environnement.

Pour cela les communautés de pratiques sont un bon outil ; ces groupes informels qui partagent des caractéristiques peuvent ensemble faire détecter de nouvelles bonnes pratiques.

4.4 Synthèse des résultats et perspectives

Les trois premières étapes de la méthodologie fiabilisent l'évaluation des capacités organisationnelles. Cette évaluation, réinjectée dans l'étape de consolidation/agrégation, permettra l'amélioration du processus d'évaluation lui-même et permettra un diagnostic de l'organisation. Ce diagnostic sera la base d'une stratégie d'entreprise efficace ou les potentiels de l'entreprise (l'acquisition de connaissance, la synergie des ressources et finalement les capacités organisationnelles) sont utilisés.

Pour cet axe de recherche, les méthodes de « création » d'information à partir d'information partielle mises en œuvre sont notamment issues du rapprochement d'éléments (individus/sites), cœur de la démarche méthodologique présentée dans la section 4.3.1.

Les perspectives de ce travail sont de deux types : automatisation de certaines méthodes (identification de la vitesse d'apprentissage) et tests des méthodes déjà développées.

5 Conclusion

Avec cet axe de recherche sur la mise en œuvre et le pilotage, nous voulions aborder l'aspect dynamique de la diversité des produits et de la personnalisation de masse. Nous avons proposé des outils et méthodes que l'on souhaitait pragmatiques. En effet cet aspect de notre travail est, encore plus que les précédents, à destination du monde industriel. Les validations académiques obtenues sont ainsi renforcées par l'usage de nos propositions sur le terrain.

Chapitre V

Conclusion et perspectives

Ce document présente synthétiquement mes différentes activités scientifiques des dix dernières années. Ces activités créent un chemin vers l'élaboration d'une "boîte à outils" pour la mise en place de la personnalisation de masse. Ces outils sont de plusieurs types : outils de modélisation, outils d'analyse, outils d'aide à la décision et outils de pilotage.

Le processus de construction de ces méthodes a été suivi d'un processus de validation. Dans un premier temps des exemples académiques ont été utilisés, mais il s'agit de proposer des méthodes résistant aux dimensions des réalités industrielles qui sont multi-produits, multi-clients, multi-ordres d'achat, multi-périodes et multi-réseaux organisationnels. Une phase indispensable est la validation sur des instances réelles, qui a déjà été initiée sur plusieurs aspects des recherches présentées ici. Ces problèmes réels issus de partenariats industriels sont un premier pas vers le transfert des résultats obtenus. La diffusion de ces résultats est réalisée au travers de publications dans des revues ou des conférences internationales mais aussi dans l'échange plus informel des projets inter-laboratoires. Les perspectives de recherches sont nombreuses tant au niveau académique qu'au niveau industriel, l'orientation de la suite de mes travaux est décrite dans les paragraphes qui suivent.

1 Perspectives

Pour moi, un programme de recherche n'a de sens que parce qu'il permet à un chercheur d'aborder des thématiques qui lui tiennent à cœur. Il ne s'agit donc pas (ou pas seulement) d'identifier les points bloquants dans un domaine de recherche mais bien de trouver comment l'expertise acquise en tant que chercheur peut être mise à profit pour aborder des questions qui l'intéressent ou l'inquiètent en tant qu'être humain. Je vais donc dans cette partie parler beaucoup de moi.

En tant qu'être humain je suis particulièrement sensible aux modifications des comportements induits par la consommation de masse. La Société de consommation actuelle n'est pas un environnement dans lequel je m'épanouis et en particulier parce que :

- je n'y trouve toujours pas les produits ou les services pour satisfaire mes attentes (par exemple, ne faisant pas partie des 70percentiles je ne trouve pas de pantalon à ma taille

en magasin),

- je ne suis pas d'accord avec la notion d'obsolescence programmée (pourquoi changer de téléphone portable si l'ancien fonctionne encore ?),
- je ne suis pas d'accord avec la “vente forcée” d'options (pourquoi suis-je obligée d'avoir un appareil photo dans mon téléphone ?),
- je ne suis pas d'accord avec l'alignement de la satisfaction des besoins avec la possession/la propriété (pourquoi avoir une voiture si en louer une de temps en temps est suffisant ?).

Lors des présentations sur la personnalisation de masse, j'ai souvent vu mis en exergue la citation suivante : "It is not the strongest of the species that survives, nor the most intelligent that survives. It is the one that is the most adaptable to change." Cette phrase de Leon C. Megginson est souvent utilisée pour étayer l'évolution obligée des entreprises, leur mutation vers la personnalisation de masse. Pour ma part, je pense qu'elle s'applique aussi au consommateur. Ainsi pour survivre, le consommateur doit prendre en compte les changements suivants :

- l'appartenance à deux populations : les consommateurs et les producteurs,
- l'augmentation de la population de l'espèce,
- la raréfaction des ressources,
- l'augmentation des conditions d'usage (vieillesse de la population, élargissement des répartitions anthropomorphiques).

Je crois que ces problèmes sont la transcription à un niveau individuel de problématiques liées aux modes de production/consommation actuels et peuvent en partie être limités voire résolus par une mise en œuvre maîtrisée de la personnalisation de masse. Mais cela n'est possible qu'en répondant aux verrous scientifiques suivants.

2 Prise en compte des aspects durables

2.1 Etude générique : développement d'outils de mesure et de simulation

La durabilité est un concept qui a été mis en avant pour évaluer la longévité d'un système. Le développement durable permet de répondre aux besoins actuels sans compromettre la capacité future de répondre aux besoins [World Commission on Environment and Development, 1987], il prend en compte trois aspects : économique, social et environnemental.

Les premiers résultats du projet S-MC-S montrent que personnalisation de masse et durabilité ne sont pas incompatibles, leurs inducteurs de performances partagés ayant la même “direction” d'impact (les évolutions d'inducteurs améliorant la durabilité ne dégradant pas la personnalisation et réciproquement) [C.2012.1], figure V.1.

	Enablers category	Enabler: level 1	Enablers: level 2	Impact on Mass customization	Impact on Sustainability
Mass customization enablers	Processes and methodologies	Agile manufacturing	Processes Flexibility	+	+
			Supply chain flexibility		
		Supply chain management	Coordination	+	+
		Customer involvement	Customer co-design	+	+/-
			Customer co-manufacture	+	+/-
			Additional custom work	+	+/-
			Additional features	+	+/-
		Lean manufacturing	Waste elimination	+	+
			Cost reduction	+	+
			Lead time reduction	+	+
		Modular production	Standard components	+	+
	Technologies	AMTs	AMTs	+	+/-
Sustainability enablers	Processes and methodologies	Design for sustainability (Green design)	Design sustainable product	+/-	+
			Design sustainable processes	+/-	+
			Select sustainable suppliers	+/-	+
		Sustainable manufacturing	Reduce emissions	X	+
			Reduce energy consumption	+	+
		Reverse logistics	Manage reverse flows	+	+
		Waste management	Recycling	+/-	+
			Eliminate wastes	+	+
		Agility	Supply chain flexibility	+	+
		Responsiveness	Responsiveness	+	+
		Cost reduction	Cost reduction	+	+
		Reliability	Delivery reliability	+	+
		Labour management	Ensure acceptable conditions	X	+
		Social development	Ensure social development	X	+
	Technologies	Green, affordable and secure Technologies	Green, affordable and secure Technologies	+	+

FIGURE V.1 – Compatibilités des inducteurs de personnalisation et de durabilité [C.2012.1].

Le concept de durabilité ne peut que sembler intéressant, néanmoins il souffre d'un fort handicap : sa mesure est difficile tant a priori qu'a posteriori. Un enjeu de développement sociétal est donc l'outillage de la durabilité.

Cet axe de recherche est déjà fortement initié avec la participation au projet S-MC-S et la thèse de Khaled MEDINI [e.2013.1] : un ensemble d'indicateurs (portant sur les trois volets de la durabilité ainsi que sur la personnalisation de masse) a été défini, exprimé et relié avec les décisions de conception (aux trois niveaux : produit, processus de production, chaîne de valeur), figure V.2. Les futurs travaux devront permettre de les conforter et renforcer la confrontation à la réalité du terrain.

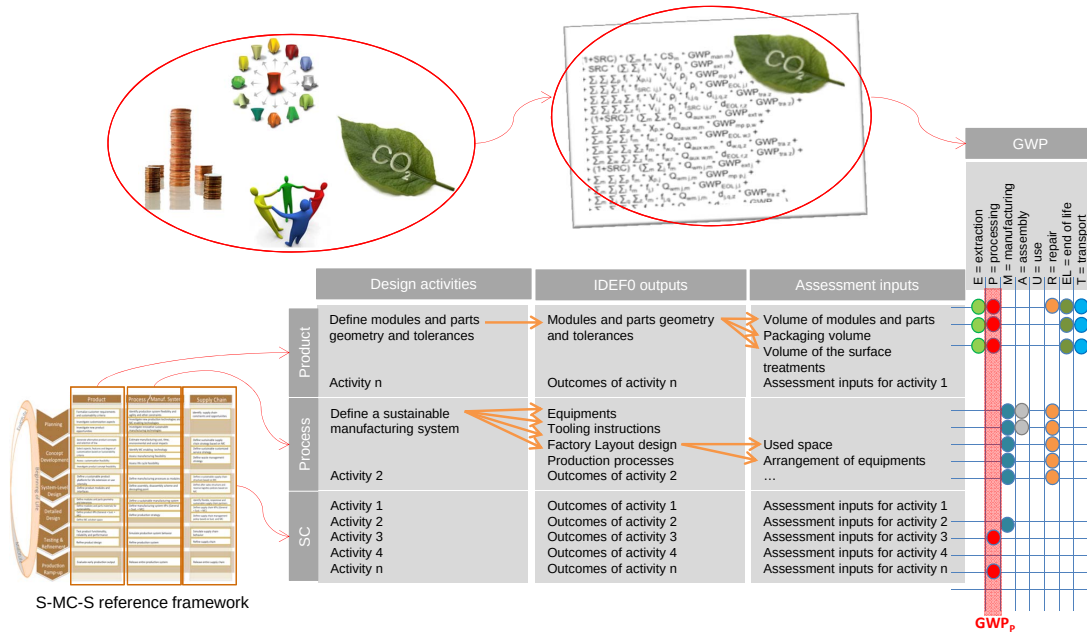


FIGURE V.2 – Extrait du modèle d'évaluation développé dans le projet S-MC-S.

Les principaux jalons du travail restant à mener sont les suivants :

- extension de l'expression des liens entre inducteurs et indicateurs de performance,
- création de configurations alternatives (sur les trois niveaux de décisions),
- simulation/optimisation des configurations.

Il s'agit de mieux mettre en lumière les liens causaux et d'exprimer les relations, entre inducteurs et indicateurs. Une première étape sera l'analyse des données passées d'entreprises partenaires en utilisant notamment les outils de fouille de données. Puis nous utiliserons les outils de la dynamique des systèmes pour la simulation [Forrester, 1971]. Nous comparerons cette approche à la simulation par événements discrets, utilisée jusqu'à maintenant, pour intégrer les boucles de rétroaction. Par la suite les systèmes par agents pourront être également utilisés afin d'intégrer les "objets" actifs (humains, stocks, produits...) ayant des propriétés de comportement individuel (cette direction a déjà été initiée avec la réalisation d'un démonstrateur à taille réduite [e.2013.1]). Une évolution à considérer pourra être le couplage de plusieurs sous-modèles utilisant différentes approches de simulation, ce qui permettra de concilier leurs différents avantages et limitations [Schieritz et Grosler, 2003].

Les applications espérées sont des outils de simulation utilisables lors de la conception de l'offre produit mais aussi de celle du réseaux de fournisseurs, permettant aux entreprises d'évaluer différentes configurations alternatives.

2.2 Ouverture vers les modèles économiques

Il s'agit de prendre en compte les aspects économique et social de la durabilité. Ces volets permettent d'aborder la question de la double appartenance (producteur/consommateur) : un modèle économique n'est durable que s'il ne met pas en danger son marché. Typiquement, la prise en compte au niveau microscopique de l'entreprise des conditions de travail permet de s'assurer au niveau macroscopique d'une population de consommateurs en condition satisfaisante pour consommer mais aussi avec le pouvoir économique de le faire. Il s'agit donc d'intégrer les parties prenantes dans l'évaluation voire dans la prise de décision (figure V.3).

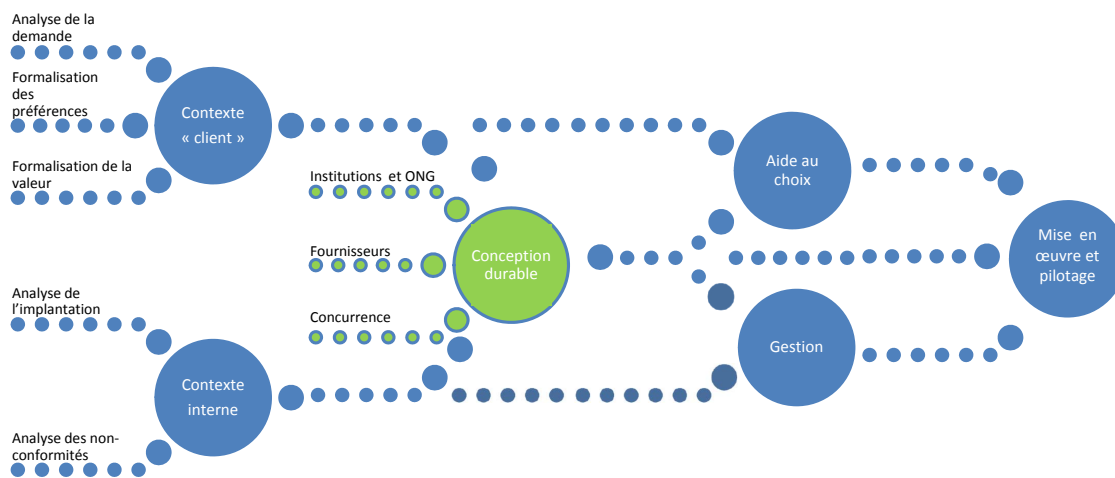


FIGURE V.3 – Intégration des parties prenantes lors de la conception.

Ce travail a été initié avec la thèse de Victor VERGARA [e.2009.1], sur la modélisation de l'intégration verticale mais doit aller plus loin dans la modélisation et la simulation des enjeux et comportements économiques. Ainsi je pense qu'il faudra s'intéresser notamment au lien avec la théorie des jeux et la théorie des contrats. Ce domaine ne m'est pas familier c'est pourquoi j'ai commencé une collaboration directe avec Joe MIEMCZYK. Ce collègue d'Audencia s'intéresse aux problématiques d'achat durable et responsable. L'étude de l'impact des modalités de contractualisation sur la performance (en terme de durabilité et de personnalisation) est le premier thème que nous aborderons ensemble. L'ambition est de déterminer quelles sont les répartitions des responsabilités et des bénéfices qui permettent une mise en œuvre pérenne.

En terme méthodologique, la démarche sera articulée autour d'une confrontation entre le terrain, des entreprises en activité, et l'"éprouvette", dans notre cas la simulation. Les étapes envisagées sont les suivantes :

- recueil des pratiques réelles d'un ensemble d'entreprises : types de contrats utilisés et bénéfices,

- modélisation et simulation des échanges entre les entreprises,
- identification de contrats plus performants en théorie,
- confrontation des résultats théoriques au terrain.

L'une des principales difficultés tant à la récolte de données du terrain qu'à la simulation est la "cohabitation" à un instant donné d'un grand nombre de contrats au sein d'une même entreprise. Ceux-ci gèrent les relations avec les fournisseurs et les clients. Afin d'intégrer également l'impact des institutions et des ONG, il faudra étendre ce terme de contrat pour inclure les diverses normes, lois, préconisations qui régissent la répartition d'amende ou de bonus. Ces cadres législatifs ne sont généralement pas considérés comme négociables par les entreprises, néanmoins ils évoluent souvent sous l'impulsion de suggestions/lobbying de groupes professionnels et ne doivent pas être négligés. Les attentes de cette recherche sont :

1. un panorama des contrats utilisés dans le contexte de la personnalisation de masse,
2. une modélisation des comportements qu'ils induisent,
3. des préconisations pour le choix des contrats,
4. des éventuelles préconisations pour l'évolution des cadres législatifs notamment au niveau local (communes).

2.3 Prise en compte des attentes et de la stratégie du client

Il s'agit ici de mieux comprendre quels sont les usages des biens et services souhaités pour mieux les satisfaire. Je pense qu'un produit qui comble parfaitement les attentes d'un client sera conservé plus longtemps qu'un autre (sans parler bien sûr de la notion affective qui peut émerger de l'acte même de personnalisation). Par ailleurs un produit personnalisé bien "pensé" peut permettre de remplacer deux (ou plus) produits de masse. Cela participera donc à la diminution de la "vente forcée" mais aussi à une meilleure gestion des ressources. Les axes de recherche sont l'intensification d'extraction de connaissance des besoins du client mais aussi l'amélioration de l'aide au choix. De plus, les informations recueillies lors de l'aide au choix devront également être utilisées. L'information liée au rejet d'une préconisation d'un produit doit être intégrée.

1- Intensification de l'extraction des connaissances

Une première étape est l'augmentation des sources de connaissance sur les clients. On ne peut plus aujourd'hui ignorer l'ampleur des réseaux sociaux. Ils représentent une source inépuisable car toujours renouvelée d'avis de consommateurs sur des produits, des services, des marques, etc. C'est cette masse d'information peu structurée qu'il faut fouiller. Ainsi l'information extraite complétera celle issue des tests [Marwick et Boyd, 2011]. En effet, si cette procédure a des avantages elle a aussi des inconvénients. Notamment, la mise en situation de « test » peut influencer les réactions des utilisateurs [Groenland et Schoormans, 1994]. Si les clients sont à l'origine de l'expression d'un avis, et non en réponse à une question posée (cas des tweets par exemple), les informations sont plus incomplètes mais plus spontanées. Un axe de recherche est le recueil les données issues des tweets (avec géolocalisation) et de déterminer des méthodes d'enrichissement qui permettraient de se

passer des tests. Une collaboration avec Conrad Tucker (Professeur assistant à PennState U.) est envisagée.

2- Amélioration de l'aide au choix

Plus les consommateurs sont hétérogènes, plus l'utilité des produits personnalisés est importante [Salvador *et al.*, 2009]. Par ailleurs cette caractéristique s'étend aux services associés au produit, y compris l'action de configuration. Par exemple, un enjeu économique fort est la réduction du temps nécessaire à la configuration. L'action de configuration est en effet trop souvent standard et l'expérience du client, qui voit se succéder les écrans de choix sans voir apparaître le produit souhaité, peut être ressentie comme frustrante et mener à un abandon avant l'achat [Huffman et Kahn, 1998].

Je pense continuer les recherches initiées avec la thèse d'Ines JOMAA [e.2013.2] car des informations sur les comportements passés doivent être intégrées aux configurateurs. Par exemple, un axe peut être la recherche a priori des caractéristiques segmentantes notamment pour jouer sur l'ordre des questions dans les configurateurs.

2.4 Remise en cause de la diversité et ouverture vers les services

De manière contre intuitive, la réduction de l'offre peut augmenter la satisfaction du client. Ainsi Aguirre et Espinosa (2004) [Aguirre et Paz Espinosa, 2004] montrent que pour certaines fonctions de prix, les clients ne choisissent pas leurs produits préférés mais des plus standards. Ces résultats confortent le **Principe de différenciation minimale** d'Hotelling [Hotelling, 1929] et posent la question du choix des caractéristiques à différencier ou à standardiser pour permettre d'améliorer la valeur perçue par le client. Cette question m'intéresse beaucoup, d'autant plus qu'elle implique de traiter globalement les produits proposés à la vente, tant au niveau des fonctionnalités du bien que des services associés.

Dans la plupart des pays industrialisés la part des services dans l'offre a augmenté ces dernières années, figure V.4¹. Cette évolution a renforcé la place de l'économie de fonctionnalité (Product-Service System en anglais). Celle-ci est définie comme "un ensemble de produits et services commercialisables capable conjointement de satisfaire les besoins d'un utilisateur"[Goedkoop *et al.*, 1999]. Ce domaine de recherche est notamment l'objet d'étude du groupe *IPS*² du CIRP(College International pour la Recherche en Production).

1. European Commission, DG Enterprise and Industries (2011), forthcoming European, Competitiveness Report 2011.

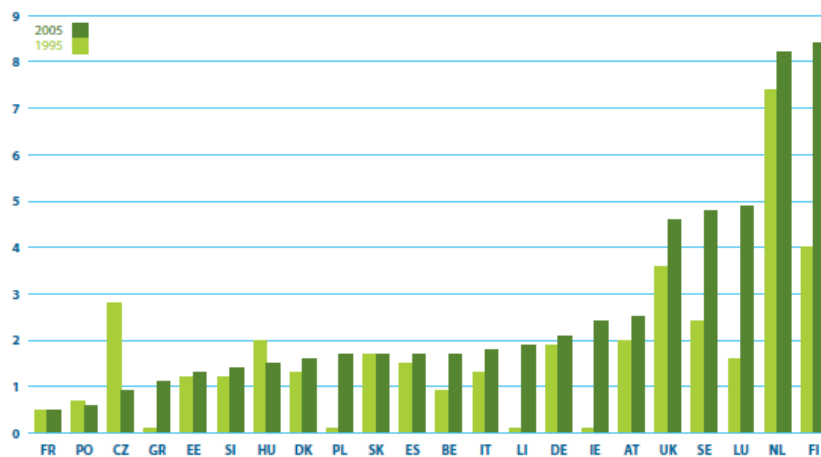


FIGURE V.4 – Part des services dans l’offre commerciale.

Jusqu’à maintenant je me suis beaucoup centrée sur l’étude des systèmes manufacturiers, l’étude des services est donc un champ de recherche que je veux davantage étudier car je pense que la dématérialisation est une vraie voie vers la durabilité. Citons par exemple, les offres de vélos ou de voitures en location libre-service pour de très courtes durées dans les grandes villes.

Dans ce cadre, la thèse de Yacine BOUALLOUCHE [e.2015.1] me permettra d’aborder les verrous scientifiques que sont l’identification des particularités de la valeur associée à un service et des leviers sur l’amélioration des performances perçues. Par ailleurs le contexte lié aux administrations sera aussi l’occasion d’identifier le rôle des institutions dans ce passage vers une industrie de service durable. Les indicateurs économiques tendent même à démontrer que le passage vers une industrie de service fragilise l’équilibre économique des entreprises (surtout les PME) [Neely, 2009]. Les résultats escomptés pourront donc là encore prendre la forme de préconisations aux acteurs institutionnels.

3 Cadre institutionnel

Mes ambitions sont donc multiples : continuer à travailler sur les performances de la personnalisation de masse et identifier les éventuelles limites à la performance de la diversité. L’ordre de présentation de ces thèmes ne présume pas de liens de précédence. L’ordre dans lequel ils seront traités n’est pas encore défini. En effet les orientations de recherche sont plus que jamais liées aux possibilités de financement. De ce point de vue il est important de veiller à associer les sujets “prospectifs” aux sujets directement en lien avec le monde économique.

En terme de contexte je souhaite continuer à travailler avec les autres membres de l’équipe IS3P mais je souhaite également collaborer davantage avec des collègues économistes ou gestionnaires. Cette collaboration s’inscrira dans le rapprochement des deux structures

que sont l'Ecole Centrale de Nantes et Audencia. Ainsi je suis impliquée, via ma collaboration avec Joe Miemczyk dans le projet IMSS (The International Manufacturing Strategy Survey².)

La rencontre avec Cyril Adoue a permis d'identifier des points de convergence forte de nos préoccupations scientifiques. Une collaboration va débiter et sera vraisemblablement formalisée par la soumission d'un projet ANR. Notre objectif est de faciliter le diagnostic et le pronostic pour développer des capacités organisationnelles non plus à la taille de l'entreprise mais à la taille de l'éco-système. En terme d'analyse de performance le niveau macroscopique réel ne peut simplement s'obtenir en agrégeant des modèles à périmètre plus réduit (atelier, entreprise) il faut alors trouver d'autres modes d'intégration qui permettent la simulation, le calcul voire l'optimisation en un temps raisonnable.

En terme d'enseignement je pense proposer une nouvelle option à l'Ecole Centrale de Nantes pour la rentrée 2014. Intitulée "Management des opérations et de la chaîne de valeur", son objectif sera de transmettre aux étudiants, outre les bases de gestion de production, une sensibilité liée à mes recherches actuelles sur la personnalisation et l'intégration des problématiques durables.

2. <http://www.manufacturingstrategy.net/>

Références bibliographiques

- [Adomavicius et Tuzhilin, 2005]Adomavicius, G. et Tuzhilin, A., 2005. Toward the next generation of recommender systems : A survey of the state-of-the-art and possible extensions. *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering*, volume 17(6) : pages 734–749.
- [AFNOR, 1991]AFNOR, 1991. *FNX50-151 - Analyse de la valeur, analyse fonctionnelle : expression fonctionnelle du besoin et cahier des charges fonctionnel*. ISO.
- [Agard, 2002]Agard, B., 2002. *Contribution à une méthodologie de conception de produits à forte diversité*. Thèse de doctorat, Institut National Polytechnique de Grenoble-INPG.
- [Agard et Kusiak, 2004]Agard, B. et Kusiak, A., 2004. Data-Mining Based Methodology for the Design of Product Families. *International Journal of Production Research*, volume 42(15) : pages 2955–2969.
- [Agard et Kusiak, 2005]Agard, B. et Kusiak, A., 2005. Computer Integrated Manufacturing : A Data Mining Approach. Dans *The Engineering Handbook, 2nd edition*, volume 17, pages 192 :1–192 :11. CRC Press and IEEE Press. ISBN 0792383443.
- [Agard et Tollenaere, 2002]Agard, B. et Tollenaere, M., 2002. Design of wire harnesses for mass customization. Dans *4th international conference on integrated design and manufacturing in technical engineering (IDMME 2002)*. Clermont-Ferrand, France.
- [Agrawal et Ramakrishnan, 1994]Agrawal, R. et Ramakrishnan, S., 1994. Fast Algorithms for Mining Association Rules in Large Databases. Dans *VLDB '94 : Proceedings of the 20th International Conference on Very Large Data Bases*, pages 487–499. Morgan Kaufmann Publishers Inc. ISBN 1-55860-153-8.
- [Aguirre et Paz Espinosa, 2004]Aguirre, I. et Paz Espinosa, M., 2004. Product differentiation with consumer arbitrage. *International Journal of Industrial Organization*, volume 22(2) : pages 219–239.
- [Allon et Federgruen, 2009]Allon, G. et Federgruen, A., 2009. Competition in Service Industries with segmented markets. *Management Science*, volume 55(4) : pages 619–634.
- [Allon et al., 2012]Allon, G. ; Federgruen, A. et Pierson, M., 2012. How much is a reduction of your customers' wait worth ? An empirical study of the fast-food drive-thru industry based on structural estimation methods. *Manufacturing & Service Operations Management*, volume 13(4) : pages 489–507.

- [Amherdt *et al.*, 2002]Amherdt, C.-H. ; Dupuich-Rabasse, Françoise ; Emery, Y. et Giauque, D., 2002. *Compétences collectives dans les organisations*. Presses universitaires de Laval. ISBN 2763777481.
- [Anand et Büchner, 1998]Anand, S. S. et Büchner, A. G., 1998. *Decision Support Using Data Mining*. Financial Times Prentice Hall. ISBN 0273632698.
- [Anderson *et al.*, 1993]Anderson, J. ; Jain, D. et Chintagunta P.K, 1993. Customer Value Assessment in Business Markets : A State-of- Practice Study. *Journal of Business to Business Marketing*, volume 1(1) : pages 3–30.
- [Apple, 1991]Apple, J., éditeur, 1991. *Plant Layout and Material Handling*. Krieger Pub. ISBN 0894645455.
- [Armistead, 1999]Armistead, C., 1999. Knowledge management and process performance. *Journal of Knowledge Management*, volume 3(2) : pages 143–157.
- [Arrow *et al.*, 1958]Arrow, K. ; Hurwicz, L. et Uzawa, H., 1958. *Studies in Nonlinear Programming*. Stanford University Press, Stanford,.
- [Askin et Dawson, 2000]Askin, R. et Dawson, D., 2000. Maximizing customer satisfaction by optimal specification of engineering characteristics. *IIE Transactions*, volume 32 : pages 9–20.
- [Aviv et Federgruen, 2001]Aviv, Y. et Federgruen, A., 2001. Capacited Multi-Item Inventory Systems with Random and Seasonally Fluctuating Demands : Implications for Postponement Strategies. *Management science*, volume 47(4) : pages 512–531.
- [Berger *et al.*, 2005]Berger, C. ; Moslein, K. ; Piller, F. et Reichwald, R., 2005. Cooperation between manufacturers, retailers, and customers for user-codesign : learning from exploratory research. *European management review*, volume 2(1) : pages 70–87.
- [Berger et Kanetkar, 1995]Berger, I. E. et Kanetkar, V., 1995. Increasing Environmental Sensitivity via Workplace Experience. *Journal of Public Policy and Marketing*, volume 14(2) : pages 205–215.
- [Berry et Linoff, 1997]Berry, M. et Linoff, G., 1997. *Data Mining : Techniques appliquées au marketing, à la vente et aux services clients*. InterEdition. ISBN 2-225-83086-X. Version française.
- [Boër et Dulio, 2007]Boër, C. R. et Dulio, S., 2007. *Mass customization and footwear myth, salvation or reality ?* Springer, New York. ISBN 9781846288647 1846288649.
- [Boucher, 2003]Boucher, X., 2003. Formal diagnosis of multi-enterprises systems of competencies. Dans *Proceedings of the 9th International Conference of Concurrent Enterprising (ICE)*. Espoo, Finland.
- [Boumane *et al.*, 2006]Boumane, A. ; Talbi, A. ; Tahon, C. et Bouami, D., 2006. Contribution à la modélisation de la compétence. Dans *6 ième Conférence Francophone de MODélisation et SIMulation - MOSIM*.
- [Buechner *et al.*, 1997]Buechner, A. ; Anand, S. et Hugues, J., 1997. Data mining in manufacturing environments : Goals, techniques and applications. *Studies in Informatics and Control*, volume 6(4) : pages 319–328.

- [Buffa *et al.*, 1964]Buffa, E. ; Armour, G. et Vollman, T. E., 1964. Allocating facilities with CRAFT. *Harvard Business Review*, volume 42(2) : pages 136–159.
- [Butz et Goodstein, 1996]Butz, H. J. et Goodstein, L., 1996. Measuring Customer Value : Gaining the Strategic Advantage. *Organizational Dynamics*, volume 24 : pages 63–77.
- [Child *et al.*, 1991]Child, P. ; Diederichs, R. ; Sanders, F. et Wisniowski, S., 1991. The management of complexity. *Sloan Management Review*, volume 33(1) : pages 73–80.
- [Ciavaldini et Loubet, 1995]Ciavaldini, B. et Loubet, J.-L., 1995. La Diversité Dans L'industrie Automobile Française : Hésitations et Enjeux. *Gérer et comprendre*, (41) : pages 4–19.
- [Cox et Blackstone, 1998]Cox, J. et Blackstone, J., éditeurs, 1998. *APICS Dictionary*. American Production and Inventory Control Society, 9th édition. ISBN 155822162X.
- [Crié, 2002]Crié, D., 2002. *La relation client. Fidélité, fidélisation, produits fidélisants*. Vuibert, Paris. ISBN 9782711769957.
- [Cross *et al.*, 2009]Cross, R. ; Seidel, R. ; Seidel, M. et Shahbazpour, M., 2009. Design communication for mass customisation. *International Journal of Mass Customisation*, volume 3(2) : page 146.
- [Da Silveira *et al.*, 2001]Da Silveira, G. ; Borenstein, D. et Fogliatto, F., 2001. Mass customization : literature review and research directions. *International Journal of Production Economics*, volume 72(1) : pages 1–13.
- [Daaboul, 2011]Daaboul, J., 2011. *Modélisation et simulation de réseau de valeur pour l'aide à la décision stratégique du passage de la production de masse à la customization de masse*. Thèse de doctorat, Ecole Centrale de Nantes.
- [Duray *et al.*, 2000]Duray, R. ; Ward, P. ; Milligan, G. et Berry, W., 2000. Approaches to mass customization : configurations and empirical validation. *Journal of Operations Management*, volume 18(6) : pages 605–625.
- [Elhamdi, 2005]Elhamdi, G., 2005. *Modélisation et simulation de chaînes de valeurs en entreprise - Une approche dynamique des systèmes et aide à la décision : SimulValor*. Thèse de doctorat, Ecole Centrale Paris.
- [Fall, 2008]Fall, I., 2008. *Approche " gestionnaire " de la capacité organisationnelle et pilotage du progrès : apports d'un dispositif pionnier de gestion des capacités organisationnelles dans une entreprise mondialisée*. Thèse de doctorat, Mines de Paris.
- [Fall et Rauffet, 2008]Fall, I. et Rauffet, P., 2008. Impacts of the use of organizational capabilities and roadmapping at Valeo Group. Published : internal resource from MNM Consulting.
- [Fayyad *et al.*, 1996]Fayyad, U. ; Piatetsky-Shapiro, G. ; Smyth, P. et Uthurusamy, R., éditeurs, 1996. *Advances in Knowledge Discovery and Data Mining*. AAAI/MIT Press. ISBN 0-262-56097-6.
- [Fixson, 2003]Fixson, S., 2003. The multiple faces of modularity - a literature analysis of a product concept for assembled hardware products. working paper MI.87, Industrial and Operations Engineering, University of Michigan.

- [Fogliatto *et al.*, 2012]Fogliatto, F. S. ; da Silveira, G. J. C. et Borenstein, D., 2012. The mass customization decade : An updated review of the literature. *International Journal of Production Economics*, volume 138(1) : pages 14 – 25.
- [Forrester, 1971]Forrester, J., 1971. Counterintuitive behavior of social systems. *Technology Review*, volume 73(3) : pages 52–68.
- [Gale, 1994]Gale, B., 1994. *Managing Customer Value : creating quality and service that customers can see*. Macmillan Publishers New Zealand. ISBN 0029110459.
- [Garey et Johnson, 1979]Garey, M. R. et Johnson, D. S., 1979. *Computers and Intractability : A guide to the theory of NP-completeness*. W. H. Freeman and Company, San Francisco. ISBN 0716710455.
- [Gavirneni *et al.*, 1999]Gavirneni, S. ; Kapuscinski, R. et Tayur, S., 1999. Value of information in capacited supply chain. *Management Science*, volume 45(1) : pages 16–24.
- [Goedkoop *et al.*, 1999]Goedkoop, M. ; Van Halen, C. ; Te Riele, H. et Rommens, P., 1999. *Product service systems : ecological and economic basics*. Product service systems : ecological and economic basics.
- [Green et Srinivasan, 1978]Green, P. et Srinivasan, V., 1978. Conjoint Analysis in Consumer Research : Issues and Outlook. *Journal of Consumer Research*, volume 5(2) : pages 103–123.
- [Groenland et Schoormans, 1994]Groenland, E. A. G. et Schoormans, J. P. L., 1994. Comparing mood-induction and affective conditioning as mechanisms influencing product evaluation and product choice. *Psychology and Marketing*, volume 11(2) : pages 183–197.
- [Gross et Levenson, 1995]Gross, J. J. et Levenson, R. W., 1995. Emotion elicitation using films. *Cognition & Emotion*, volume 9(1) : pages 87–108.
- [Harzallah et Vernadat, 2002]Harzallah, M. et Vernadat, F., 2002. IT-based competency modeling and management : from theory to practice in enterprise engineering and operations. *Computer In Industry*, volume 48(2) : pages 157–179.
- [Hernandez *et al.*, 2006]Hernandez, G. ; Allen, J. et Mistree, F., 2006. A theory and method for combining multiple approaches for product customization. *International Journal of Mass Customization*, volume 1(2-3) : pages 315–339.
- [Hill *et al.*, 1995]Hill, W. ; Stead, L. ; Rosenstein, M. et Furnas, G., 1995. Recommending and Evaluating Choices in a Virtual Community of Use. Dans *In Proceedings of CHI'95*, pages 194–201.
- [Hinterhuber, 2004]Hinterhuber, A., 2004. Towards value-based pricing : An integrative framework for decision making. *Marketing Management*, volume 33(8) : pages 765–778.
- [Hochbaum, 1997]Hochbaum, D. S., éditeur, 1997. *Approximation algorithms for NP-hard problems*. PWS publishing company. ISBN-053494968-1.
- [Hoque, 2000]Hoque, F., 2000. *E-enterprise business models, architecture, and components*. Cambridge University Press ; SIGS Books, Cambridge, U.K. ; New York, N.Y. ; [New York, N.Y.]. ISBN 051100432X 9780511004322.

- [Hotelling, 1929]Hotelling, H., 1929. Stability in Competition. *the economic journal*, volume 39(153) : pages 41–57.
- [Houé et Grabot, 2009]Houé, R. et Grabot, B., 2009. Operational Competence Management - Comparison of Industrial Frameworks. Dans *13th IFAC Symposium on Information control problems in manufacturing - INCOM, Moscow*.
- [Houé et al., 2006]Houé, R. ; Grabot, B. et Geneste, L., 2006. Competence management for business integration. Dans *12th IFAC Symposium on Information control problems in manufacturing - INCOM*, pages 217–222.
- [Howard et al., 2006]Howard, M. ; Miemczyk, J. et Graves, A., 2006. Automotive supplier parks : An imperative for build-to-order? *Journal of Purchasing and Supply Management*, volume 12(2) : pages 91–104.
- [Hsu, 1996]Hsu, T., 1996. *Causes and impacts of class one engineering changes : an engineering study based on three defense aircraft acquisition programs*. Mémoire de master, Massachusetts Institute of Technology. MSc in Aeronautics and Astronautics.
- [Huang et Kusiak, 1998]Huang, C.-C. et Kusiak, A., 1998. Modularity in Design of Products and Systems. *IEEE Transactions on systems, man and cybernetics*, volume 28(1) : pages 66–77.
- [Huffman et Kahn, 1998]Huffman, C. et Kahn, B. E., 1998. Variety for sale : Mass customization or mass confusion? *Journal of Retailing*, volume 74(4) : pages 491–513.
- [Izard, 1972]Izard, C. E., 1972. *Patterns of emotions : a new analysis of anxiety and depression*. Academic Press. ISBN 012377750X.
- [Jaynes, 1957a]Jaynes, E., 1957a. Information theory and statistical mechanics. *The physical review*, volume 106(4) : pages 620–630.
- [Jaynes, 1957b]Jaynes, E., 1957b. Information theory and statistical mechanics II. *The physical review*, volume 108(2) : pages 171–190.
- [Jiao et Simpson, 2007]Jiao, J. et Simpson, T., 2007. Product family design and platform-based product development : a-state-of-the-art review. *Journal of Intelligent Manufacturing*, volume 18(1) : pages 5–29.
- [Jiao et al., 2006a]Jiao, J. ; Tseng, M. ; Ma, Q. et Zou, Y., 2006a. Generic bill of materials and operations for high-variety production management. *Concurrent Engineering*, volume 8(4) : pages 297–322.
- [Jiao et al., 2006b]Jiao, J. ; Zhang, L. et Pokharel, S., 2006b. Process platform planning for mass customisation production. *International Journal of Mass Customisation*, volume 1(2-3) : pages 237–259.
- [Johnson, 1974]Johnson, R. M., 1974. Trade-off Analysis of Consumer Values. *Journal of Marketing Research*, volume 11(2) : pages 121–127.
- [Karray et al., 2000]Karray, F. ; Zanelidin, E. ; Hegazy, T. ; Shabeeb, A. et Elbeltagi, E., 2000. Computational intelligence tools for solving the facilities layout planning problem. Dans *Proceedings of the American Control Conference*, pages 3954–3958.

- [Kocher et Rolland, 1995]Kocher, I. et Rolland, P., 1995. Quand Les Structures Dessinent Les Produits. *Gérer et comprendre*, volume 39 : pages 38–48.
- [Krulwich, 1997]Krulwich, B., 1997. LifeStyle Finder : Intelligent User Profiling Using Large-Scale Demographic Data. *AI Magazine*, volume 18(2) : pages 37–45.
- [Kusiak et Huang, 1997]Kusiak, A. et Huang, C. C., 1997. Design of modular digital circuits for testability. *IEEE Transactions on Components, Packaging, and Manufacturing Technology, Part C*, volume 20(1) : pages 48–57.
- [Lam et al., 2005]Lam, K. ; Tang, C. et Lee, W., 2005. Application of the entropy technique and genetic algorithms to construction site layout planning of medium-size projects. *Construction Management and Economics*, volume 23(2) : pages 127–145.
- [Lavrac et Zupan, 2005]Lavrac, N. et Zupan, B., 2005. Data Mining in Medicine. Dans Maimon, O. et Rokach, L., éditeurs, *Data Mining and Knowledge Discovery Handbook*, pages 1107–1137. Springer US. ISBN 978-0-387-24435-8, 978-0-387-25465-4.
- [Lee et Tang, 1997]Lee, H. et Tang, C., 1997. Modelling the Costs and Benefits of Delayed Product Differentiation. *Management science*, volume 43(1) : pages 40–53.
- [Lee et Whang, 2000]Lee, H. et Whang, S., 2000. Information Sharing in a Supply Chain. *International Journal of Technology Management*, volume 20(3/4) : pages 373–387.
- [Lehman, 1998]Lehman, D., 1998. Customer reaction to variety : too much of a good thing ? *Journal of the Academy of Marketing Science*, volume 26(1) : pages 62–65.
- [Li et al., 2001]Li, Z. ; Anson, M. et Li, G., 2001. A procedure for quantitatively evaluating site layout alternatives. *Construction Management and Economics*, volume 19 : pages 459–467.
- [Mac Clelland, 1973]Mac Clelland, D., 1973. Testing for Competence Rather than Intelligence. *American Psychologist*, volume 28(1) : pages 1–14.
- [Manufuture, 2006]Manufuture, 2006. Assuring the future of manufacturing in Europe - Strategic Research Agenda. ISBN 92-79-01026-3.
- [Marwick et Boyd, 2011]Marwick, A. E. et Boyd, D., 2011. I tweet honestly, I tweet passionately : Twitter users, context collapse, and the imagined audience. *New Media & Society*, volume 13(1) : pages 114–133.
- [Mauchand, 2007]Mauchand, M., 2007. *Modélisation pour la simulation de chaînes de production de valeur en entreprise industrielle comme outil d'aide à la décision en phase de conception / industrialisation*. Thèse de doctorat, Ecole Centrale de Nantes.
- [Mavridou et al., 2011]Mavridou, E. ; Kehagias, D. ; Tzovaras, D. et Hassapis, G., 2011. Mining affective needs of automotive industry customers for building a mass-customization recommender system. *Journal of Intelligent Manufacturing*, pages 1–15.
- [Mavridou et Pardalos, 1997]Mavridou, T. D. et Pardalos, P., 1997. Simulated annealing and genetic algorithms for the facility layout problem : A survey. *Computational Optimization and Applications*, volume 7 : pages 111–126.
- [Midler, 1993]Midler, C., 1993. *L'auto qui n'existait pas*. InterEditions. ISBN 2100485725.

- [Monomakhoff et Blanc, 2008] Monomakhoff, N. et Blanc, F., 2008. *La méthode 5 Steps® : Pour déployer efficacement une stratégie*. AFNOR.
- [Monroe, 1990] Monroe, K., 1990. *Pricing : Making Profitable Decisions*. McGraw-Hill. ISBN 0072528818.
- [Moon et al., 2010] Moon, S. K. ; Shu, J. ; Simpson, T. W. et Kumara, S. R., 2010. A module-based service model for mass customization : service family design. *IIE Transactions*, volume 43(3) : pages 153–163.
- [Muther, 1973] Muther, R., 1973. *Systematic Layout Planning*. CBI Publishing Company Inc. ISBN 0843608145.
- [Nagle et Holden, 1999] Nagle, T. T. et Holden, R. K., 1999. *Strategy and tactics of pricing*. Prentice Hall. ISBN 0136106811.
- [Neely, 2009] Neely, A., 2009. Exploring the financial consequences of the servitization of manufacturing. *Operations Management Research*, volume 1(2) : pages 103–118.
- [Nepal et al., 2012] Nepal, B. ; Monplaisir, L. et Famuyiwa, O., 2012. Matching product architecture with supply chain design. *European Journal of Operational Research*, volume 216(2) : pages 312 – 325.
- [Norme 480B, 1988] Norme 480B, U. M. S., 1988. *Configuration control - Engineering changes, deviations, and waivers*. Section 3.1.30.
- [Phillips, 1997] Phillips, E., 1997. *Manufacturing Plant Layout - Fundamentals and Fine Points of Optimum Facility Design*. Society of Manufacturing Engineers. ISBN 0872634841.
- [Pine, 1993] Pine, B. J., 1993. *Mass customization : the new frontier in business competition*. Harvard business school press. ISBN 0875849466.
- [Pépiot et al., 1974] Pépiot, G. ; Cheikhrouhou, N. ; Furbringer, J.-M. et Glardon, R., 1974. UECML : Unified Enterprise Competence Modelling Language. *Computer In Industry*, volume 58(2) : pages 130–142.
- [Prasad, 1996] Prasad, B., 1996. *Concurrent Engineering Fundamentals : Integrated Product Development*. Prentice-Hall. ISBN 0131474634.
- [Resnick et al., 1994] Resnick, P. ; Iacovou, N. ; Suchak, M. ; Bergstrom, P. et Riedl, J., 1994. GroupLens : an open architecture for collaborative filtering of netnews. Dans *Proceedings of the 1994 ACM conference on Computer supported cooperative work*, pages 175–186.
- [Ring et Fricke, 1998] Ring, J. et Fricke, E., 1998. Rapid evolutions of all your systems - Problem or opportunity. Dans *Proceedings of the IEEE 17th Digital Avionics Systems System Conference*, pages B56/1–B56/8.
- [Rokach et al., 2008] Rokach, L. ; Romano, R. et Maimon, O., 2008. Mining manufacturing databases to discover the effect of operation sequence on the product quality. *Journal of Intelligent Manufacturing*, volume 19(3) : pages 313–325.
- [Ruschin-Rimini et al., 2012] Ruschin-Rimini, N. ; Maimon, O. et Romano, R., 2012. Visual analysis of quality-related manufacturing data using fractal geometry. *Journal of Intelligent Manufacturing*, volume 23(3) : pages 481–495.

- [Saint-Amant et Renard, 2009]Saint-Amant, G. et Renard, L., 2009. Premier référentiel de connaissances associées aux capacités organisationnelles de l'administration électronique. *Management International*, volume 9 : pages 49–68.
- [Salvador *et al.*, 2009]Salvador, F.; de Holan, M. et Piller, F., 2009. Cracking the Code of Mass Customization. *Sloan Management Review*, volume 50(3) : pages 71–78.
- [Sanchez *et al.*, 1996]Sanchez, R.; Heene, A. et Thomas, H., éditeurs, 1996. *Dynamics of Competence-Based Competition*. Pergamon Pr, 1st édition. ISBN 0080425852.
- [Schieritz et Grosler, 2003]Schieritz, N. et Grosler, A., 2003. Emergent structures in supply chains - a study integrating agent based and system dynamics modeling. Dans *36th international conference of the system dynamics society*.
- [Shannon, 1948]Shannon, C., 1948. A mathematical theory of communication. *The Bell system technical journal*, volume 27 : pages 379–423,623–656.
- [Starr, 1965]Starr, M., 1965. Modular production - a new concept. *Harvard Business Review*, pages 131–142.
- [Suh, 2001]Suh, N. P., 2001. *Axiomatic Design : Advances and Applications*. Oxford University Press, USA. ISBN 0195134664.
- [Swaminathan et Tayur, 1998]Swaminathan, J. et Tayur, S., 1998. Managing Broader Product Lines through Delayed Differentiation Using Vanilla Boxes. *Management Science*, volume 44(12) : pages 161–172.
- [Swaminathan et Tayur, 1999]Swaminathan, J. et Tayur, S., 1999. Stochastic Programming Models for Managing Product Variety. Dans *Quantitative Models for Supply Chain Management*, volume 17 de *International series in operations research and management science*, pages 585–624. Kluwer's international series. ISBN 0792383443. Ed. Tayur, Sridhar and Ganeshan, Ram and Magazine, Michael.
- [Tarafdar et Gordon, 2007]Tarafdar, M. et Gordon, S. R., 2007. Understanding the influence of information systems competencies on process innovation : A resource-based view. *The Journal of Strategic Information Systems*, volume 16(4) : pages 353–392.
- [Tarondeau, 1998]Tarondeau, J.-c., 1998. *Stratégie industrielle*. Vuibert, 2 édition. ISBN 2-7117-7687-5.
- [Thirumalai et Sinha, 2011]Thirumalai, S. et Sinha, K. K., 2011. Customization of the online purchase process in electronic retailing and customer satisfaction : An online field study. *Journal of Operations Management*, volume 29(5) : pages 477–487.
- [Tompkins *et al.*, 2010]Tompkins, J. A.; White, J. A.; Bozer, Y. A. et Tanchoco, J. M. A., 2010. *Facilities Planning*. John Wiley & Sons Ltd, 4th revised edition édition. ISBN 0470444045.
- [Tseng *et al.*, 2010]Tseng, M.; Jiaob, R. et Wang, C., 2010. Design for Mass Personalization. *CIRP Annals-Manufacturing Technology*, volume 59(1) : pages 175–178.
- [Tseng et Jiao, 2001]Tseng, M. M. et Jiao, J., 2001. Mass customization. *Handbook of Industrial Engineering*, 3rd edition, New York : Wiley, pages 684–709.

- [Tseng *et al.*, 1996]Tseng, M. M. ; Jiao, J. et Merchant, M. E., 1996. Design for Mass Customization. *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, volume 45(1) : pages 153–156.
- [Ulrich, 1995]Ulrich, K., 1995. The role of product architecture in the manufacturing firm. *Research policy*, volume 24(3) : pages 419–440.
- [Vaudelin, 2002]Vaudelin, J., 2002. La compétence collective en quête de significations. Dans *1er colloque GCCGI, Nantes, December 12-13*.
- [Wagner et Silveira-Camargos, 2011]Wagner, S. M. et Silveira-Camargos, V., 2011. Decision model for the application of just-in-sequence. *International Journal of Production Research*, volume 49(19) : pages 5713–5736.
- [Wang et Tseng, 2008]Wang, Y. et Tseng, M. M., 2008. Incorporating probabilistic model of customers' preferences in concurrent engineerings. *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, volume 57(1) : pages 137–140.
- [Wang et Tseng, 2011]Wang, Y. et Tseng, M. M., 2011. Integrating Comprehensive Customer Requirements into Product Design. *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, volume 60(25) : pages 175–178.
- [Westphal et Blaxton, 1998]Westphal, C. et Blaxton, T., 1998. *Data Mining Solutions : Methods and Tools for Solving Real-World Problems*. John Wiley. ISBN 0471253847.
- [Woodruff, 1997]Woodruff, R. B., 1997. Customer value : The next source for competitive advantage. *Journal of the Academy of Marketing Science*, volume 25(2) : pages 139–153.
- [World Commission on Environment and Development, 1987]World Commission on Environment and Development, 1987. *Our Common Future*. Oxford University Press.
- [Wright, 1997]Wright, I., 1997. A review of research into engineering change management : Implications for product design. *Design Studies*, volume 18 : pages 33–42.
- [Zarifian, 2002]Zarifian, P., 2002. La politique de la compétence et l'appel aux connaissances dans la stratégie d'entreprise, Vers l'articulation entre Compétences et Connaissances. Dans *1er Colloque du GCCGI, Nantes*.
- [Zeithaml, 1988]Zeithaml, V. A., 1988. Consumer Perceptions of Price, Quality, and Value : A Means-End Model and Synthesis of Evidence. *Journal of Marketing*, volume 52 : pages 2–22.
- [Zhang *et al.*, 2005]Zhang, M. ; Chen, Y. J. et Tseng, M. M., 2005. Distributed knowledge management for product and process variety in mass customisation. *International Journal of Computer Applications in Technology*, volume 23(1) : pages 13–30.
- [Zhang *et al.*, 2013]Zhang, X. ; Auriol, G. ; Eres, H. et Baron, C., 2013. A prescriptive approach to qualify and quantify customer value for value-based requirements engineering. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, volume 26(4) : pages 327–345.
- [Zinn, 1990]Zinn, W., 1990. Should You Assemble Products Before an Order is Received ? *Business Horizons*, volume 33(5) : pages 70–73.

Troisième partie

Annexes et Sélection d'articles

Annexe A

Description des projets

Appendix 1 : ANR Pilot 2.0

« Pilotage 2.0 : Méthodes et composants pour la mise sous contrôle des capacités organisationnelles et pilotage des plans de progrès dans les organisations étendues ». obtenu dans le cadre du programme non thématique 2005 (décembre 2007-décembre 2010)

Partenaires :

- MNM Consulting (responsable du projet),
- Valeo,
- IRCCyN,
- Conseil Général du Vaucluse (CG84),
- M-LAB.

Le projet PILOT 2.0 a permis d'obtenir des méthodes et des outils robustes et efficaces pour la mise sous contrôle des capacités organisationnelles et le pilotage des plans de progrès.

Il se compose de 4 axes majeurs :

- la modélisation des objets, des acteurs du pilotage et des différents modes d'organisation de ces objets,
- la recherche et le développement de capacités de mesure, d'alerte et de consolidation adaptés aux différents modes de pilotage (contextes opérationnels comme visions fonctionnelles), les boucles de retour et d'asservissement du système,
- la restitution fractale des plans de progrès, des mesures et des indicateurs pour servir des réseaux et des communautés,
- la définition ou l'intégration des modules fonctionnels nécessaires aux gabarits d'évaluations et à la vie des objets (mesure, audit, publication, actions collaboratives, etc.).

Mes missions dans le projet (en dehors de l'encadrement de Philippe RAUFFET) :

Label et description	Début	Effort(mois)
T2.3 Spécification des problématiques scientifiques	T0	13
T2.4 Spécifications de solutions innovantes	T0+20	16
T3.1 Concepts structurants	T0	13
T3.2 Diagramme de classes UML	T0+4	12
T3.3 Mesures et Indicateurs de Performance	T0	15

TABLE A.1 – Responsabilités dans le projet Pilot 2.0.

Appendix 2 : Institut Europeen pour l'Administration Etendue - IEAE

L'IEAE est 1er organisme interdisciplinaire dédié à la performance des stratégies public-privé. Fondé le 1er juillet 2011 sur une initiative conjointe de LBC, l'ECN et CEIS, l'IEAE a l'ambition d'apporter des réponses concrètes à l'optimisation des modèles de performance globale public-privé. L'IEAE fédère de manière pluridisciplinaire des centres de recherche publics, des responsables de l'administration, des cabinets de conseil ou bureaux d'études autour du développement de standards méthodologiques et techniques liés à l'optimisation du fonctionnement de l'Administration avec ses régies, opérateurs internes et externes.

Partenaires : CGI Business Consulting, Ecole Centrale de Nantes, Compagnie Européenne d'Intelligence Stratégique (CEIS), ENSAIT.

Page web du projet www.ieae.eu

Appendix 3 : DOROTHY

Projet européen Design Of customeR dRiven shOes and multi-siTE factorY No. FP7-NMP-2007-3.3-1, (juillet 2008 - juin 2011)

Partenaires : Univ. Patras (Grèce), Universität Stuttgart (All.), UCS (Slovénie), Ecole Centrale de Nantes (France), Hugo Boss (Suisse), Alpina (Slovénie), Décathlon (France), CASP SA (Grèce), C.T.C. (Italie), Fidas (Grèce), INSPIRE (Suisse), CNR (Italie), TTS. (Italie).

Le projet Dorothy propose de développer des outils permettant la mise en place de réseaux d'entreprises capables de proposer aux clients finaux des produits personnalisés à des prix correspondant à ceux de la production de masse. Dans un premier temps, le produit considéré est la chaussure, la personnalisation du produit peut être celle liée aux dimensions des pieds du client mais aussi celle liée à la conception même du produit (forme, matériaux,...).

DOROTHY se décompose en trois axes :

- la définition d’outils de conception de chaussures personnalisées,
- la définition d’outils de conception de systèmes industriels multi-sites pour la réalisation de ces chaussures,
- la définition de nouveaux modèles d’entreprise supportant cette structure.

Les tâches du projet dans lesquelles je suis intervenue :

Label et description	Début	Effort (mois)	Réalisation personnelle
T 1.1 Enabling Technologies survey	Sep. 2009	98	- Etude bibliographique - Réalisation d’un Wiki
T 4.3 Network infrastructure and partners value configuration	Sep. 2009	56	- Création d’un modèle de valeur

TABLE A.2 – Implication dans le projet Dorothy.

Appendix 4 : S-MC-S

Projet européen Sustainable Mass customization- Mass Customization for sustainability, No. FoF-NMP-2010-2, (mai 2010 - avril 2013)

Partenaires : SUPSI-University of Applied Science of Southern Switzerland (Suisse), Politecnico di Milano (Italie), Ecole Centrale de Nantes (France), TTS (Italie), Tecnológico de Monterrey (Mexique), THEMA (Italie), LION (Italie), AIICA (Espagne), Co.Fi.Plast (Italie), INCAS (Italie), Podium (Suisse), Homag (Allemagne)

S-MC-S vise à développer des méthodes ainsi que des technologies innovantes permettant de mettre en œuvre une chaîne de production personnalisée, orientée vers le client et durable.

Mes missions dans le projet :

Label et description	Début	Effort (mois)	Réalisation personnelle
T1.4 Validation Scenarios definition	T0	6	Analyse des scénarios Définition d'un scénario type
T3.1 Sustainable MC assessment model	M7	21	Définition d'un modèle d'évaluation Participation à l'élaboration des indicateurs
T3.2 External stakeholder behaviour	M7	12	Analyse du contexte industriel Analyse des spécifications durables
T5.2 Shifts exploration	M12	6	Analyse bibliographique Analyse du lien évaluation-simulation Elaboration d'un méta-modèle (multi-niveau sur le cycle de vie)
T6.1 Validation Process Specification (KPIs)	M24	6	Raffinement des scénarios Préparation des questionnaires d'évaluation
T6.2 Scenarios Implementation	M28	8	Elaboration d'une méthodologie de sélection d'indicateurs Application à l'entreprise Podium
T7.1 Result transfer to other sectors and Interest Group	M25	12	Réalisation d'un plan de communication Réalisation d'outils de dissémination

TABLE A.3 – Responsabilités dans le projet S-MC-S

Annexe B

Sélection d'articles

Design for Cost : Module-Based Mass Customization

Design for Cost: Module-Based Mass Customization

Catherine da Cunha, Bruno Agard, and Andrew Kusiak, *Member, IEEE*

Abstract—The assemble-to-order (ATO) production strategy considers a tradeoff between the size of a product portfolio and the assembly lead time. The concept of modular design is often used in support of the ATO strategy. Modular design impacts the assembly of products and the supply chain, in particular, the storage, transport, and production are affected by the selected modular structure. The demand for products in a product family impacts the cost of the supply chain. Based on the demand patterns, a mix of modules and their stock are determined by solving an integer programming model. This model cannot be optimally solved due to its high computational complexity and, therefore, two heuristic algorithms are proposed. A simulated annealing algorithm improves on the previously generated solutions. The computational results reported in this paper show that significant savings could be realized by optimizing the composition of modules. The best performance is obtained by a simulated annealing combined with a heuristic approach.

Note to Practitioners—In today's markets, companies tend to compete with product costs and delivery times. Mass customization principles have emerged as ways of gaining competitiveness. To individualize offerings of products, some companies manage options and alternatives around the same product category. Large product portfolios allow customers to select products closely matching their needs, however, it usually implies a larger cost to the producer. The importance of demand for final products when allocating assembly operations in a supply chain is emphasized. The research reported in this paper demonstrates that for the same level of anticipated product demand, the level and mix of stock impact the customer delivery time. The latter implies that the same degree of customer satisfaction could be realized with different anticipated stock levels and costs. An assemble-to-order (ATO) case study is presented. The ATO production strategy considers a tradeoff between the size of a product portfolio and the assembly lead time. The concept of modular design is often used in support of the ATO strategy. Modular design impacts the assembly of products and the supply chain, in particular, the storage, transport, and production are affected by the selected modular structure.

Index Terms—Assemble to order (ATO), demand integration, design for cost, mass customization, supply chain, time constraint.

Manuscript received November 28, 2005; revised June 5, 2006. This paper was recommended for publication by Associate Editor L. Monostori and Editor M. Wang upon evaluation of the reviewers' comments. This work was supported in part by the Natural Science and Engineering Research Council of Canada (NSERC) and in part by the Fonds Québécois de la Recherche sur la Nature et les Technologies (FQRNT).

C. da Cunha is with the Laboratoire GILCO, Grenoble 38031, France (e-mail: Catherine.Da-Cunha@ircyn.ec-nantes.fr).

B. Agard is with the Département de Mathématiques et de Génie Industriel, École Polytechnique de Montréal, Montréal, QC H3C 3A7 Canada (e-mail: bruno.agard@polymtl.ca).

A. Kusiak is with the Intelligent Systems Laboratory, Department of Mechanical and Industrial Engineering, The University of Iowa, Iowa City, IA 52242-1527 USA (e-mail: andrew-kusiak@uiowa.edu).

Color versions of one or more of the figures in this paper are available online at <http://ieeexplore.ieee.org>.

Digital Object Identifier 10.1109/TASE.2006.887160

I. INTRODUCTION

TODAY'S markets call for elaborate competition schemes as a large variety of products is available to meet customer requirements. Companies tend to compete on product costs and delivery times. Mass production principles have emerged as ways of gaining competitiveness. To individualize offerings of products, some companies manage options and alternatives around the same product category. Enlarged product portfolios make it possible for a customer to select and purchase a product closely matching his or her requirements.

If the manufacturing lead time of a product is longer than the acceptable customer wait time, a company needs to anticipate the future by producing products before the orders are received. While any unmet product demand is not well received by the customers, overproduction lowers profits.

The research reported in this paper demonstrates that for the same level of anticipated product demand, the level and mix of stock impact the customer delivery time. The latter implies that the same degree of customer satisfaction could be realized with different anticipated stock levels and costs.

In this paper, an assemble-to-order (ATO) case study is presented. A simulated annealing and two heuristic algorithms are developed to determine the best stock composition to ensure satisfactory product delivery time.

The importance of information about customer requirements is highlighted. Some previous studies have used data about physical characteristics of products. In this paper, the demand information is used to minimize the cost induced by the diversity of products.

The literature of interest to the problem discussed in the paper is reviewed in Section II. The industrial background supporting the problem discussed in the paper is presented in Section III. The model developed in the paper is presented in Section IV. Section V discusses heuristic algorithms for solving the problem of Section IV. Computational results are also discussed. Section VI concludes the paper.

II. LITERATURE REVIEW

The design of a product portfolio impacts the cost and delivery time of products. The main questions are: What product portfolio to offer?; How to produce the products?; and How to integrate the demand data to optimize the overall process?

A way of addressing these questions is by the design of product families. Numerous approaches have been developed for the design of product families. Some are based on negotiation [11], other approaches distinguish stable and variable aspects of the customer requirements [27], and some are based on coupling between functional/technical domains [8], [13]. Martin [21] proposed a robust product family architecture to

support the redesign of products. Agard and Tollenaere [3] discussed a methodology for the design of a product family based on the analysis of customer needs with data mining tools [1].

Two main approaches that support large product diversity are modular design and postponement (delayed product differentiation). Modularity involves creating largely independent blocks (called modules) for building different products and/or processes. A combination of a limited number of modules permits diversification of the product.

A limited number of modules may result in a large number of final products. Modular design impacts the stock mix of modules (the number of modules stocked and the constitution of each module), the delivery time (through the final assembly time), and the production cost. The design of modular products has received some attention in the literature (e.g., [12], [17], and [18]).

Implementation of the modularity concept can be accomplished by partitioning a product into semi-independent or mutually separable elements. It permits for independent design, manufacture, and service of the modules. Fujita [9] optimized the content of modules and their mix in a fixed modular architecture. Yigit *et al.* [26] solved a similar problem by determining the best subsets of modules that minimize the reconfiguration cost. Briant [4] defined modules by covering a set of products with standardized components.

A large market diversity of products supported by a low technical diversity reduces process diversification, thus guaranteeing acceptable product development and manufacturing costs [7], [20].

Postponement relies on delaying as much as possible the moment when the product attains its uniqueness (identity). For example, packaging postponement [25] involves delayed differentiation of the product until the packaging operation takes place.

Lee and Tang [19] highlighted advantages of the product delayed differentiation to manufacture diversified products. Product and process standardization are highlighted as well as process restructuring.

Some research results have been reported in the design-to-cost and in the ATO context [3], [12]. Swaminathan and Tayur [24] optimized production capacity using preassembly operations.

ATO is “a production environment where goods (or services) are assembled after the receipt of a customer’s order”.¹ It enables managing a wide diversity of products with a limited number of modules [22]. These modules are preassembled in advance, shipped to the assembly location, and stocked. The final assembly of the product (from the modules) is initiated when an actual order is received.

The product demand pattern (demand volume of a specific product) impacts a supply chain (i.e., the storage, transportation, and production costs). Knowing the information about customer demands and assigning the workload to different actors of the chain could reduce this cost.

Da Cunha [7] used product demand data to design modules minimizing the final assembly cost (by minimizing the mean assembly time). The computational results showed that significant savings could be realized when taking such data into account.

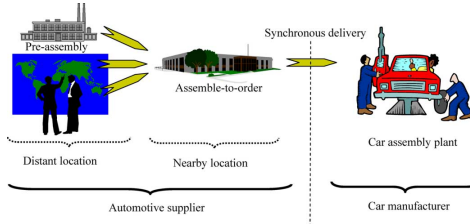


Fig. 1. Supply chain structure in the automotive industry.

This literature review stresses three questions: 1) What product portfolio to offer?; 2) How to produce the products?; and 3) How to integrate the demand data to optimize the overall process? These are often treated separately, each question raising complex issues. A simultaneous consideration of the three views, which would be the ideal, still seems utopian. Here, two views are considered: the question of how to produce is addressed while considering the information about the demand. A design-for-cost method is chosen in order to integer notions of the optimization of the overall process.

In this paper, the product-mix data are used to design a supply chain in the presence of different labor costs. The proposed approach guarantees that the mean delivery time does not exceed the delay acceptable by the customer. A cost metric is used to evaluate performance of the designed supply chain.

III. INDUSTRIAL CASE STUDY

In this section, an industrial case study is discussed. Consider the example of a midrange car—Peugeot 307. One of many assemblies used in this car to distribute power and information within the vehicle is a wire harness. Potentially, there are seven million different wire harnesses that could be ordered [2]. The annual sale volume for this car model is about 350,000. Kocher and Rolland [15] stated that 90% of the sales of this car model constitute 20% of the portfolio.

The entire automotive supply chain faces the challenge of offering growing product diversity at competitive prices, quality, and delivery times. The classical supply chain structure in the automotive industry is illustrated in Fig. 1, which focuses on the automotive supplier’s structure.

Car assembly plants tend to be located near the consumer market. The components and subassemblies of a car are produced by automotive suppliers that are contractually committed to deliver the right parts in the sequence and time required by the car manufacturer.

One of those components is a wire harness that has to be assembled before the car interior (floor covering, seats, inner door shells, etc.) is installed. A delay of its delivery causes a major disruption to the production line. Therefore, a contract between the car manufacturer and a wire harness supplier specifies penalties for the delays. The wire harnesses have to meet a mean lead-delivery time that is fixed in advance. As some deviations around the mean lead time may occur, the car manufacturer imposes a delivery ratio on the contractual mean lead time.

¹American Production and Inventory Control Society Dictionary, 9th Edition, Falls Church, VA, 1998.



Fig. 2. Final assembly of wire harnesses [7].

To meet the car manufacturer's orders, wire-harness suppliers tend to organize their processes at multiple sites. Distant location plants produce modules to stock and ship them for stocking at a location near the final assembly until an actual order arrives. The final assembly of the wire harness is performed in a relatively short time to meet the arriving orders. This assembly operation (see Fig. 2) does not require highly skilled labor. A single wire is assembled on an assembly table tended by one worker. This type of work environment prevents simultaneous tasks on the same subassembly. The time of the final assembly is therefore mostly dependent of the number of modules to be assembled. The parts are uniformly easy to manipulate and the operations of connections between parts (taping, clipping, welding) are tasks of similar duration.

Each communication function of a wire harness is performed by a set of cables that occupy a designated space in the final product (i.e., the car). Each option can therefore only appear, at most, once. The information about possible incompatibility (between options or alternatives) is included in the demand itself. The demand probability of a product that does not satisfy these constraints is zero. This characteristic enables keeping the model as general as possible.

The model discussed in this paper does not consider production capacity. The capacity assumption has been validated on an industrial case study. Considering the distant locations of assembly facilities, capacity allocation and management are controlled by a supplier (in particular, by means of workforce management). The supplier is responsible for the primal assembly until the modules arrive to the car assembly plant.

IV. PROBLEM MODELING

The operations involved in the supply chain are shown in Fig. 3.

The preassembly of modules from basic components is performed at distant locations (with low labor costs). Then, the modules are transported to the nearby location and stocked until demand occurs. The demand launches the final assembly process for the wire harnesses (i.e., the products are assembled from the modules). The lead time measured at the car assembly plant involves the final assembly and delivery time.

The goal of this paper is to determine the lowest cost composition of modules (a set of basic components) so that the mean

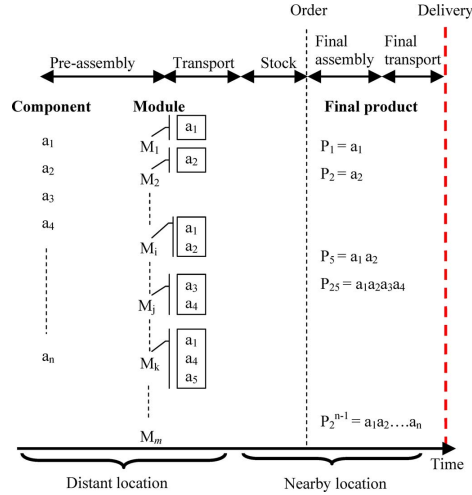


Fig. 3. Operations in the supply chain.

lead time does not exceed x , where x represents the delay that is acceptable to the customers. It is assumed that the transportation cost of a product from the nearby location to the car assembly plant is fixed.

The proposed model ensures that each customer receives the exact product she or he has ordered. This implies that the extra components (free upgrades of the product) are not allowed.

A. Modeling

The model presented next used the data of the wire-harness case study. It specifies that the final portfolio of products is obtained from n basic components that can be assembled as $P = 2^n - 1$ different products. It assumes that there are no assembly constraints between the components. This assumption considers the worst-case scenario (i.e., the largest possible diversity). Of course, in the presence of constraints, the number of products P is smaller. That is to be compared with the annual production on 350,000 cars for the wire harnesses considered.

Let C be the stock mix (i.e., a set of modules in the inventory). The stock mix is represented as a binary vector of size P , the i th dimension, C_i , ($i \in [1, P]$) stands for the presence ($C_i = 1$) or absence ($C_i = 0$) of the module M_i in the module inventory at the nearby location site. The inventory levels of modules may differ. Call m the number of modules in the inventory, then $m = \sum_{i=1}^P C_i$ and $m \leq P$.

The preassembly performed at a distant location produces m modules M_i .

Note that $|M_i|$ is the number of components in module i . For example, in Fig. 3, $M_i = a_1 a_2$, $|M_i| = 2$ and $M_k = a_1 a_4 a_5$, and $|M_k| = 3$.

Note that $AT(C)$ is the mean assembly time of the final product from the set of modules C .

The model is formulated as follows:

$$\begin{aligned} \text{Min } C & \quad (1) \\ \text{s.t. } AT(C) < x & \quad (2) \end{aligned}$$

where

$$\begin{aligned} \text{Cost} = & \text{Preassembly cost} + \text{Fixed transportation cost} \\ & + \text{Variable transportation cost} + \text{Final assembly cost.} \end{aligned} \quad (3)$$

The solution to problem (1), (2) determines the stock composition represented by vector C . Constraint (2) ensures that the mean assembly time is acceptable to the car assembly plant.

To compute the cost C in (3), the following assumptions are made.

- A wire harnesses is principally composed of a set of cables and connectors.
- The cost of each elementary assembly operation is identical due to the similar level of assembly difficulty.
- The preassembly cost is then proportional to the number of components being assembled in each module M_i present in the stock

$$\text{Preassembly cost} \propto \sum_{i=1}^P C_i (|M_i| - 1). \quad (4)$$

For example, the module composed of three components a_1 , a_2 , and a_3 involves two assembly operations. Therefore, the cost is double that of assembling a_1 and a_3 involving one operation only.

The transportation cost from the distant to the nearby location site includes fixed and variable transportation cost.

- The fixed transportation cost is assumed to be proportional to the number of different items managed (i.e., the number of different modules (m))

$$\text{Fixed transportation cost} \propto m. \quad (5)$$

- Each module is delivered in fixed intervals and quantities. The variable transportation cost is then proportional to the volume of a module (for simplicity, it is considered to be proportional to the number of components in a module)

$$\text{Variable transportation cost} \propto \sum_{i=1}^P C_i |M_i| \quad (6)$$

The transportation to the car assembly plant is not included in the proposed model. Indeed, this cost depends on the demand but it is independent of the modular design.

The final assembly cost is assumed to be proportional to the mean final assembly time

$$\text{Final assembly cost} \propto AT(C) \quad (7)$$

The final assembly time (AT) is assumed to be proportional to the number of final assembly operations. This assumption

reflects the fact that the assembly of two modules involves the same level of difficulty, whatever the modules are (see Fig. 2).

Let $NA(P_j, C)$ be the number of final assembly operations needed to obtain product P_j from the stock mix C . To determine $NA(P_j, C)$, it is necessary to solve a set partitioning problem [9] determining the minimum number of operations needed to assemble product P_j from the stock mix C . In this paper, this problem is solved with a greedy heuristic presented in [5].

The parameter $p(P_j)$ of this model denotes the probability of demand for product P_j . Each year, the contractor and the supplier negotiate the quantities of each product P_j to be manufactured, however, the sequence of products is not known since it depends on the customers' orders.

The relationship between the mean final assembly time and the number of final assembly operations is

$$AT(C) = \sum_j p(P_j) \times NA(P_j, C). \quad (8)$$

The objective function is hence expressed as

$$\text{Cost} = \alpha \sum_{i=1}^P C_i (|M_i| - 1) + \gamma \cdot m + \beta \sum_{i=1}^P C_i |M_i| + \delta AT(C). \quad (9)$$

The cost in (9) is a linear function of four different costs. However, the model (1), (2), with the cost function represented by (9), is nonlinear as the final assembly time (AT) is nonlinear.

B. Problem Description

The model (1), (2) with the cost function in (9) is illustrated with the following example. For a simple product family (31 products made from five components), the number of different modules varies from five (make-to-order) to 31 (make-to-stock) products. An exhaustive list of all possible configurations enables determining the extreme assembly times. Fig. 4 represents the minimum and maximum mean final assembly time (y -axis) as a function of the number of different modules (x -axis). This example shows that the mean assembly time varies from 0 to 1.6 time units (t.u.). A mean assembly time of 0 occurs when all possible subassemblies are present in the stock; in this case, whatever the product that is required by a customer, it is present in the stock and final operation is not required.

If the acceptable mean assembly time x is 0.8 t.u. (represented by the dotted line), 16 modules or more guarantee that the average demand is met on time (the maximum mean assembly time for 16 modules is 0.8 t.u.). Note that a "good" configuration of 9 different modules satisfies the maximum time constraint. Different stock compositions (C) make it possible to respect the mean assembly time. Besides, all of them do not have the same cost (9). It is then necessary to select a composition that minimizes this cost.

For the set of modules that satisfy the time constraint (the mean assembly time $< x$), the extreme costs for two sets of parameters ($\alpha, \gamma, \beta, \delta$) are shown in Figs. 5 and 6.

The proposed set of parameters ($\alpha = 1, \gamma = 2, \beta = 0.4$, and $\delta = 10$) is consistent with the industrial practice. The ratio of labor cost between a distant location and a nearby location $\delta/\alpha = 10$ represents the actual situation in Europe (e.g., the

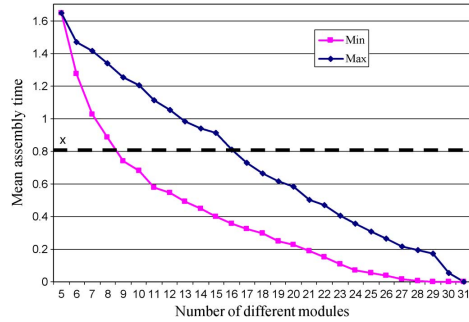


Fig. 4. Function of the min and max mean assembly time and the number of modules.

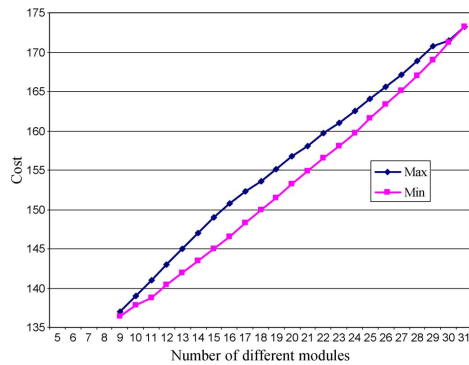


Fig. 5. Extreme costs for $\alpha = 1$, $\gamma = 2$, $\beta = 0.4$, $\delta = 10$.

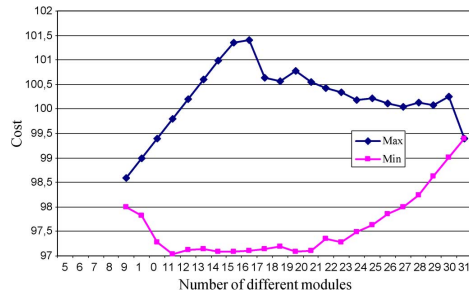


Fig. 6. Extreme costs for $\alpha = 1$, $\gamma = 0.4$, $\beta = 0.1$, $\delta = 10$.

labor cost in France is 25 Euro/h, the labor cost in Latvia is 2.4 Euro/h²).

²Labor costs in 2000, Ref: IRSOC023 INSEE, 24/12/03, Eurostat European Community.

The parameters $\alpha = 1$, $\gamma = 0.4$, $\beta = 0.1$, and $\delta = 10$ represent a different transportation condition that the supplier wishes to evaluate.

Comparing the results in Figs. 5 and 6, it appears that transportation costs have a significant impact on the best stock composition (C) that minimizes the cost (9). Figs. 5 and 6 are determined by the computation of all possible case with five components. Because of combinational effects, these curves are not determined for a larger number of components.

Using the parameters selected for the case presented (Fig. 5), it is more expensive to stock items than to process them at a nearby location.

In this case, the worst solution (make to order) (i.e., all assemblies are produced at the nearby plant) is 25% more expensive than the optimal one (stocking nine different modules). One observes that the optimal solution minimizes the cost of possessing the modules held as the stock (called a possession stock).

Stocking the minimum number of modules (i.e., the smallest stock that guarantees the customer accepted mean assembly time x) does not always lead to optimum as illustrated in the example presented next.

Consider that the labor is the main source of cost. Stocking the minimum (i.e., nine modules) is not the optimal solution even if it minimizes the transportation cost (6). Interestingly enough, in this case, lower labor costs (the modules are assembled at the distant plant and then transported to the nearby location) is beneficial. Fig. 6 shows that the optimum is reached while stocking 12 modules.

The two examples illustrated in Figs. 5 and 6 show that selecting the right module design is a major issue.

V. SOLVING THE MODEL

What sets of modules should be considered for a product? In fact, this question cannot be answered ex-ante as every possible module mix that enables obtaining all final products has to be considered.

To ensure that each final product could be assembled without extra components (some upgrade of the product), the mix has to include n single components. It is then possible to evaluate the number of compositions to consider. The $P - n$ final products that are not the n single components can be present or not in the stock composition. In total, there are 2^{P-n} different compositions to consider. This number corresponds to all combinations of these $P - n$ elements.

This problem (1), (2) is computationally complex and, therefore, it is reasonable to generate a suboptimal solution. Two heuristics are proposed to minimize the cost (3) under a fixed mean assembly time. Their performance has been studied, and simulated annealing results are provided.

A. Module-Frequency Heuristic

Consider a heuristic algorithm based on the demand frequency for modules (level of demand for each module). This heuristic minimizes the mean assembly time and uses a penalty coefficient that penalizes the modules that are not compatible with the selected module.

For a given number of modules m , the heuristic is as follows:

TABLE I
PRODUCT DEMAND (EXAMPLE WITH 4 COMPONENTS)

	a	b	c	d	ab	ac	ad	bc	bd	cd	abc	abd	acd	bcd	abcd
Product demand	0.01	0.07	0.01	0.06	0.1	0.04	0.09	0.07	0.08	0.01	0.17	0.15	0.05	0.05	0.05

TABLE II
MODULES POTENTIAL USE (EXAMPLE WITH 4 COMPONENTS)

	a	b	c	d	ab	ac	ad	bc	bd	cd	abc	abd	acd	bcd	abcd
Module usage	0.66	0.74	0.45	0.54	0.47	0.31	0.34	0.34	0.33	0.16	0.22	0.2	0.1	0.1	0.05

TABLE III
POTENTIAL MODULES AFTER SELECTION OF MODULE AB WITH PENALTY COEFFICIENT ($pc = 0.05$)

	a	b	c	d	ab	ac	ad	bc	bd	cd	abc	abd	acd	bcd	abcd
Module usage	X	X	X	X	X	0.0155	0.017	0.017	0.0165	0.16	0.0005	0.0005	0.005	0.005	0.0001

- 1) The n modules composed of unique basic components are selected.
- 2) For j from 1 to $m - n$:
 - a) Select a module that is most frequently used in assembly.
 - b) The penalty coefficient (pc) is used: the frequency of the modules sharing common components is multiplied by pc .
 - c) Set $j = j + 1$.

The module-frequency heuristic is illustrated with the following example. Consider 4 components that result in 15 final products. The demand probability for each product is given in Table I. In the industrial application, Table I is constructed based on the historical commercial data and marketing projections.

Module ab can be used to obtain the following products: ab, abc, abd, and abcd. Table II represents the usage probability of each module for the product demand in Table I.

To make sure that a component is not used more than once in a given product, a penalty coefficient is used. The same applies to the modules. Assume the penalty coefficient (pc) is 0.05. For six modules ($m = 6$), the first iteration of the heuristic produces the following five modules: a, b, c, d (the basic components have to be available) and ab (highest frequency of assembly). The modules that have components common to ab are penalized. The frequency of each module containing the component a or b is multiplied by pc , the frequency of each module containing components a and b is multiplied by pc^2 . The results are summarized in Table III.

In the next iteration, cd is selected.

For six different stocked modules, the composition generated by the module-frequency heuristic with $pc = 0.05$ is then

$$\{a, b, c, d, ab, cd\}.$$

The computational time complexity of the algorithm depends of the number of basic components n . It requires:

- Selection of the n basic components.
- For $i = 1$ to $m - n$.

- Select a module with the highest frequency of assembly ($((P - n - i)$ elementary selections i).
- After the selection of one of the $m - n$ modules, apply the penalty coefficient.

The total number of elementary operations is then $\sum_{i=1}^{m-n} (P - n - i)$, which is equivalent to a computational time complexity of $O(Mp)$.

The graphs in Fig. 7 show the total cost established with the module-frequency heuristic with the two sets of parameters described above (Section IV-B).

The graphs in Fig. 7 correspond to the ones in Figs. 5 and 6 (maximum and minimum costs for the two instances) and the compositions given by the module-frequency heuristic for two values $pc = 0.05$ and $pc = 1$. The optimal (the solid circle in Fig. 7) and the preferred compositions generated by the module-frequency heuristic algorithm (the dotted circles in Fig. 7) are determined as follows:

$$\text{Preferred composition} = \min_{i=1, P} \text{Result of the heuristic}_{m=i}.$$

The penalty coefficient impacts the results produced by the module-frequency heuristic. The results in Fig. 7 stress the fact that using a small pc value is important when the number of modules stocked is large. The consequences of the penalty coefficient accumulate at each selection.

A small penalty coefficient impacts only the selection of modules after several uses (i.e., the number of different modules (m) that actually benefits is relatively high).

It has been demonstrated that for a large value m , the fixed transportation cost is low ($\gamma \ll \alpha + \beta + \delta$). Therefore, one concludes that a small penalty coefficient works better (i.e., the given composition will lead to smaller costs) when the relative weight of the number of different modules is small.

Table IV provides the excess cost of this composition which is computed as follows:

$$\begin{aligned} \text{Excess cost of composition } C_i \\ = \frac{\text{Cost.of.composition } C_i - \text{Optimal.cost}}{\text{Optimal.cost}} \times 100. \end{aligned}$$

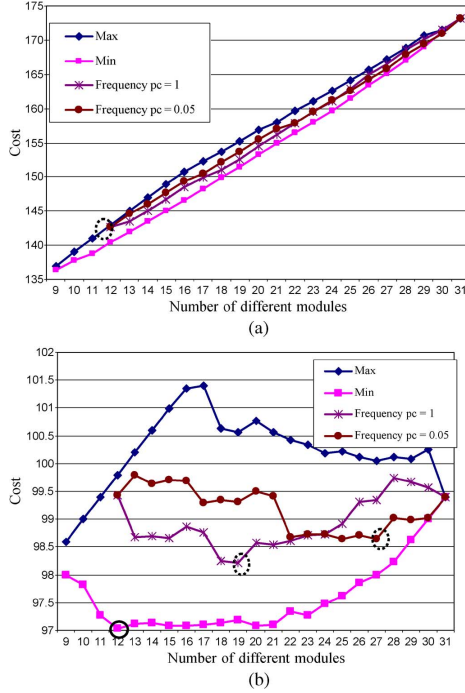


Fig. 7. Results produced by the module-frequency heuristic. (a)—($\alpha = 1$, $\gamma = 2$, $\beta = 0.4$, $\delta = 10$); (b)—($\alpha = 1$, $\gamma = 0.4$, $\beta = 0.1$, $\delta = 10$).

TABLE IV
COSTS AND RELATIVE EXCESS COSTS WITH
THE MODULE-FREQUENCY HEURISTIC

	Instance 1	Instance 2
Optimal cost	136.4	97.1
Worst case cost	171.2	101.4
Worst excess cost	25.5%	4.4%
Heuristically generated cost ($pc = 0.05$)	142.6	99.4
Heuristically generated excess cost ($pc = 0.05$)	4.1%	2.3%
Heuristically generated cost ($pc = 1$)	142.6	98.9
Heuristically generated excess cost ($pc = 1$)	4.1%	1.8%

The module-frequency heuristic determines solutions that are better than the worst-case solution. Nevertheless, the gap between the generated solution and the optimal one is not negligible (about 4% for the first instance).

The module-size heuristic is discussed in the next section.

B. Module-Size Heuristic

Consider a heuristic based on the module size (the number of components in a module). Using the size of the module as a selection criterion seems logical. Of course, the size of the module

TABLE V
COST AND RELATIVE EXCESS COST WITH THE MODULE-SIZE HEURISTIC

	Instance 1	Instance 2
Optimal cost	136.4	97.1
Worst case cost	171.2	101.4
Worst excess cost	25.5%	4.4%
Heuristically generated cost	140.8	97.95
Heuristically generated excess cost	3.2%	0.87%

does impact the preassembly cost and the transportation cost. Furthermore, small modules are usually used in the assembly of more products than the large modules (e.g., a module composed of a unique component can potentially be used in $2^{(n-1)}$ products).

Given the number of different modules m , the module-size heuristic is as follows.

- 1) Select all modules of size $\leq j$, such as

$$\sum_{i=1}^j \binom{n}{i} \leq m \leq \sum_{i=1}^{j+1} \binom{n}{i}$$

$\binom{n}{i}$ is the number of ways of picking i components from the n possibilities: it is the number of different products constituted of i components.

- 2) Sort the $\binom{n}{j+1}$ modules that contain $j+1$ components in a descending order of frequency of assembly.
- 3) Select the $(m - \sum_{i=1}^j \binom{n}{i})$ modules that have the highest frequency of assembly.

The computational time complexity of the algorithm is $O(m \log(m))$.

For six modules, the composition provided by this heuristic is $\{a, b, c, d, ab, ad\}$.

Using the module-size heuristic, a composition can be found for each m . The best selection is performed as in the module-frequency heuristic.

Table V provides the excess cost of this composition. It is computed as explained in Section V-A.

Note in the two examples that the best composition generated by the module-size heuristic is close to optimum.

C. Simulated Annealing

A simulated annealing algorithm was applied for solving the problem discussed in the paper. Introduced in 1980 [14], simulated annealing has been applied successfully to many types of problems [23]. This metaheuristic has already been used for the design of modules. Kreng and Lee [16] integrated functional and physical relationships.

The search space consists of all compositions allowing the assembly of all finished products without standardization. All compositions must contain the necessary elementary components a_i . In total, $2^n - 1 - n$ modules are potentially present in the stock C . All of those that meet the constraints constitute the search space. The size of the search space is too large for an exhaustive search and the objective function does not allow for a gradient approach.

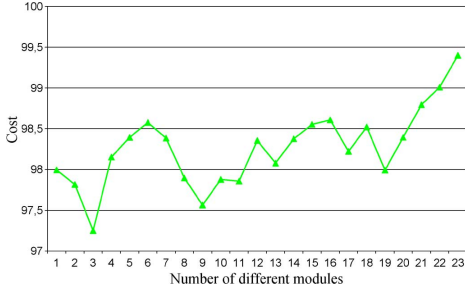


Fig. 8. Simulated annealing of instance 1.

Moreover, it is not possible to determine *a priori* if a stock composition that belongs to the search space respects the time constraint (2).

The constraint represented in (2) is integrated in the evaluation function as follows:

$$\text{Cost} = \begin{cases} \text{Cost}, & \text{if } \text{AT}(C) \leq x \\ \text{Cost} + \text{penalty} * (\text{AT}(C) - x), & \text{else.} \end{cases}$$

The proposed move generates only neighbors that belong to the search space (acceptable configurations). Two configurations C and C' are considered as neighbors if they differ in one module, i.e.

$$\exists i \in [1, 2^n - 1] \text{ such as } \forall k \in [1, 2^n - 1] \setminus i \\ (C_k = C'_k \text{ and } C'_i = (1 - C_i))$$

or

$$\sum_{i=1}^P C_i = \sum_{i=1}^P C'_i$$

The difference between the two costs C and C' is denoted as δCost .

$$\delta\text{Cost} = \text{Cost}(C') - \text{Cost}(C).$$

A neighbor with a lower cost ($\delta\text{Cost} = 0$) is systematically accepted. A neighbor with a higher cost ($\delta\text{Cost} > 0$) can be also accepted. For acceptance of a higher cost neighbor, a random value (in $[0; 1]$) is generated. If this random value is under $e^{-(\delta\text{Cost}/T)}$, then the move is accepted. T is updated after each calculation of T as follows:

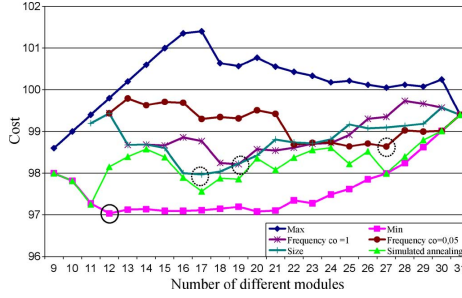
$$T \leftarrow T \times \text{Cooling_coefficient}.$$

The cooling coefficient ensures that T decreases to 0, so that the simulated annealing algorithm converges.

As the efficiency of simulated annealing greatly depends of the initial value, the value selected for starting the computation is the best result produced by the previous heuristic. The observed results are summarized in Fig. 8.

TABLE VI
COST AND RELATIVE EXCESS COST WITH SIMULATED ANNEALING

	Instance 1	Instance 2
Optimal cost	136.4	97.1
Lowest case cost	171.2	101.4
Lowest excess cost	25.5%	4.4%
Simulated annealing generated cost	136.6	97.25
Simulated annealing generated excess cost	0.15%	0.15%

Fig. 9. Comparative analysis of the two heuristics $\alpha = 1, \gamma = 0.4, \beta = 0.1, \delta = 10$.

For the two similar instances similar to the previous ones, the final results with simulated annealing are presented in Table VI.

D. Performance Evaluation

The heuristics were tested on a large number of instances (i.e., different sets of parameters and different demands). The results were consistent with the examples presented in the previous sections of this paper (the graph in Fig. 9 summarizes the performance of the two heuristics). The module-size heuristic quickly determines a good stock composition. The simulated annealing algorithm used the results of the frequency and size heuristics as the initial solutions. The dotted circles show the minimum cost computed with each heuristic. The full circle shows the optimum computed with all of the heuristics.

Note that when the number of components is large, generating an optimal solution is not feasible as the number of possible compositions is excessive (see Section V-B). The performance of a module mix for a large portfolio of products cannot be easily evaluated.

Any of the two heuristics is easy to implement. Therefore, to select the right mix of modules, both heuristics may be applied (using a set of different penalty coefficients for the module-frequency heuristic) and the composition that provides the lower total cost may be selected. In the interest of the decision maker's time, the module-size heuristic is recommended, though both heuristics provide good quality results.

The simulated annealing algorithm solves the problem. Providing initial solutions leads to better quality solutions and reduces computing time.

VI. CONCLUSION

This research emphasized the importance of demand for final products when allocating assembly operations in a supply chain. This decision impacts the overall cost structure, as it determines the assignment of operations and inventory performed at locations with different assembly costs. Based on the industrial case study, a cost function is proposed that integrates operations performed at different locations and the time-to-market constraint.

Two heuristic algorithms were designed to solve this combinatorial problem. The effectiveness of the algorithms was illustrated with examples and an industrial case study. Numerical examples illustrated that a "good" design can save up to 25% of the total production cost. Two heuristics were proposed to select a proper stock mix. The first heuristic is based on the frequency of components usage across different products. The second one is based on the module size and it performed better. Simulated annealing is useful to improve previous solutions.

If no acceptable solution (stock mix) is available for a given mean assembly time, a supplier may need to renegotiate the contract for a longer lead time.

In the model considered in this paper, an assumption was made that dealers were not intervening in the product personalization (e.g., changing wheels or adding a sunroof to a car). Future research will lead to the investigation of less restrictive models. For example, the use of multiple locations with different labor costs and different transport costs could be considered. Furthermore, models with a stock-level decision variable could be developed.

For decision makers, an important parameter is the robustness of the solution they want to implement. In this particular case, it could be interesting to study the performances of the results given by the heuristics, when the weights of the costs and/or the demand change. Obtaining this information could be the subject of further work.

REFERENCES

- [1] B. Agard and A. Kusiak, "Data-mining based methodology for the design of product families," *Int. J. Prod. Res.*, vol. 42, no. 15, pp. 2955–2969, 2004.
- [2] B. Agard and M. Tollenaere, "Design of wire harnesses for mass customization," presented at the 4th Int. Conf. Integrated Design and Manufacturing in Technical Engineering, Clermont-Ferrand, France, 2002.
- [3] B. Agard and M. Tollenaere, "Design of product families: methodology and application," presented at the 14th Int. Conf. Engineering Design, Stockholm, Sweden, 2003.
- [4] O. Briant and D. Naddef, "The optimal diversity management problem," *Oper. Res.*, vol. 52, no. 4, pp. 515–526, 2004.
- [5] V. Chvátal, "A greedy heuristic for the set covering problem," *Math. Oper. Res.*, vol. 4, no. 3, pp. 233–235, 1979.
- [6] P. Child, R. Diederichs, F. H. Sanders, and S. Wisniewski, "The management of complexity," *Sloan Manag. Rev.*, vol. 33, no. 1, pp. 73–80, Fall, 1991.
- [7] C. da Cunha, "Définition et gestion de produits semi-finis en vue d'une production de type assemblage à la commande," Ph.D. dissertation, Organ. Ind. Syst. Prod., Inst. Nat. Polytechn. Grenoble, Grenoble, France, 2004.
- [8] F. Erens and K. Verhulst, "Architectures for product families," *Comput. Ind.*, vol. 33, no. 2–3, pp. 165–178, 1997.
- [9] K. Fujita, "Product variety optimization under modular architecture," *Comput.-Aided Design*, vol. 34, no. 12, pp. 953–965, 2002.
- [10] M. Garey and D. Johnson, *Computers and Intractability: A Guide to the Theory of NP-Completeness*. San Francisco, CA: Freeman, 1979.
- [11] J. P. Gonzalez-Zugasti, K. Otto, and J. Baker, "A method for architecting product platforms," *Res. Eng. Design*, vol. 12, no. 2, pp. 61–72, 2000.
- [12] C. C. Huang and A. Kusiak, "Modularity in design of products and systems," *IEEE Trans. Syst., Man, Cybern. A, Syst., Humans*, vol. 28, no. 1, pp. 66–77, Jan. 1998.
- [13] J. Jiao and M. Tseng, "A methodology of developing product family architecture for mass customization," *J. Intell. Manuf.*, vol. 10, no. 1, pp. 3–20, 1999.
- [14] S. Kirkpatrick, C. Gelatt, and M. Vecchi, "Optimization by simulated annealing," *Science*, vol. 220, pp. 671–680, 1983.
- [15] I. Kocher and P. Rolland, "Quand les structures dessinent les produits," *Gérer comprendre*, vol. 39, pp. 38–48, 1995.
- [16] V. Kreng and T. P. Lee, "Modular product design with grouping genetic algorithm—a case study," *Comput. Ind. Eng.*, vol. 46, no. 3, pp. 443–460, 2004.
- [17] A. Kusiak and C. C. Huang, "Development of modular products," *IEEE Trans. Compon., Packag., Manuf. Technol. A*, vol. 19, no. 4, pp. 523–538, Dec. 1996.
- [18] A. Kusiak, *Engineering Design: Products, Processes and Systems*. San Diego, CA: Academic, 1999.
- [19] H. L. Lee and C. S. Tang, "Modeling the costs and benefits of delayed product differentiation," *Manag. Sci.*, vol. 43, no. 1, pp. 40–53, 1997.
- [20] J. P. MacDuffie, K. Sethuraman, and M. L. Fisher, "Product variety and manufacturing performance: Evidence from the international automotive assembly plant study," *Manag. Sci.*, vol. 42, no. 3, pp. 350–369, 1996.
- [21] M. V. Martin, "Design for variety: A methodology for developing product platform architectures," Ph.D. dissertation, Dept. Mech. Eng., Stanford Univ., Stanford, CA, 1999.
- [22] S. K. Martin, "Modular production—a new concept," *Harvard Bus. Rev.*, pp. 131–142, Nov./Dec. 1965.
- [23] R. Otten and L. van Ginneken, *The Annealing Algorithm*. Norwell, MA: Kluwer, 1989.
- [24] J. Swaminathan and S. Tayur, "Managing broader product lines through delayed differentiation using Vanilla Boxes," *Manag. Sci.*, vol. 44, no. 12, pp. 161–172, 1998.
- [25] D. Twede, R. H. Clarke, and J. A. Tait, "Packaging postponement: A global packaging strategy," *Packag. Technol. Sci.*, vol. 13, no. 3, pp. 105–115, 2000.
- [26] A. S. Yigit, A. G. Galip-Ulsoy, and A. Allahverdi, "Optimizing modular product design for reconfigurable manufacturing," *J. Intell. Manuf.*, vol. 13, pp. 309–316, 2002.
- [27] J. S. Yu, J. P. Gonzalez-Zugasti, and K. Otto, "Product architecture definition based upon customer demands," in *Proc. DETC ASME Design Theory and Methodology Conf.*, Atlanta, GA, 1998, pp. 271–277.



Catherine da Cunha received the Ph.D. degree from the Institut National Polytechnique de Grenoble (INP), Grenoble, France, in 2004.

Currently, she is an Assistant Professor in industrial engineering with the Laboratoire GILCO, École Centrale de Nantes, Nantes, France. Her main interests are in the area of information use within the firm and the production and organizational field. She is particularly interested in the potential of partial or immature information for decision aid.



Bruno Agard graduated in manufacturing from École Normale Supérieure de Cachan, Paris, France, in 1998 and received the Ph.D. degree in industrial engineering from the Institut National Polytechnique de Grenoble, Grenoble, France, in 2002.

Currently, he is an Assistant Professor of Industrial Engineering with the École Polytechnique de Montréal, Montréal, QC, Canada. He is interested in the design of products, processes, and logistics and in applications of data mining in engineering.



Andrew Kusiak (M'89) is a Professor in the Department of Mechanical and Industrial Engineering at the University of Iowa, Iowa City, Iowa. He is interested in applications of computational intelligence in automation, energy, manufacturing, product development, and health care. He has published many books and technical papers in journals sponsored by professional societies, such as the American Association of Artificial Intelligence (AAAI), Institute of Industrial Engineers (IIE), International Federation of Information Processing (IFIP), Society of Manufacturing Engineers (SME), and other professional organizations. He speaks frequently at international meetings, conducts professional seminars, and consults for industrial corporations. He has served on editorial boards of more than thirty journals. He is the Editor-in-Chief of the *Journal of Intelligent Manufacturing*.
Prof. Kusiak is an IIE Fellow.

Heuristics for Determining Module Stocks

Heuristics for Determining Module Stocks in Assemble-to-order Systems

Catherine da Cunha* — Yannick Frein**

* IRCCyN

1, rue de la Noë, BP 92101

F-44321 Nantes Cedex 03

Catherine.da-cunha@irccyn.ec-nantes.fr

** Laboratoire G-SCOP

INP Grenoble-UJF-CNRS

46, avenue Félix Viallet

F-38031 Grenoble Cedex 1

Yannick.Frein@g-scop.inpg.fr

ABSTRACT. *In an assemble-to-order context, the choice of a modular design is of paramount importance. The selection of the semi-finished products that would be kept in stock, indeed impacts the whole supply chain (storage, transport, production, etc.). In this article, this lever is used to minimize, for a given number of stocked modules, the mean final assembly time. The choice of a stock composition has to be done according to the information about the demand; the major issue is to address this problem when the demand is not totally known. Here, an original modelling that enables to integrate this aspect is proposed. This combinatorial optimization problem is addressed using heuristics. The performances of the proposed heuristics are evaluated through computational tests with different repartition of demands. Furthermore, the heuristics are studied when dealing with partial information about final demand. Results show that the heuristics are pertinent; they also stress the impact on performances of information acquisition.*

RÉSUMÉ. *Dans un système de production de type assemblage à la commande choisir les produits semi-finis à stocker est crucial : cette décision impacte tant les délais que les coûts de production. La composition du stock de produits semi-finis doit être choisie en intégrant l'information sur la demande, qui peut être partielle. Cet article présente des heuristiques permettant, pour un nombre de modules donné, de choisir les produits semi-finis pour minimiser le temps moyen d'assemblage final. Les résultats des simulations montrent que ces heuristiques permettent d'utiliser l'information partielle sur la demande et d'obtenir des performances intéressantes.*

MOTS-CLÉS : *production, information, heuristiques, assemblage à la commande.*

KEYWORDS : *Production, Information, Heuristics, Assemble-to-Order.*

DOI:10.3166/JDS.17.403-424 © 2008 Lavoisier, Paris

1. Introduction

Assemble to order (ATO) is a production policy that enables to manage an important diversity from a limited number of modules (semi-finished products) (Starr, 1965). Those modules are produced in advance and stocked. Then, only after a firm order is received, final products are assembled from modules. If postponement timing within the production line is a strategic issue that has tremendous repercussion on the firm performances, the operational issue of the implementation of this modular production is also very important.

The choice of the number of types of modules to stock, as well as the determination of the composition of this stock, have a direct impact on delivery time (through the assembly time) but also on the production cost (possession cost and assembly labour cost). Prior research addressed the question of modular design considering various points of view, e.g. the minimization of test costs (Huang and Kusiak, 1999), outsourcing and supplier/prime-contractor relationships (Hsuan Mikkola, 2003).

If the production policy of the supplier is ATO, the final assembly time is a key parameter. This time between order and command readiness represents the major awaiting time perceived by the customers. This time mainly depends on available modules. Therefore the choice of the different types of modules to store is crucial. The term composition will here be used to refer to the set of modules that will be held in stock and used to assemble the final products

The repartition of demand between the different final products of the portfolio has to be considered. Studies (Gavirneni *et al.*, 1999; Lee and Whang, 2000) have shown that major savings could be obtained when this information is appropriately used. Nevertheless, this demand repartition is sometimes not fully available. Only partial information about the demand can be at the disposal of the decision makers. In particular, the exact repartition of demand between products can be difficult to obtain when diversity is large or when the manufacturer is not the final retailer. The proposed methods must therefore also perform when dealing with this information lack. Throughout this article the term “information” will refer to any kind of market intelligence that describes (even partially) the demand for final products.

The objective of this article is to provide efficient methods to get efficient composition (considering the mean assembly time). Let us specify that we will develop these methods when information is sparse.

To address this issue a modelling is proposed, it enables to integrate the pieces of information that are at disposal. Simple algorithms are also proposed, they aim at illustrating the importance of the information factor in this phase of the ATO implementation.

In Section 2 the industrial problem will be explained and the literature of interest to the problem discussed. The model developed in the paper is presented in

Section 3. Section 4 discusses heuristic algorithms for solving the problem of Section 3. Finally computational results are described in Section 5.

2. Issues of the problem

2.1. Industrial question

When competition is strong, constructors choose to differentiate their products to attract new buyers. This final offer, seen by the client, creates an industrial diversity that has to be managed.

The present study addresses a problem that is frequently observed in practice. The automotive sector is one of the leaders in the diversity offered to the client (e. g. Toyota claims that each Echo is unique). An important diversity is also passed on to the automotive suppliers through the prime contractor-supplier relationship (Ciavaldini and Loubet, 1995). For example, the functional offer of the product wire harness is very important, even for a “middle range” vehicle like the Peugeot 306: 15 functions available on several versions (1 to 9). For this car, there are potentially 7 million different wire harnesses for a unique car model. This diversity has to be compared with the annual sale volume which reaches 350 000 vehicles (Agard and Tollenaere, 2002).

The management of this product diversity is a major issue for firms. It is therefore necessary to find a production policy that enables to offer a wide portfolio without endangering the economic stability of the firm.

Assemble to order is an alternative to make to stock (not adapted because the majority of the references will not be demanded at all), but also make to order (impossible because of the short delivery time). The choice of the right modules to stock, definition of modules, as well as an adapted inventory management will then enable to obtain the right final product at the right time.

This issue is not only present in the automotive sector. Indeed, when product diversity is large, groupings of basic components are often necessary. In the computer business, peripheral equipments as well as motherboards are pre-assembled, whereas software tools are also pre-grouped (Baldwin and Clark, 1997).

2.2. Usual criteria and chosen approach

Modular design classically considers functional or physical criteria. The identification of functional or physical interactions between components and the grouping of the components having strong interaction indeed enable to obtain independent modules. Those modules are easily standardized which permits costs minimization. To implement this method, Huang and Kusiak (1998) recommend a

matrix modelling. To integrate both functional and physical interactions, Kreng and Lee (2004) use a meta-heuristic approach. Agard and Tollenaere (2002) propose modular design methods that enable to find a trade-off between obtaining delay and diversity of modules. This model takes into account the functional constraints of the standardized products to be sold.

In this article the problem of the determination of the semi-finished products to store is considered taking into account the time of assembly. Swaminathan and Tayur (1998, 1999) also consider this question in order to take into account an assembly capacity. The considered modules are called Vanilla Boxes (VB). In their problem **only one** VB can be used to obtain a final product. A final product will then result of the assembly of at most one **single** VB and the missing components. For small stocks (less than 5 VB), the method they propose enable to address the problem of the Vanilla Boxes stock composition but also the question of inventory level for each of their VB. They consider perfect information about demand described through scenarios.

The present study addresses a design that optimizes assembly time for a given number of modules. This approach is very interesting for industries that face strong temporal constraints due to their delivery rules. The goal is to define heuristic methods to treat real size examples. An originality of this study comes from the integration of a major characteristic of information describing demand: its incompleteness.

3. The model: modules and products

3.1. Notations and hypothesis

The following notations will be used: n is the number of options, carried out by n components, $a_1, \dots, a_n$. Note m_j , $j = 1, \dots, TS$ the stocked modules. A module is a set of components. In this work, let's suppose *a priori* that there are no exclusive or inclusive relationships between options (this assumption can easily be relaxed by forcing to 0 the probability of demands of some products). That is to say that, without clear information that indicates the contrary, there exist then $2^n - 1$ final products P_i (the product without options is not considered). The set of final products will be called $\mathbf{P}$. A product can be either assembled from components and/or modules. Note A_1A_3 the final product composed of the components a_1 and a_3 and M_1M_3 the final product obtained from modules m_1 and m_3 . Call $\mathbf{D}$ the final demand and $P(P_i)$ the probability that a demand is for product P_i ($\mathbf{D} = (P(P_1), \dots, P(P_{2^n-1}))$). $P(a_i)$ represents the probability that a demand is for a product containing component a_i , and $P(a_1 \cap a_2)$ the probability that a demand is for a product containing component a_1 and a_2 . A stock composition will be noted C , it refers to all the modules that are held in stock, the number of types of modules in stock is TS .

The considered production policy is such that downward substitution is forbidden. That is to say that the assembled product cannot have options that were not demanded, and therefore were not paid, by the client. This constraint also implies that the final product cannot have doublet (only different options can be assembled). This constraint of exact satisfaction of the customer results in a characterization of the acceptable compositions.

An acceptable composition comprises all the modules made up of single component. Whatever the demanded final product (including the products made up of single component) it could be obtained by assembly of the basic components in stock. The number of references of modules in stock (TS) could then not be lower than the component count ($TS \geq n$). The 2^n-1-n products having at least two components can be present or not in an acceptable composition. If TS modules have to be chosen, $C_{TS-n}^{2^n-1-n}$ compositions have to be considered.

The assembly line is such that every assembly operation needs the same time. For example let us consider the product M_1M_3 . It requires one assembly operation ($m_1 + m_3$), *i.e.* one time unit. The product $M_1M_3M_7$ requires two assembly operations ($m_1 + m_3 + m_7$), *i.e.* two time units.

This assumption reflects the fact that the assembly of two modules involves the same level of difficulty, whatever the modules are. In the production of wire harnesses, the assembly operations between modules are mostly composed of clipping or sellotapping. In this environment the major time consuming operation is the placing of the module on the workplace, which is quite the same for every module. This characteristic may not be true in other context, to take into account the difficulty, hence the time of assembly of a given module an extended model could use "assembly weights" for each module (this weight could for example be proportional to the mass of the module).

3.2. What is at stake?

The question addressed in this paragraph is importance of the definition of the modules to be stocked in order to optimize a time criterion. To show the disparity of the assembly times obtained with the same number of stored modules, an example is studied. For each stock size TS , we give, the optimal composition and the one leading to the longest mean assembly time.

Consider a case with 5 components. Figure 1 represents the minimal and maximal mean final assembly time as a function of the number of different stored modules. The X axis represents the number of types of stored modules (TS), while the Y axis represents the mean assembly time. We can see that for this example, the mean assembly time can vary from 1.6 time units ($TS=5$, make to order) to 0 ($TS=31$, make to stock). The curves show that for a given number of modules in stock, the mean assembly time can double with a non-adapted choice of modules. A

systematic increase of the number of stocked references is not the ultimate politics. Indeed, point *B* stresses the fact that the considered composition ($TS=17$) leads to a mean assembly time longer than the one obtained with composition *A* ($TS=9$). This phenomenon is also found in bigger instances.

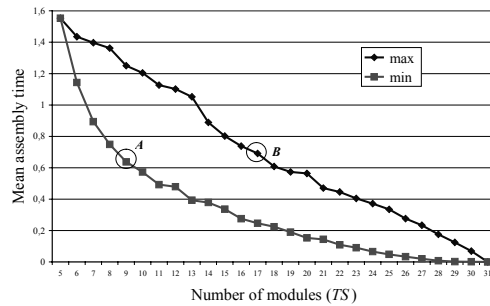


Figure 1. Mean assembly time extremes

Choosing the right modules can permit major savings. Indeed, the delay required by the customer can be respected while stocking fewer different modules. Management costs are not only composed of inventory costs, sources of costs such as maintaining an up-to-date BOM, a procedure to manual handling for each kind of stored items, are a function of the number of references. The management costs can then be reduced, as well as the risk of immobile inventory.

This source of costs should not be underestimated, according to the AASA (Automobile Aftermarket Suppliers Association) the overall value of immobile inventory (products and components that have not moved in the last 12 months) is estimated at 6 billion dollars, for all constructors. This immobile inventory costs 1.5 to 2 billion per year (Smart, 2004).

3.3. Criteria

The stocks of modules can be evaluated with 2 main criteria: the number of different stocked modules and the assembly time needed to satisfy an order. If assembly time must respect a constraint, the minimization of the size of the stock that enables the assembly within the tolerable delay has to be considered. If the number of available references (*i.e.* the number of different modules, TS) is fixed (choice at a different decision level), the optimization concerns the minimization of the assembly time, it is this case that we are interested in.

The objective on assembly time can apply on the worst case, *i.e.* longest final assembly time, or on the mean assembly time. The criterion of mean assembly time minimization also makes sense if there are many products. The needed information about the product demand defines a stochastic environment; the mean time will correspond to the expected value of assembly time. In this paper, this latter criterion will be considered.

Assembly time is assumed to be proportional to the number of assembly operations (cf. 3.1). Mean assembly time can then be assimilated to the expected value of the number of assemblies. Note $NA(P_b, C)$ the number of assemblies necessary to the obtaining of the product P_i starting from the composition of stock C . The obtaining of $NA(P_i, C)$ is stressed in Section 3.4.2.

Equation [1] shows the relation existing between number of assemblies and mean assembly time, noted $TA_d(C)$.

$$TA_d(C) = \sum P(P_i) \times NA(P_b, C) \quad [1]$$

The problem is then formalized as follows for a given TS :

$$\text{Min}_C TA_d(C). \quad [2]$$

S.T.

$$|C| = TS \quad [3]$$

3.4. Sub-problems

3.4.1. Demand of products

An important input to define the modules to stock is the information about their “consumption”, but the obtaining of this data may be problematic.

When considering the information about the sale of products, the more precise information is the one that gives precisely the probability of demand for the different products. This information will enable the best design of the procurement, production and distribution chain.

Nevertheless, this information about final demand is not always available (or reliable). The knowledge of the components (basic elements of the product) demand will be considered as the lowest level of information. Without this (real or estimated) information, it is impossible to buy material or book production (or assembly) capacity. Graduations for the demand knowledge, *i.e.* intermediate levels between “demand for options” and “demand for products”, can be imagined. For example the joint demand for a set of components can be available. Those different information levels and their management will be explained in § 4.1.1 and 4.1.2.

3.4.2. Bill of materials

A central question is how to assemble a product from the stock. For each final product P_i , a set of modules of the stock (composition C) has to be found, which, by assembly, make it possible to obtain this given product. This set is the bill of materials (BOM) of P_i , it is called $G_C(P_i)$.

The number of assemblies to obtain the product P_i from the composition C is then $NA(P_i, C) = |G_C(P_i)| - 1$. The obtaining of $|G_C(P_i)|$ will be described in § 4.1.3.

4. Methods

4.1. Treatment of the sub-problems

4.1.1. The demand modelling

A model of available information about demand is proposed. A hierarchy permits to describe the graduation of information at disposal. The detailed description of this model can be found in (da Cunha, 2004).

Level 1. Only the demands for the different components are available:

$$\{P(a_1), \dots, P(a_n)\}$$

Level 2. Demands for components as well as joint demands for 2 components are at disposal

$$\left\{ \begin{array}{l} P(a_1), \dots, P(a_n) \\ P(a_1 \cap a_2), \dots, P(a_{n-1} \cap a_n) \end{array} \right.$$

Level i. Information of prior levels as well as joint demands for i components are at disposal

$$\left\{ \begin{array}{l} P(a_1), \dots, P(a_n) \\ P(a_1 \cap a_2), \dots, P(a_{n-1} \cap a_n) \\ \vdots \\ P(a_1 \cap a_2 \cap \dots \cap a_i), \dots, P(a_{n-i} \cap \dots \cap a_n) \end{array} \right.$$

At level n the demand for final products is available.

4.1.2. The demand: uncertainty and its management

The evaluation of performance for the proposed heuristics will be carried out for the various levels of information described previously.

As the heuristics requires total information, it will be necessary to deduce information on the coherent final demand from available information. Note D1

(resp. D2, D3, etc.) the demand for final products created with the maximum entropy principle from the information of level 1 (resp. level 2, level 3, etc.).

To establish a projection of the demand for final products from the partial information at disposal, 2 different methods can be used: the independency and the maximum entropy principle.

A way to obtain a unique repartition of demands for final products from partial information is to assume that the demands for the different components are independent. Then for a case with 3 components a, b, c, the demand for the product AB composed of components a and b, can be obtained as follows: $P(AB) = P(a) \times P(b) \times (1 - P(c))$. This approach enables to use the information of level 1; nevertheless the information available at higher levels can not be easily considered. Therefore another approach is required, it will compensate for the lack of the independency method, which will not be further detailed herein.

The maximum entropy principle (**MEP**) enables to perform this integration of partial information when generating a consistent demand for final products. Shannon (1948) extends the concept of entropy from the thermodynamics area to the information one. The entropy value of a random variable X that takes values $x_i \in I$ characterizes its value and is defined by the following relation $H(X) = \sum_i p_i \log p_i$, where $p_i = P(X = x_i)$. Jaynes (1975a, 1975b) showed that the notion of entropy could be an alternative to the Laplace's principle of indifference¹. The probability distribution that maximizes entropy is uniquely defined as the one that is most detached from missing information, while being consistent with the information at disposal. For a given level of partial information, using the maximum entropy principle enables to find a demand for final products, without making hypothesis on possible relationships between components. This method is developed in (da Cunha and Frein, 2005).

To illustrate this method of information generation, consider an example with 3 components a, b and c that enable the production of 7 final products. We assume that only information of level 1 is at disposal ($P(a) = P(b) = P(c) = 0.8$). The optimization problem is then:

$$\begin{aligned} \text{Max } H &= \sum_i -P_{D1}(P_i) \log P_{D1}(P_i) \\ \text{S.T. : } \quad &\sum_i P_{D1}(P_i) = 1 \\ &\sum_{i, a \in P_i} P_{D1}(P_i) = P(a) \\ &\sum_{i, b \in P_i} P_{D1}(P_i) = P(b) \\ &\sum_{i, c \in P_i} P_{D1}(P_i) = P(c) \end{aligned}$$

And the resolution gives us the total information:

1. According to Laplace's Principle of Indifference, two events should be treated as "equally possible" if there is no reason to prefer one to another.

$$\left\{ \begin{array}{l} P_{D1}(A) = P_{D1}(B) = P_{D1}(C) = 0.0343 \\ P_{D1}(AB) = P_{D1}(AC) = P_{D1}(BC) = 0.131 \\ P_{D1}(ABC) = 0.503 \end{array} \right.$$

The problem of entropy maximization can not be exactly solved when the number of variables (*i.e.* products) is important. In this case, techniques that enable to obtain approached solution should be used. Here, the Uzawa's algorithm (ALG1, Fortin and Glowinski, 1982), which is a fixed step length gradient, is used.

Even, with poor information, level 1, this method performs better than the independency method. Furthermore the addition of pieces of information increases the accuracy of the generated demand (da Cunha, 2004).

4.1.3. Bill of materials

To evaluate the performance of a given stock composition, it is necessary to know how to obtain each final product from the modules in stock.

Let's model this problem. Recall that $P = \{P_1, \dots, P_{2^n-1}\}$ is the final products set and $C = \{m_1, \dots, m_{1S}\}$, $m_i \in P$ the stocked modules. First, it is necessary to check that each product can be assembled from the stored modules. In the studied case, this is guaranteed by the choice of acceptable compositions (containing all the modules made up of single component). The goal is then to find a sub-set $G_C(P_i) \subseteq C$ of minimum size such that the assembly of $G_C(P_i)$ modules enables to obtain final product P_i .

This problem of the bill of materials is also known as **Set Cover**. This problem is NP-hard (Garey and Johnson, 1979). Moreover a 1995 result shows that the best factor of approximation is $O(\log n)$ (Hochbaum, 1997, chap. 10). The constraint to assemble only different options (cf. § 3.1) leads to a particular case also called **Set partitioning**; this problem is also NP-hard (Garey and Johnson, 1979). To deal with this problem a greedy algorithm is used, (Johnson, 1974), (Chvátal, 1979). It gives a solution that is at worst $H(\maxcomp)$ times the optimal, where $\maxcomp$ is the number of components of the more complex module and $H(l) = \sum_{i=1}^l (1/i) \leq \ln(l+1)$.

This method is chosen here to solve the problem of the BOM. Note $P_i \setminus G_C$ the product made of the set of non-covered components of P_i . $m_k \subset P_i \setminus G_C$ iff all components of m_k are present in product $P_i \setminus G_C$. The greedy algorithm application to the problem of bill of materials is thus the following one.

Algorithm BOM
Inputs: P_i, C Output: BOM G_C
$G_C = \emptyset$ While $P_i \setminus G_C \neq \emptyset$ Choose the module $m_k \in C, m_k \subset P_i \setminus G_C$, having the most elements Add m_k to G_C ($G_C \leftarrow G_C + \{m_k\}$) End While

Let's give an example of application. For $n = 6$ and $TS = 9$, the bill of materials of $P_i = A_1A_2A_3A_5A_6$ with a composition C is searched: $C = \{m_1, m_2, m_3, m_4, m_5, m_6, m_7, m_8, m_9\} = \{a_1, a_2, a_3, a_4, a_5, a_6, a_1a_2, a_1a_5, a_5a_6\}$. Let's use the algorithm.

1. $G_C = \emptyset, P_i \setminus G_C = A_1A_2A_3A_5A_6$
2. $G_C = \{a_1a_2\}, P_i \setminus G_C = A_3A_5A_6$
3. $G_C = \{a_1a_2, a_5a_6\}, P_i \setminus G_C = A_3$
4. $G_C = \{a_1a_2, a_5a_6, a_3\}, P_i \setminus G_C = \emptyset$

The BOM is obtained in 3 steps and $G_C(P_i) = \{m_7, m_9, m_3\}$, *i.e.* $A_1A_2A_3A_5A_6 = M_7M_9M_3$, the product is obtained with 2 assemblies ($NA(P_i, C) = 2$). The order of choice of the modules in the BOM does not impose in any way the real assembly sequence which is unspecified.

4.2. Heuristics

The proposed heuristics are simple resolution methods, designed to prove the feasibility of the proposed approach and stress the role of information in this context of large variety.

4.2.1. Ideas of selection

The various problems mentioned previously lead to re-examine the objectives: the research of the optimal composition, from information at disposal, appears unrealistic. Thus heuristic methods enabling to find, whatever the level of knowledge at disposal, acceptable solutions (*i.e.* limiting the harmful choices) are developed. Various strategies can be followed to determine the composition to stock. The two main ideas are:

- to choose the simple modules, *i.e.* those containing few components: they enter in the composition of more products, independently of the frequencies,
- to choose the modules entering the composition of the products most frequently requested: it seems more interesting to privilege modules that could be used often, rather than to store modules that can be used only sporadically.

The selection of modules of small size is a natural and simple idea, which implementation is not consuming. Indeed, this strategy does not require information about the demand. In return, potential information about implication or exclusion relationships between components is not considered. It can result to the selection of small modules that can never be used.

Selecting the modules considering their frequency is a more sophisticated strategy. It necessitates information about the demand for all products and the selection requires sorting operations which are time and computational resource consuming. The frequency of use considers all demands which could be satisfied using the module; for example module a_{58} will have a frequency of use:

$$f(m_j = a_{58}) = \sum_{\substack{P_i \in P \\ a_5 \subset P_i \\ a_8 \subset P_i}} P(P_i)$$

4.2.2. Description

Consider here 3 methods to choose compositions. Those will apply only for the modules coming in addition to the basic components. The first 2 heuristics are determinist; an application to a given demand will always give the same composition.

Choice base on module size (*size*): the modules are sorted by their size (number of components), within a given size the modules are sorted by frequency. The selection of modules follows that sorted list.

Choice based on frequency (*frequency*): the probability of use is calculated, and the most probable is chosen. Let's recall that the frequency of use, considers all demands that could be satisfied using the module (cf. § 4.1.2).

Random choice (*random*): every module has $TS-n$ chances in $(2^n-1)-n$ to be chosen. This method will be used for evaluation: a good solution has to give much better results.

A study of the performance of the three heuristics will be described in Section 5.

5. Implementation

5.1. Evaluation

In this section the question of heuristics performances is addressed. The best strategy to use for a given environment will be stressed.

To evaluate the heuristics an input demand for final products is generated. The different levels of partial information (cf. 4.1.1) can be deduced. Total coherent information (Di) is obtained from each level thanks to the maximum entropy

principle. For each generated problem three compositions are found, using the heuristics. The corresponding mean assembly time is then calculated using the input demand (cf. Figure 2).

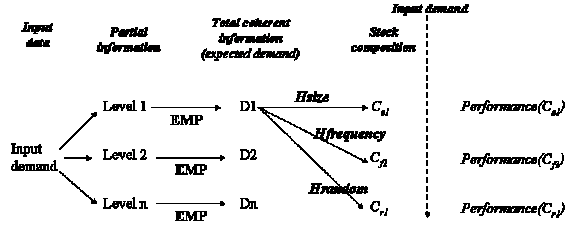


Figure 2. Protocol

The obtained values can be compared to measure the heuristics performances. For the random heuristic, the heuristic is applied 5000 times, and then the mean value of assembly time is used.

5.2. Performance indicator

We define a performance indicator in order to rate the obtained solutions, and thus the proposed heuristics. For given TS , mean assembly time extremes are exhaustively determinate. The performance of a composition is determined in function of the extremes.

$$performance(C) = \frac{TA_{\max} - TA(C)}{TA_{\max} - TA_{\min}}$$

The found composition having the smallest assembly time ($TA_{\min}$) has then a performance of 1 and the worst found ($TA_{\max}$) a performance of 0.

For a given stock size (TS) the performance of a heuristic will be evaluated with the mean on X instances (X input demands). The global performance of a heuristic is given by the mean value on the TS .

For example for the size heuristic, H_{size} :

$$mean\ perf_{TS} = \frac{1}{X} \sum_{\substack{\text{demands} \\ C \text{ obtained with } H_{size} \\ |C|=TS}} performance(C)$$

$$global\ perf = \frac{1}{2^n - n - 2} \sum_{TS \in [n+1; 2^n - 2]} mean\ perf_{TS}$$

Note that the performances for $TS = n$ and $TS = 2^n - 1$ are not taken into account. For these 2 extreme cases there is actually only one acceptable composition.

5.3. Computational results

This section describes the test protocol that was used: the generation of the test data, the validation of the method and the results are presented.

5.3.1. Instances generation

To test the pertinence of the proposed heuristics, two kinds of demands are considered.

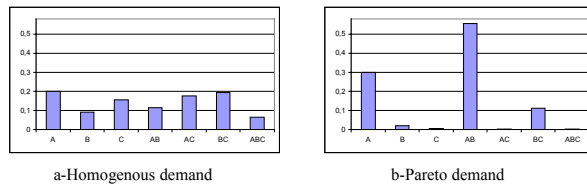


Figure 3. Example of the two kinds of demands

“Homogenous” demand is a type of demands defined as follows: the demands on every product are generated with the same uniform law. An example for 3 components is given by Figure 3a.

The “Pareto” demand is defined as follows: a few numbers of products represent a great part of the demand. This demand is coherent with the “Pareto law” (an example for 3 components is given in Figure 3b). This demand repartition is often seen when diversity is important. Let’s note that promotional offers could imply the evolution from a “homogeneous” situation to a “Pareto” one. A Pareto demand repartition is obtained as follows:

Algorithm Pareto
Inputs: $ P $ the number of different products Output: a demand distribution D
Counter = 0, Total = 0 While Counter < ($ P $ - 1) Select a product P_i still non-affected Random selection in $U[0, 1 - \text{Total}]$ (uniform distribution) $\rightarrow P(P_i)$ Total $\leftarrow$ Total + $P(P_i)$ Counter $\leftarrow$ Counter + 1 End While Affect to the last product still non-affected its probability (1 - Total)

The order in which the products enter this algorithm will affect the demand repartition: the sooner the selection of the product by the algorithm, the higher the expected value of the random selection in $U[0, 1 - \text{Total}]$.

5.3.2. Method validation

500 Pareto demands and 500 homogenous demands are generated, for each of them the mean assembly time extremes are obtained. Then for the different information levels the choice heuristics are used to find a stock composition. Figure 4 presents the mean assembly time (Y axis) in function of the stock size (X axis) for the Pareto demands. Time extremes (min and max) are given as well as the times obtained with the heuristics provided with information of level 1.

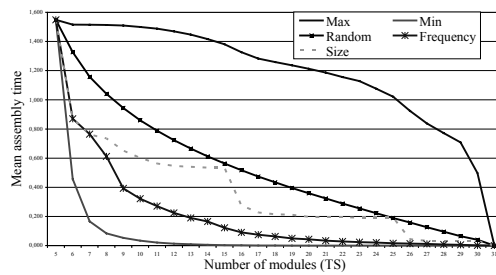


Figure 4. Mean assembly times: Pareto demand, information level 1

This representation gives a panoramic vision of the behaviour of heuristics; nevertheless it does not easily enable a comparison. Figure 5 displays the same information but with the performance indicator.

When considering the size heuristic, the curve presents 3 arches. They correspond to the modules consisting in 2, 3 and 4 components. It illustrates the fact that for a given number of modules, the first modules chosen are very interesting but that the last chosen are not as pertinent.

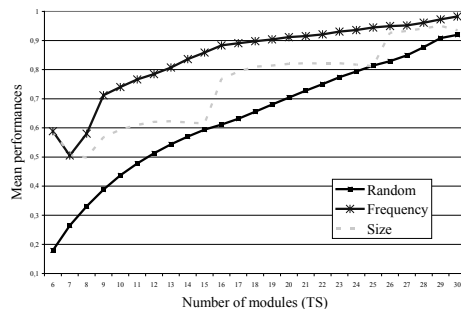


Figure 5. Mean performance: Pareto demand, information level 1

Figure 6 presents similar results but for a single homogenous instance with 10 different basic components *i.e.* 1023 different final products. From the information of level 8, the final demand was obtained (D8) and used by the choice heuristics.

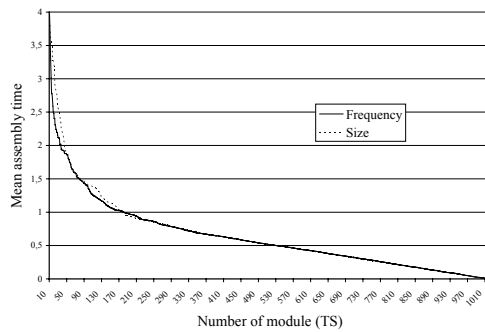


Figure 6. Example with 10 components: Mean performance, information level 8

The treatment of this kind of instance proved that the heuristics can apply to bigger instances and to higher information levels.

5.3.3. Importance of information

Let's resume the first examples (500 Pareto demands and 500 homogenous demands). The results presented in Figure 7 confirm that the most adapted heuristic for this type of Pareto demands is the determinist heuristic based on frequency. It enables to have a performance of 0.84 with the lowest information level. It reaches 0.89 when provided with total information. Let's recall that the best composition has a performance of 1 and the worst a performance of 0.

The performances of the frequency heuristic are more than 30% better than the performances achieved with a random selection. This result stresses the interest of a good choice of modules and the pertinence of the proposed heuristic.

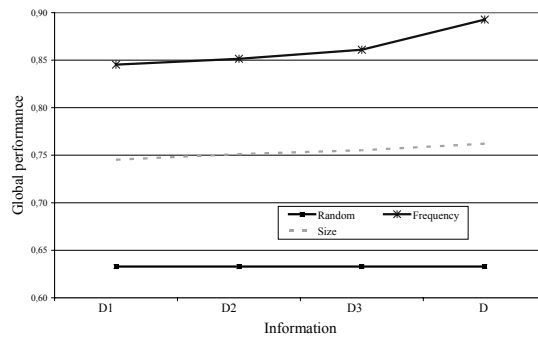


Figure 7. Global performance for the different levels, Pareto demand

Figure 8 synthesizes the performances of the heuristics when dealing with homogeneous demands. The improvement in performances enabled when information is acquired, is observed. Indeed, for the heuristic that performs better (**size**) the performance indicator evolves from 0.649 (with level 1 information) to 0.7 (with total information), which represents an 8% improvement.

The results obtained for the various treated examples prove that the proposed heuristics enable to find interesting compositions of stocks of modules. Indeed, for all presented examples, the use of heuristics allows a noticeable improvement of the global performances compared to a random selection. Moreover, the tests showed that it was possible to use them starting from partial information.

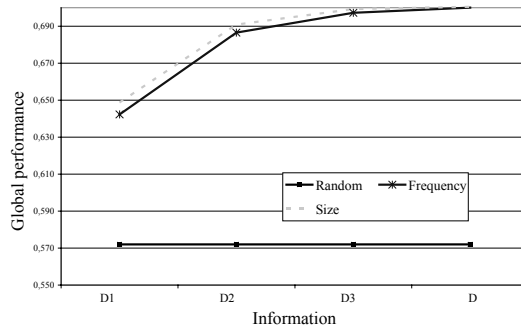


Figure 8. Global performance for the different levels, Homogeneous demand

5.4. Synthesis

The computational tests enabled to validate the heuristic methods. Both proposed strategies (based on size or on frequency) enable to find interesting stock composition. Actually, the performances of the compositions obtained thanks to the heuristics are drastically better than the performance of randomly chosen composition.

The chosen protocol permitted to stress that the heuristics perform for different types of demand. Furthermore, the numerous instances used for test enlighten the fact that the heuristics are not case-designed.

The interest of information acquisition for this particular problem of modular choice was also stressed. The method used for information reconstruction (maximum entropy principle) enables to obtain a final demand that can be exploited as an input for the choice heuristics. The results (presented in Figures 7 and 8) prove that information acquisition is a potential saving source, and that the heuristics are able to take advantage of it.

The benefits of adding pieces of information are very difficult to evaluate *ex ante*. Indeed, the improvement of the performances, induced by the “moving up” from an information level to the next, varies according to the demand characteristics. Figures 7 and 8 (resp. Pareto and homogeneous demand) illustrate this feature: moving from level 1 to level 2 induces an improvement of performance of 0.8% in the first case and 6.7% in the second (this is the mean improvement on the 2 proposed heuristics, the performance of the random choice being not change by the information level).

	Level 1→level 2	Level 2→level 3
Pareto demand	0.8%	0.8%
Homogeneous demand	6.7%	1.4%

Table 2. *Improvement of performance enabled by adding information*

Adding information enables to improve the performance of the heuristics. Nevertheless, those gains should be compared to the costs generated by information acquisition (improvement of the firm information system, hiring of a dedicated employee, etc.).

6. Conclusion and perspective

In this paper, the question of definition of stocks of semi-finished products, essential in the implementation of an assemble-to-order policy, was addressed. The choice of the right modules to stock is indeed crucial when implementing this production policy.

This problem can be considered using several criteria. Here the objective was, for a given number of modules in stock, to minimize the mean time of final assembly. The major issue was to find heuristic methods, which perform not only when the demand is totally available, but also when only partial information can be obtained.

Several definition methods were proposed and tested. Computational tests enabled to evaluate their performances for different information levels. The results obtained permit to validate the heuristics, and to determine which one was most effective.

The use of these heuristics with various levels of information made it possible to stress the importance of information in this stage of definition. Actually, the gain enabled by a better knowledge of the demand can be quantified. This result is of major importance when deciding on investments for information systems, the costs of storage and acquisition of information can then be compared to the savings they permit.

The compositions resulting of the heuristics are well designed to respond to a given demand. Nevertheless, their responses to demand changes have not been studied. This robustness aspect was not considered when developing the heuristics. This criterion should be measured in further researches.

For this particular research, the performances of the heuristics were obtained by computational tests. A next step in this research area should be the obtaining of performance guarantee by an analytical analysis of the worst cases.

The heuristic proposed here are based on simple ideas of selection, the results obtained are good but still far from optimal, studies still have to investigate others methods. Further researches could consider implementing *genetic algorithms* (GA). Indeed, the solutions given by the heuristics constitute an initial population that can be of good quality. A two stages procedure (search for a “better than random” initial population then GA) should therefore be considered; the results of the GA could thus improve the performances reached and decrease the persistent difference between the adopted solution and the required optimum.

Assemble to order	Human resources management
Components	Competencies: linguistic, informatics, etc.
PRE ASSEMBLY	TRAINING
Modules	Knowledge, know-how and skills
ASSEMBLY	
Final product	Project team: Skilled individuals working together

Table 3. *Parallel between assemble to order and human resources management*

Here physical final products made of physical components were considered. The question of sub-assemblies can nevertheless be found when dealing with organizational problems, for example for the human resources management. The issue is then to determine the employer's formation plan, *i.e.* to know what competencies are needed for which employee. If the constitution of design team was often studied using optimization method (for example formulated as an assignment problem, Hadj-Hamou and Caillaud, 2004), the training policy of the firm is not classically considered as an optimization problem. Table 3 yet presents the similarities between those problems. Further researches could address these questions of human resources management as an optimization problem. For example an objective could then be the minimization of recruitment and training costs under project team performance constraints.

7. Bibliography

Agard B., Tollenaere M., “Design of wire harnesses for mass customization”, 4th *International Conference on integrated design and manufacturing in mechanical engineering – IDMME'02*, Clermont-Ferrand, France, 2002.

- Baldwin C., Clark K., "Managing in an age of modularity", *Harvard Business Review*, September-October 1997, p. 84-93.
- Chvátal V., "A greedy heuristic for the set covering problem", *Mathematics of Operations Research*, Vol. 4, No. 3, 1979, p. 233-235.
- Ciavaldini B., Loubet J.-L., « La diversité dans l'industrie automobile française : hésitations et enjeux », *Gérer et comprendre*, No. 41, 1995, p. 4-19.
- Cunha C. (da), Définition et gestion de produits semi-finis en vue d'une production de type assemblage à la commande, Ph.D Thesis, Institut National Polytechnique de Grenoble, France, 2004.
- Cunha C. (da), Frein Y., "Demand forecasts in a large variety context using the maximum entropy principle", Technical report GILCO, 2005.
- Fortin M., Glowinski R., *Méthodes de Lagrangien augmenté*, Dunod, France, 1982.
- Garey M., Johnson D., *Computers and Intractability: A guide to the theory of NP-completeness*, Freeman W.H. et al., San Francisco, 1979.
- Gavirneni S., Kapuscinski R., Tayur S., "Value of information in capacited supply chain", *Management Science*, Vol. 45, No. 1, 1999, p. 16-24.
- Hadj-Hamou K., Caillaud E., "Cooperative design: a framework for a competency-based approach", *5th International Conference on integrated design and manufacturing in mechanical engineering – IDMM'04*, Bath, UK, 2004.
- Hochbaum D., *Approximation algorithms for NP-hard problems*, PWS publishing company, Boston, 1997.
- Huang CC., Kusiak A., "Modularity in Design of Products and Systems", *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics*, Vol. 28, No. 1, 1998, p. 66-77.
- Huang CC., Kusiak A., "Synthesis of modular mechatronic products: a testability perspective", *IEEE Transactions on Mechatronics*, Vol. 4, No. 2, 1999, p. 119-132.
- Jaynes E., "Information theory and statistical mechanics", *The Physical Review*, Vol. 106, No. 4, 1957, p. 620-630.
- Jaynes E., "Information theory and statistical mechanics", *The Physical Review*, Vol. 108, No. 2, 1957, p. 171-190.
- Johnson D., "Approximation algorithms for combinatorial problems", *Journal of Computer and System Sciences*, Vol. 9, 1974, p. 256-278.
- Kreng V., Lee T.-P., "Modular product design with grouping genetic algorithm-a case study", *Computers and industrial engineering*, Vol. 46, No. 3, 2004, p. 443-460.
- Lee H.L., Whang S., "Information sharing in a supply chain", *International Journal of Technology Management*, Vol. 20, No. 3/4, 2000, p. 373-387.
- Shannon C., "A mathematical theory of communication", *The Bell System Technical Journal*, Vol. 27, July-October 1948, p. 379-423, p. 623-656.
- Smart C., "Sweet spot, the relationship between forecasting and optimal stocking levels", *APICS Journal*, February 2004, p. 55-58.

Starr M., "Modular production - a new concept", *Harvard Business Review*, November-December 1965, p. 131-142.

Swaminathan J., Tayur S., "Managing Broader Product Lines through Delayed Differentiation Using Vanilla Boxes", *Management Science*, Vol. 44, No. 12, 1998, p. 161-172.

Swaminathan J., Tayur S., "Managing Design of Assembly Sequences for Product Lines That Delay Product Differentiation", *IIE Transactions*, Vol. 31, No. 11, 1999, p. 1015-1026.

Selection of modules for mass customisation

RESEARCH ARTICLE

Selection of modules for mass customisation

C. da Cunha^a, B. Agard^{b*} and A. Kusiak^c

^aLaboratoire IRCCyN, École Centrale de Nantes, Nantes Cedex 03, France; ^bCIRRELT, Département de Mathématiques et de Génie Industriel, École Polytechnique de Montréal, Montréal (Québec), Canada; ^cIntelligent Systems Laboratory, Department of Mechanical and Industrial Engineering, The University of Iowa, Iowa, USA

(Received 18 September 2007; final version received 31 August 2008)

Satisfying customer expectations is of paramount importance in today's markets. A customer expects to receive a product that meets as best as possible his/her expectations. To satisfy diversified requirements companies may focus on product families. For a specific customer the company has to select within a product family what will make a valid product. Then, in a just-in-time environment, the suppliers may have to provide the exact subassemblies corresponding to each product in a predefined time. This integration takes place by designing modules for the supplier. This paper proposes to extract customers' behaviour patterns, in terms of the components required, using data-mining and entropy maximisation when selecting modules to be manufactured. Different methods for selection of modules are proposed. Computational tests are performed to evaluate performance of the selection methods with respect to the specified assembly time/resource level.

Keywords: modular design; mass customisation; assemble-to-order; data mining; customer demand; pattern extraction; entropy maximisation

1. Introduction

Transformation from the 'demand-driven economy' to the 'offer-driven economy' has increased corporate competitiveness. To support the 'offer-driven economy', companies tend to enlarge their product portfolios in pursuit of increased market shares. The challenge is then to determine a trade-off between the cost of offering a wide range of products and the gains that such portfolio provides.

Modularity is useful in realising the assemble-to-order (ATO) policy when dealing with a large diversity of products. Indeed, a relatively small stock of modules permits to offer a large portfolio of final (modular) products. The designed modules should enable the best response to the customer needs. The latter can be accomplished by integrating the information about anticipated customer requirements at the product design phase.

Customers' behaviour is not easy to elicit. Selection of a particular product by a customer is the result of a cognitive process including its objective and subjective evaluation. The information obtained from the sales history is useful in capturing

*Corresponding author. Email: bruno.agard@polymtl.ca

this phenomenon. Data mining techniques extracting patterns from large data sets describe some of the purchase patterns and characterise the products sold.

This paper emphasises the role of knowledge extracted from data in the selection of modules in an ATO environment. The importance of information availability at an early design phase is addressed. Selection methods based on data mining are proposed in Section 3. Information obtained from data mining is used with different extends. The computational results are discussed in Section 4. The computational experiments focus on analysis of the performance of different methods when considering the time/resource needed to respond to a demand for the final product assembled from the modules in stock. One of the major research issues is determining a trade-off between the gain from the information integration and the cost of information retrieval.

2. Literature review and problem statement

Mass production is perceived as an enabler of quality, uniformity, and productivity. Implementation of these principles requires systematic engineering and planning of the production process with the aim to improve production. Product standardisation is a way to pursue the economy of scale principle, where the fixed costs are lower owing to a larger number of units produced.

In recent decades, industry has begun pursuing product diversification strategies rather than the 'single model for all customers' strategy. Shapiro (1979) stated: 'the customisation degree of a product line or of a service tends to become the most important production variable for industrials goods' producer'. Mass customisation has then become a new trend for companies to compete in the market (Pine 1993). It is necessary to offer a large product portfolio while maintaining production efficiency that is realised through product families. The product families may be developed around product platforms that take into account different indicators such as product and process commonality as well as component and product cost (Simpson *et al.* 2006).

Although a large diversity of products offered may attract customers, nevertheless relatively few product configurations may represent the majority of sales. For example, Kocher and Rolland (1995) reported that for two different car models (Peugeot 306 and 405) 60% and 90%, respectively, of the demand is met with only 20% of the product diversity. It is therefore necessary to define a product management policy for a large product portfolio and a relatively small number of different vehicles sold. In a managed product diversity environment, the cost of offering a large portfolio should not exceed the gain resulting from customer satisfaction. Evaluating the cost of diversity is not easy owing to multiple cost sources. Nevertheless, it is essential to find the level of diversity that optimises the inventory holding cost and customer satisfaction (Tarondeau 1998).

For traditional production strategies (make-to-order or make-to-stock), once the production has been launched (in response to a demand in the make-to-order approach or a stock replenishment in the make-to-stock strategy), all steps needed to produce a product are realised. An alternative to this production approach is the configure-to-order strategy, which has two forms: assemble-to-order (ATO) or pick-to-order (PTO). The ATO strategy is commonly used in automotive industry.

Standardisation can be an effective tool in product diversity management. Some products sold could include additional options not selected by a customer. The price of this 'product upgrade' is shared between the supplier and the producer. The question that

arises is then, which standard product/component to produce? This problem has been handled by offering free upgrades (Briant and Naddef 2004). Besides, this sustainability of an 'upgrade' approach is questionable. The producers are reluctant to pay for what they perceive is non-adaptability of the suppliers. Therefore new design and management solutions enabling production of the right products at the right time are needed. The ATO policy with distributed production of modules and on-site final assembly is such a solution. This solution offers benefits stemming from low labour costs at locations where the initial production is performed and enables synchronisation with prime contractor's production lines. The main issue is the design and the stocking of modules used in the final assembly that guarantee an acceptable lead time (time between an order placement and the delivery date).

The concept of modularity has been used in many industries. Modular production is defined as the capability to design and produce components that can be combined in a meaningful way (Starr 1965). The modular design approach implies rethinking the design process in a company (Kusiak 1999). Huang and Kusiak (1998) developed a method to integrate functional constraints in the modular designs. A modular architecture was proposed to design product families. It aimed at optimising modules to match customers' requirements. Gonzalez-Zugasti *et al.* (1998, 2000) optimised a trade-off between the expected technical performance of products and the global cost of product families. Some researches considered the time evolution of customer needs (Zamirowski and Otto 1999; Dahmus *et al.* 2001; Agard and Kusiak 2004). The methods developed permit the design of a product family using a platform integrating the stable requirements and modules realising the evolving customer needs. Different types of modules have been used in industry, e.g., Vanilla boxes in the automotive industry that can only be assembled with basic components (Swaminathan and Tayur 1998) or Cadillac boxes (modules containing most of the features that can be disassembled or used for downward substitution) (Rao *et al.* 2004).

The information about product demand is necessary to optimally design a production system. Numerous studies have shown that major savings can be achieved from the use of pertinent information (Gavirneni *et al.* 1999; Lee and Whang 2000). When the number of references (i.e., different final products that are possible to provide) is much greater than the number of products sold, the product-mix information has to be carefully considered. Furthermore, the information about the consumer demand (ultimate consumers' behaviour) may not be available, non existent, or non reliable. This situation is more likely to occur when a manufacturer is not the final supplier. The model describing the consumer behaviour patterns is not only *stochastic* but also its parameters are *not known*. Information about the requirements of each customer is usually not existent or sparse and imprecise. Nevertheless, some information is available in the sales history data-bases that may provide a complete description of the products purchased by the customers, in terms of the elements (or features) included. The Enterprise Resource Planning (ERP) and supply chain management systems offer data describing the past and the future production environment. In a contractor-supplier context it is about dealing with the problem of the supplier that provides a set of integrated components that vary for each product sold by the contractor.

The decisions made at the design stage impact manufacturing, transport, and usage stages. The challenge is then to find a trade-off between the different life-cycle criteria. To make the right decision, different product designs should be evaluated. The major issue is in the analysis of the scattered data and extracting usable knowledge for the supplier.

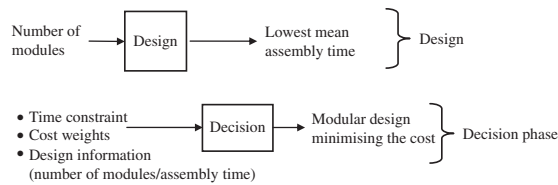


Figure 1. Decision process.

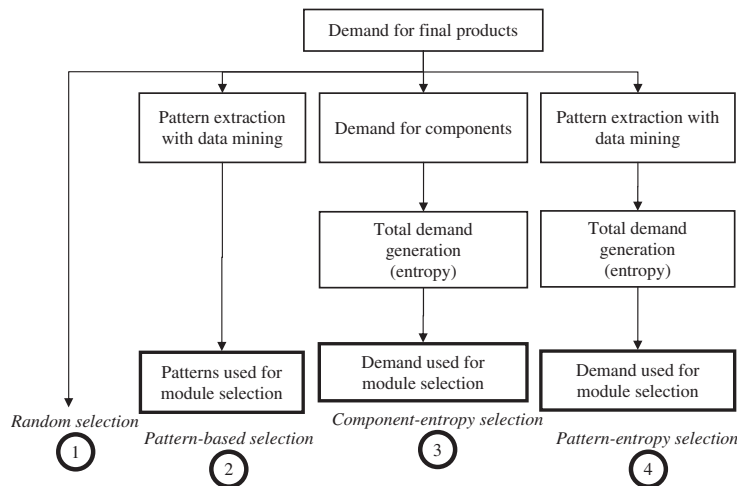


Figure 2. Experiment protocol for the different methods.

Data-mining offers a useful solution to this challenge. The selection of modules should optimise the trade-off between the time to assemble a product and the number of different stocked modules. Therefore, it is important to find a product design that results in the lowest assembly time for a given number of modules. The final decision can then be made, provided that the weights of the criteria are known (Figure 1).

3. Selection of modules

In this section, four different methods are proposed to select the best set of modules to manufacture for the supplier. The supplier receives from the contractor the set of components to provide for each individual product. Some of the selection methods proposed exploit more or less (or not at all) the patterns existing in the data set, describing the sets of components to be manufactured for each product.

The protocol for computational experiments with the four methods is shown in Figure 2. To be able to compare the results, identical demand (same sets of components to be delivered) was used in each experiment.

To test the applicability of the four methods, the demand for final products is generated using predefined rules (representing the hidden patterns in the data sets). These rules can be exclusive or inclusive relationships between components or functions, e.g., $A \Rightarrow \bar{B}$ and/or $A \Rightarrow C$ (see Section 4.1). The random selection used here as the base method for comparison is efficient in time and resources.

In the *random selection* method, the modules to be manufactured are randomly selected. The second method, *pattern-based selection*, involves extracting patterns from product demand data using data mining. The *component-entropy selection* is the third method tested. It uses the knowledge about components' demand to determine modules to stock. The fourth method: *pattern-entropy selection*, involves two stages. At the first stage, the patterns extracted from data are used to generate a coherent final demand. At the second stage, this generated demand is processed to define the modules. The last three methods are discussed in the subsequent sections of the paper.

3.1 Pattern-based selection

The *pattern-based selection* method uses rules extracted with data-mining. The existence of patterns (through inclusive or exclusive relations between options and alternatives) permits to restrict the set of potential modules. Actually, only the modules satisfying the rules are considered, then the search space is smaller than with the *random selection* method. The selection of modules to be manufactured is done randomly from this set. Note that, the extraction of rules can be time consuming, depending on the support and confidence required (see Section 4.2). Small values for support and confidence lead to a large number of rules with small probabilities and required more computing time to explore the search space. However, the determination of the modules satisfying these rules and the random picking within this set is not.

The following steps describe the *pattern-based selection*:

- (1) Extract association rules describing customers' behaviour from the data set.
- (2) The search space for module selection includes all individual component plus modules previously generated with association rules.
- (3) Random module selection.

3.2 Maximum entropy principle

Da Cunha (2004) stressed the importance of information when selecting modules. The proposed approach (Da Cunha 2004) considered the generation of a demand for final products (from partial information using the maximum entropy principle). However, the information retrieval aspect was not considered.

Entropy was originally used in thermodynamics. It has been found useful as an indicator of chaos in data (Shannon 1948).

The entropy H of a random variable X taking values in $x_i \in I$ is defined as $H(X) = -\sum_i p_i \log p_i$, where $p_i = P(X = x_i)$.

Jaynes (1957a 1957b) stated that maximising entropy leads to the least biased probability distribution for given information. Using the principle of entropy maximisation enables generation of a minimally biased demand for the products using partial information.

Denoting p_i the probability that a given order is for product i , the problem of total information generation can be expressed as follows

$$\begin{aligned} \text{Max } H(D) &= \sum_i -p_i \log p_i \\ \text{s.t. Available information} \end{aligned}$$

This model can be solved using an approximation method known as Uzawa's algorithm (Fortin and Glowinski 1983).

To illustrate the above model, consider a case where three different basic components a, b, c are used to assemble seven different products (A, B, ..., ABC). Assume that product A contains only component a, product AB contains components a and b, and so on. Only partial information is available, i.e., the probabilities that a demanded product contains a given component.

$$\text{Available information} \begin{cases} P(a) = 0.8 \\ P(b) = 0.8 \\ P(c) = 0.8 \end{cases}$$

To obtain the total information about the demand, the maximum entropy principle is used.

The problem at hand is then

$$\text{Max } H(D) = \sum_i -p_i \log p_i$$

s.t.

$$\begin{aligned} P(A) + P(AB) + P(AC) + P(ABC) &= 0.8 \\ P(B) + P(AB) + P(BC) + P(ABC) &= 0.8 \\ P(C) + P(AC) + P(BC) + P(ABC) &= 0.8 \end{aligned}$$

Uzawa's algorithm determines consistent probability of the demand for the final product.

$$\text{Total information} \begin{cases} P(A) = 0.0343 \\ P(B) = 0.0343 \\ P(C) = 0.0343 \\ P(AB) = 0.1314 \\ P(AC) = 0.1314 \\ P(BC) = 0.1314 \\ P(ABC) = 0.5029 \end{cases}$$

When the demand for final products is available (regardless of whether extracted or generated), the method based on usage frequency performs well with a cost-minimisation criterion.

The two methods presented next, the *component-entropy selection* and the *pattern-entropy selection* use the entropy principle.

3.3 Component-entropy selection

The demand information for components can be obtained by monitoring their inventory level. This information at disposal can be used to generate a demand for final products (see the example presented in Section 3.2). The modules are selected using decreasing usage frequency, i.e., the first module selected is the most demanded one, the second module is the second most demanded, and so on.

The following steps describe the *component-entropy selection*:

- (1) Generate a demand for final products with maximum entropy principle.
- (2) Select modules using decreasing usage frequency.

3.4 Pattern-entropy selection

The *pattern-entropy selection* integrates the result provided by data-mining in the deterministic selection of modules and the maximum entropy principle.

This integration is accomplished by the following procedure.

- (1) Extract association rules describing customers' behaviour from the data set.
- (2) Use of the maximum entropy principle to generate a final demand consistent with the obtained rules.
- (3) Select modules using decreasing usage frequency.

To illustrate this procedure, consider the previous three component case (Section 3.2). If Step 1 leads to the following rule: components *a* and *b* are exclusive (they are never simultaneously present in a customer demand), Step 2 will allow to find a coherent final demand; a constraint of the optimisation problem of the PME will be $P(AB) + P(ABC) = 0$. Then Step 3 will result in the selection of modules with the highest frequency (as the frequency of *AB* and *ABC* is 0, these modules will not be chosen).

3.5 Objective and performance indicator

To compare the quality of modules selected by the different methods, a common objective is proposed. When the assemble-to-order strategy is implemented in synchronous manufacturing, the delay between an order receipt and the delivery of the requested product is a key point. Indeed, this delay has to verify the terms of the customer-supplier contracts (Calvi *et al.* 2000, Cachon 2003).

The evaluation of different sets of modules is therefore based on the mean final assembly time (*T*), i.e., the mean time required to assemble a product from the selected set of modules. Selected modules are manufactured and stocked waiting a demand to arrive, and therefore the time to manufacture the modules is not considered. The indicator is defined as follows

$$T = \frac{1}{n} \times \sum_{i=1}^n t_i \times p_i$$

In the above expression:

- *n* is the number of different final products to manufacture,
- *t_i* is the time of final assembly of product *i* from the modules in stock,
- *p_i* is the demand probability for product *i*.

The worst case scenario (the longest assembly time) could also be considered, besides in the industrial case study considered, a small quantity of modules is manufactured in advance, so the longest assembly time is balanced with smaller ones. Also costs could be considered, the same approach applies but the objective function needs to be changed.

To evaluate the performance of the different methods, an indicator is needed. This indicator should be synthetic (i.e., should represent the performance of a given method for various number of modules) and it should enable a direct gauging of the performance.

The relative performance $Perf(\alpha, i)$ of a method α for a stock size i is computed as follows

$$Perf(\alpha, i) = \frac{t_i^+ - t_i^\alpha}{t_i^+ - t_i^-}$$

where:

- t_i^+ is the maximum time of final assembly for all methods, for a stock size i
- t_i^- is the minimum time of final assembly for all methods, for a stock size i
- t_i^α is the time of final assembly for the method α , for a stock size i

$Perf(\alpha, i) = 1$ if α is the best for a stock size i and 0 if it is the worst method.

Then, the performance of the method α for all stock sizes i from p to q is defined as

$$Perf(\alpha) = \frac{1}{q - p + 1} \sum_{i=p}^q Perf(\alpha, i)$$

Based on this indicator, the better performing method has the performance of 1 and the worst the performance of 0.

4. Computational results

Computational tests were performed to evaluate performance of the selection methods. The tests are based on a wire harness design introduced in Agard and Tollenaere (2002). Wire harness is an important assembly in a vehicle. It is a set of wires and connectors transmitting power and information (see Figure 3). The functions (airbag release, power windows, headlights control, etc.) are performed over different wires and connectors.

For each car to be manufactured, the contractor sends the set of relevant elements required to each supplier. Then each supplier ships the set of components needed by each car.

To illustrate the diversity of assemblies, consider a standard wire harness in a middle range car. This wire harness connects 15 different elements. Depending on the silhouette and the engine type, different sets of these elements are used (up to 9). Potential diversity is about 7 million of different wire harnesses for a unique car model (Agard and Tollenaere 2002).

By considering inclusive or exclusive relations between elements, e.g., the passenger air-bag may require the driver air-bag, the potential diversity can be reduced.

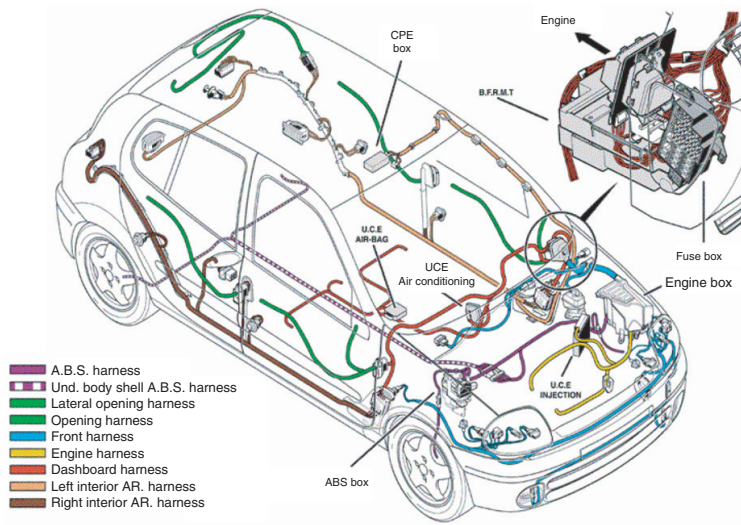


Figure 3. Wire harness in a car (Source: Valeo Connective Systems).

A data set representing a demand was generated (cf. Section 4.1) (i.e., set of components required for each car). Note that this unique demand example illustrates the basic concept, and the results presented here are representative of numerous tests that have been conducted.

A data mining algorithm was used to extract association rules from this data set (cf. Section 4.2). Finally, the four different selection methods were tested (Section 4.3).

4.1 Input data

Consider 9 components ($n=9$), i.e., 511 potential final products ($\#pdt=511$). Three rules are given that represent some mechanical or marketing constraints.

- Constraint 1: Components 1 and 2 are exclusive
- Constraint 2: Components 3 and 4 are exclusive
- Constraint 3: Component 6 requires component 8

These relations can be forwarded to the designers and integrated as constraints in the selection of modules. Table 1 summarises the input data used by the different design methods.

Constraints appear in the dataset in the way that: for constraint 1 when 'Comp 1 = 1' then 'Comp 2 = 0' and when 'Comp 2 = 1' then 'Comp 1 = 0'. The same applies for constraint 2. To respect constraint 3 then 'Comp 6 = 1' then 'Comp 8 = 1' (here it is not symmetric).

In the evaluation, the input data are the methods to be evaluated and the demand (the same demands were used by the four methods).

Table 1. Input data for the different design methods.

Random selection	Pattern-based selection	Component-entropy selection	Pattern-entropy selection
The selection process does not consider information about customers' behaviour	Extracted rules from customers' data and the three constraints	Demand generated from the components' demand data and the three constraints using the PME	Demand generated with the extracted rules and the three constraints using the PME

4.2 Data mining implementation

Anand and Büchner (1998) referred to data mining as the discovery of non-trivial, implicit, previously unknown, and potentially useful and understandable patterns from large data sets. The patterns extracted from the historical data can assist in designing product families (Agard and Kusiak 2004).

Often many rules are extracted from a database, however, only some of them may be of interest. To identify interesting rules several metrics have been developed. The most common are support, lift, and confidence. For example, for the association rule ($L \Rightarrow R$), the three metrics are defined as follows:

$$\begin{aligned}\text{Support} &= P(L \wedge R) \\ \text{Lift} &= \frac{P(L \wedge R)}{P(L)P(R)} \\ \text{Confidence} &= \frac{P(L \wedge R)}{P(L)}\end{aligned}$$

Consider 100 sale records with 50 of them having the characteristic L , 20 with the characteristic R , 10 records having both. Then the rule ($L \Rightarrow R$) has support = $10/100 = 0.1$, lift of $(10/100)/(50/100 \times 20/100) = 1$, and the confidence of $(10/100)/50/100 = 0.2$.

The support reflects the frequency of (L and R) to be observed in the dataset. Confidence reflects the ratio of (L and R) when L is present. High support and confidence give strong rules; this means that there is a strong relation between L and R . A lift smaller than 1 implies that $L \Rightarrow \text{not}(R)$. For the same support, a rule with a higher confidence proves a stronger relation.

TANAGRA software (Rakotomalala 2005) was selected as the rule extraction tool. The association rule algorithm used in the paper is presented in Agrawal and Srikant (1994).

A data set with 250 000 demand configurations was generated (TANAGRA's limit on the data set size for extraction of association rules). A configuration was represented as a binary-vector, representing the presence (1) or absence (0) of a component (see Table 2). A generated demand vector represents an incoming order, and therefore it satisfies the constraints described in Section 4.1. A vector was generated as follows: each dimension (from 1 to 9) was the result of a random selection (a number from the interval[0;1]). If the variable was greater than 0.5, then the dimension was assigned value 1, if not 0. Non-feasible vectors were discarded.

Table 2. Examples of demand configurations.

Comp 1	Comp 2	Comp 3	Comp 4	Comp 5	Comp 6	Comp 7	Comp 8	Comp 9
0	1	0	1	0	0	1	0	0
0	0	1	0	1	0	1	1	0
1	0	0	0	0	1	0	1	1

Table 3. Examples of extracted rules.

No	Antecedent	Consequent	Lift	Support	Confidence
1	'comp 2 = 1'	'comp 8 = 1'	1	0.574	0.967
2	'comp 3 = 0'	'comp 8 = 1'	1	0.58	0.968
3	'comp 1 = 0'	'comp 8 = 1'	1	0.613	0.969
4	'comp 3 = 0'	'comp 1 = 0'	2	0.586	0.978
5	'comp 3 = 0'	'comp 9 = 0'	1	0.590	0.984
6	'comp 4 = 1'	'comp 1 = 0'	2	0.567	0.988
7	'comp 4 = 1'	'comp 3 = 0'	2	0.571	1

Some demand configurations appeared more than once to reflect identical customer behaviour. For the data set, a $250,000 \times 9$ matrix, the product-mix was established and the weight (or probability of demand) of each product (being the corresponding number of orders divided by 250,000) was obtained.

4.3 Results

4.3.1 Extracted rules

The data described in Table 2 was mined to extracted rules. Support of 0.5 and confidence of 0.95 were chosen after different experiments. The extracted rules were post-processed for redundancy. Some of the generated association rules were trivial, even in the presence of high support and confidence. Domain expertise should be an integral part of the data mining process to eliminate trivial rules and determine potential associations that should be tested. Table 3 shows examples of the extracted rules.

For example, line number 1 on Table 3 means that if *component* 2 is present then *component* 8 is also present, with a Lift = 1, Support = 0.574 and Confidence = 0.967.

After the domain expert analysis only 13 rules remained. It considers only positive associations ('if comp $x=1$ then comp $y=1$ ') with the largest support.

Those 13 rules are used in two methods: the *pattern-based selection* and the *pattern-entropy selection*.

4.3.2 The method of interest

If the supplier requires a specific maximum mean final assembly time, for synchronous delivery for example, then it is possible to compute the minimal set of modules with the different methods.

Table 4. The number of modules guaranteeing final assembly in 0.5 time units.

Random selection	Pattern-based Selection	Component-entropy selection	Pattern-entropy selection
288	150	35	24

For example, for the expected mean assembly time of 0.5 time units, all four methods can be used to find a set of modules that will meet this constraint. Table 4 summarises the number of modules generated by the four methods when the maximal mean final assembly is 0.5 time units.

The *random selection* method determines a stock of 288 modules so that the final assembly time would not exceed the limit of 0.5 t.u.

Data mining extract rules describing the customers' behaviour. This information can be used to improve the selection of the modules. With the *pattern-based selection* the random selection of the modules is then limited to the ones that respect the rules. For example, rule 1 (cf. Table 3) reduces the potential stocked modules to the ones that satisfy the implication (component 2 $\Rightarrow$ component 8), i.e., modules that include component 8 but not component 2 will not be stocked. Such rules restrict the selection of modules respecting the characteristics of the final products sold; therefore, the final assembly time constraint is met while stocking fewer modules. That method proposes 150 modules for a final assembly time of 0.5 t.u.

To eliminate the random characteristic within the selection of the modules, a choice based on the demand for final products was selected. The maximum entropy enables to generate final demand configurations that are consistent with the partial information at disposal. If the only information available is the demand for components (obtained from the record of components' stock depletion), then the *component-entropy selection* method produced 35 modules. Using both, the information about the demand for the different components and the rules extracted, the demand generated is closer to the actual one. The stock determined with the *pattern-entropy selection* method is 24 modules.

The results produced by the four methods are of importance. More modules lead to additional costs. The relationship between the assembly time and the supporting number of modules is a powerful tool for decision makers. It can be used to negotiate lateness fees. Finding a balance between the lateness cost and savings owing to reduced stock is an interesting problem.

It appears that the more knowledge is exploited from a data set, the smaller the number of modules is.

4.3.3 Performance evaluation

For the *pattern-based selection* method, the modules to manufacture were randomly selected within the set of modules that satisfy the data mined rules (cf. Section 4.3.1). The assembly time generated by this method cannot be guaranteed as the selection of modules to manufacture is random.

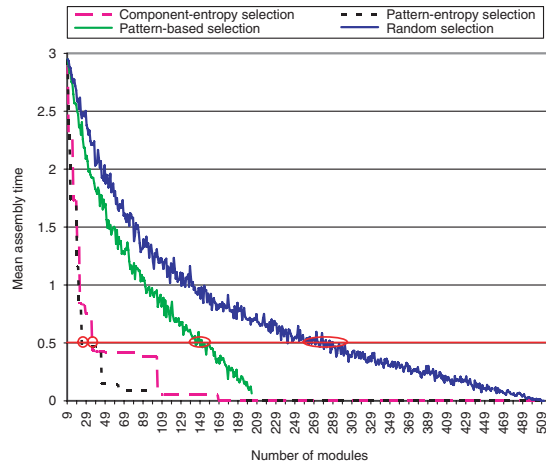


Figure 4. Results generated by the four methods.

To compare the *random selection* and *pattern-based selection* methods with the other two determinist methods the average assembly time $\overline{T}_i$ for a stock size equal to i was considered (100 tests have been done for each stock size).

$$\overline{T}_i = \frac{1}{100} \sum_{j=1}^{100} T_{i,j}$$

The four different methods are compared in Figure 4: *random selection*, *pattern-based selection*, *component-entropy selection*, and *pattern-entropy selection*. For every stock size from 9 to 511 (that represent the number of modules that are manufactured), a selection of modules is realised that respects the final assembly time.

Whatever the method is, larger number of modules lead to smaller times of final assembly. It is easy to see that if the time available for the final assembly is 0.5, we get back the results described in Table 4, 24 modules for the *pattern-entropy*, 35 modules for the *component-entropy*, around 150 modules for the *pattern-based* and around 280 for the *random selection*. Unlike the *pattern-based selection* method, the *component-entropy* and *pattern-entropy* do not incorporate randomness, i.e., when used with the same data, they always provide the same results.

The curves clearly convey the difference between the systematic and random methods. Indeed, the irregularity observed for the curves of *pattern-based selection* and *random-selection* are induced by the use of a sample of 100 random iterations.

The values of the synthetic performance indicator (Section 3.5) for the different methods are given in Table 5.

The *pattern-based* method takes advantage of information provided by data mining. Modules represent patterns in customers' requirements; the stronger the rule is the more products could be satisfied, then the mean time for final assembly will decrease

Table 5. Performance of the methods subject to the demand type.

Random selection	Pattern-based selection	Component-entropy selection	Pattern-entropy selection
0	0.75	0.95	0.99

more rapidly. If small values are selected for support and confidence when extracting rule, more rules will lead to more modules to explore. An extreme will be to consider support and confidence equal zero, the search space will then consider all possible modules (without any patterns), which leads to the *random selection* method, and less performance.

The *component-entropy* selection takes advantage of the maximum entropy principle; this proves to be very efficient in such problems, components and module with high probabilities (in the generated demand) are favourites. The *pattern-entropy* selection exploits both patterns extraction with data mining and maximum entropy principle; this last methods leads to fewer modules for the same level of performance.

The last two methods prove to perform the best. The more information about the demand is exploited, the more efficient is the selection of modules.

5. Conclusion

In this paper, four different methods were developed to select the best set of modules that permit to decrease the mean final assembly time for a product family in an assembly-to-order context.

As some information about required component is available, data-mining was applied to improve the selection of modules. Using association rules to extract patterns from the demand in the selection of modules allowed an important decrease in the number of modules to manufacture (and still insure the same performance in the final assembly process). The results presented in the paper demonstrated that the integration of the association rules may generate significant savings. Depending on the parameters selected for association rule extraction (support and confidence), some rules may be omitted as well as non real rules may appear. This will influence the number of proposed modules, further study should consider the influence of those parameters when extracting rule, on the pattern-based methods.

Entropy maximisation was proposed to enrich the selection of the modules. This approach gave excellent results. A combination of association rules and entropy maximisation could even improve previous results.

The information used by data mining is usually created by other applications. Such information is routinely collected in many industries, e.g., the information about each part of an aircraft, from design to production, is stored as long as the plane operates. The investment needed to perform data-mining is therefore relatively small in comparison to the potential benefits.

Further research should consider the integration of the extracted knowledge at the early stages of modular design to provide the best product customisation. The selection of the appropriate module stock is not the only issue that has to be considered when implementing the assembly-to-order policy. Indeed, this change in production policy has to be aligned with other organisational measures. The characterisation of customers'

behaviour proved to be of major interest for solving technical problems. For example, the consideration of dates and times of sales would permit for precise description of customers' behaviour. This information could be useful in designing promotions and work schedules.

References

- Agard, B. and Kusiak, A., 2004. Data-mining based methodology for the design of product families. *International Journal of Production Research*, 42 (15), 2955–2969.
- Agard, B., and Tollenaere, M., 2002. Design of wire harnesses for mass customization, *4th International Conference on Integrated Design and Manufacturing in Mechanical Engineering – IDMMME 2002*, 14–16 May, Clermont-Ferrand, France.
- Agrawal, R. and Srikant, R., 1994. Fast algorithms for mining association rules in large databases. *Proceedings of 20th International Conference on Very Large Data Bases*, 12–15 September, Santiago de Chile, Chile. Morgan Kaufman. pp. 478–499.
- Anand, S. and Büchner, A., 1998. *Decision Support Using Data Mining*. London: Financial Times Pitman Publishers.
- Briant, O. and Naddef, D., 2004. The optimal diversity management problem. *Operations Research*, 52 (4), 515–526.
- Cachon, G., 2003. Supply chain coordination with contracts. In: S. Graves and A. de Kok, eds. *Supply chain management: design, coordination and operation*. Boston, MA: Elsevier.
- Calvi, R., le Dain, M.A., and Harbi, S., 2000. Designing a performance measurement system to manage the customer-supplier partnership: a structured approach, *2nd International Conference on Performance Measurement*, Cranfield School of Management, Cambridge, pp. 19–21.
- da Cunha, C., 2004. *Définition et gestion de produits semi-finis en vue d'une production de type assemblage à la commande*. Thesis (PhD). Institut National Polytechnique de Grenoble, Grenoble, France.
- Dahmus, J., Gonzalez-Zugasti, J., and Otto, K., 2001. Modular product architecture. *Design Studies*, 22 (5), 409–424.
- Fortin, M. and Glowinski, R., 1983. *Augmented Lagrangian Methods*. Amsterdam: North-Holland.
- Gavirneni, S., Kapuscinski, R., and Tayur, S., 1999. Value of information in capacited supply chain. *Management Science*, 45 (1), 16–24.
- Gonzalez-Zugasti, J., Otto, K., and Baker, J., 1998. A method for architecting product platforms with an application to interplanetary mission design. *Proceedings of 1998 DETC ASME Design Automation conference*, Atlanta, GA.
- Gonzalez-Zugasti, J., Otto, K., and Baker, J., 2000. A method for architecting product platforms. *Research in Engineering Design*, 12 (2), 61–72.
- Huang, CC. and Kusiak, A., 1998. Modularity in design of products and systems. *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics*, 28 (1), 66–77.
- Jaynes, E., 1957a. Information theory and statistical mechanics. *The Physical Review*, 106 (4), 620–630.
- Jaynes, E., 1957b. Information theory and statistical mechanics ii. *The Physical Review*, 108 (2), 171–190.
- Kocher, I. and Rolland, P., 1995. Quand les structures dessinent les produits. *Gérer et Comprendre*, 39 (June), 38–48.
- Kusiak, A., 1999. *Engineering design: products, processes, and systems*. San Diego, CA: Academic Press.
- Lee, H. and Whang, S., 2000. Information sharing in a supply chain. *International Journal of Technology Management*, 20 (3/4), 373–387.

- Pine, B., 1993. *Mass Customization: The new frontier in business competition*. Boston, MA: Harvard Business School Press.
- Rakotomalala, R., 2005. TANAGRA: un logiciel gratuit pour l'enseignement et la recherche. In *5èmes Journées d'Extraction et Gestion des Connaissances, EGC-2005*. France: Paris, pp. 697–702.
- Rao, U., Swaminathan, J., and Zhang, J., 2004. Multi-product inventory planning with downward substitution, stochastic demand and setup costs. *IIE Transactions*, 36 (1), 59–71.
- Shannon, C., 1948. A mathematical theory of communication. *The Bell System Technical Journal*, 27 (October), 379–423, 623–656.
- Shapiro, B., 1979. Making money through marketing. *Harvard Business Review*, 57 (4), 135–142.
- Simpson, T.W., Siddique, Z., and Jiao, R.J., eds, (2006). *Product platform and product family design: Methods and applications*. New York: Springer.
- Starr, M., 1965. Modular production: a new concept. *Harvard Business Review*, Nov.–Dec., 131–142.
- Swaminathan, J. and Tayur, S., 1998. Managing broader product lines through delayed differentiation using vanilla boxes. *Management Science*, 44 (12), 161–172.
- Tarondeau, J.C., 1998. *Stratégie industrielle*. 2nd ed. France: Vuibert.
- Zamirowski, E. and Otto, K., 1999. Product portfolio architecture definition and selection. *International Conference on Engineering Design, ICED-99*. Munich, Germany, 1515–1518.

Conceptual model and IT system for Organizational Capability management



Contents lists available at SciVerse ScienceDirect

Computers in Industry

journal homepage: www.elsevier.com/locate/compind



Conceptual model and IT system for organizational capability management

Philippe Rauffet*, Catherine Da Cunha, Alain Bernard

LUNAM Université, Ecole Centrale de Nantes, IRCCyN UMR CNRS 6597 (Institut de Recherche en Communications et Cybernétique de Nantes), 1 rue de la Noe, BP 92101, 44321 Nantes Cedex 3, France

ARTICLE INFO

Article history:

Received 1 February 2011
Received in revised form 26 April 2012
Accepted 9 May 2012
Available online 2 June 2012

Keywords:

Competency management
Industrial engineering
Organizational capability
Enterprise modeling

ABSTRACT

Organizational Capability Approach opens new perspectives for developing and sharing organizational competencies around the strategy of globalized companies. This paper explores this approach and aims at implementing it practically. Thus it provides a conceptual model named C-makers, which is then used in the design of IT solutions to manage organizational capabilities (mechanisms for transfer, assessment, renewal). These propositions are finally experimented on the case of an automotive supplier, Valeo Group.

© 2012 Elsevier B.V. All rights reserved.

1. Introduction

Facing increasingly turbulent environments, globalized organizations follow the SCP paradigm. This theory assumes that market structure induces changes on enterprise control, which explains performance [1]. Thus, companies adopt agile structures, becoming distributed and multi-hierarchic organizations in order to resist against external perturbations. This structural complexity triggers off issues of performance management: it is harder to maintain operational excellence (how to produce goods or services with the same quality level whichever the plant which delivers them) and functional interoperability (how to guarantee cohesion, how to enable the equifinality and the synergy of all entities around common projects). From this diagnosis, globalized enterprises understood that they had to develop their organizational competencies, and share it amongst all their organizational components.

Many scientific approaches explored this industrial challenge on different levels (individual, collective and organizational competencies), from engineering sciences, with the works on competency engineering and enterprise modeling (see Harzallah et al. [2] and Boucher et al. [3]) to management sciences, with the application of resource-based theory to the fields of knowledge and competency (see Grant [4], Hamel and Prahalad [5]) as well as the research on practices transfer [6]. Among them, the Organizational Capability

Approach emerged and attempts to apply it practically [7]. Whilst this approach enables another point of view in order to develop organizational competencies in globalized structures, its deficiencies prevent conceptual models and IT solutions from structuring a complete methodology.

This paper aims at building a formal model called C-makers and IT solutions to support the Organizational Capability Approach. The first part is focused on the concept of organizational capability, its management mechanisms and the limits of existing methods and tools. The second section provides our formal model for organizational capability and underlines how its key concepts could exceed the identified limits. This model is then used for the proposal of new IT solutions in order to manage organizational capabilities, which are then tested on Valeo Group. The benefits of the formal model on the approach, as well as the experimental results, are then discussed.

2. Related works

The Organizational Capability Approach is studied in this first part, in order to extract its key points and to understand its management mechanisms. Then, the limits of current methods and tools are analyzed so as to orientate our IT proposal.

2.1. A multidisciplinary concept for developing organizational competencies

Organizational Capability Approach stands on the border between management sciences and industrial engineering. It is therefore necessary to define the concept by highlighting its

* Corresponding author.

E-mail addresses: philippe.rauffet@irccyn.ec-nantes.fr, rauffet@gmail.com (P. Rauffet), catherine.da-cunha@irccyn.ec-nantes.fr (C. Da Cunha), alain.bernard@irccyn.ec-nantes.fr (A. Bernard).

impact on each discipline, particularly in the area of resource based view and competency engineering.

2.1.1. Organizational capability and resource based view

Organizational Capability Approach is an emerging theory emanating from management sciences. It is part and parcel of resource based view, which focuses on the internal identification of resources, knowledge and competencies that are considered as strategic, that is to say available for creating a sustainable, competitive advantage for organizations [8]. Moreover, it is opposed to an “over-elitist” view of resources, which considers only the valuable, rare, inimitable, non-substitutable resources [9].

It answered to this criticism through a “managerial” view, and it aims at developing a competitive advantage through the combination of resources that are not strategic when they are taken alone.

Proponents of this approach, Saint-Amant and Renard [7] synthesize the definitions of organizational capabilities as “know how to act, a potential of action resulting from the combination and the coordination of resources, knowledge and competencies of the organization, and which can be expressed through the activities of the value flow, to fulfill strategic objectives”.

This definition highlights some significant characteristics:

- *Key organizational aptitudes*: organizational capabilities constitute the key aptitudes that a company must develop and assess to gain competitive advantage and to determine the status of its strengths and its weaknesses [10].
- *Potential performance built by knowledge acquisition and resources synergy*: organizational capabilities emerged from the synergies of organizational resources. They continuously progress thanks to the acquisition of knowledge and competencies (generally modeled under the form of corporate best practices). They are thus related to organizational learning [11] and therefore knowledge acquisition evaluation can be regarded as a means to assess organizational capabilities as “potential performance”.
- *Driver of real performance expressed in activities*: furthermore, organizational capabilities can be expressed through the value flow. That is to say that their use should generate an improvement in the performance of the activities of organizations [12]. Performance indicator trends can therefore provide a means to assess organizational capabilities as “real performance” drivers.
- *Local and shared capabilities*: All the organizational resources are involved in achieving corporate objectives. On a local level, organizational capability is the synergy of human, physical and structural resources of an entity around the defined strategic objectives. At upper levels, organizational capability is the synergy of entities that develop and share the same corporate practices and therefore the same organizational capabilities [13].

These properties clearly emphasize that organizational capability must be viewed as a construct related to knowledge acquisition and resource synergy and oriented by the organizational strategy. Moreover, the duality between potentiality (organizational capabilities can induce a performance improvement) and reality (the results of activities expressed the use of organizational capabilities) is a key point which must be kept in mind in order to model and manage organizational capabilities.

2.1.2. Organizational capability and competency engineering

Even if they come from management sciences, Organizational Capability Approach and concepts could be studied with the background of competency engineering. Competency is consensually defined as the aptitude of an actor to put into practice a set of knowledge and environmental resources in a specific context in

order to achieve certain objectives [14]. It can be considered according to the level of the concerned actor, which can be:

- *Individual*: relative to an elementary actor, such as human resource competency, and to some extent, process capability and capacity for machines.
- *Collective*: for a single organizational entity (e.g. the competency of a purchasing service in a plant to buy raw materials of a good quality for a good price [15]) or for the whole organization (e.g. the competency of the purchasing department of the whole company to impose a quality policy on all its suppliers, which can become a core competency of the company [16]).

The concept of organizational capability seems very close to the competency concept: They are both an “aptitude”, they are both based on the combination and use of knowledge and resource and are both finalized (i.e. they aim at achieving an objective through an activity).

Nevertheless, the competency concept is still often oriented by “individual” considerations and by “process” definition. Moreover its homothety to organizational levels is sometimes misunderstood and misapplied in companies. Indeed, Amherdt [14] and Cullen Coates [17] observed that in many companies that organizational competencies management is often reduced to simply focus on employee skills and on the defined goals of the processes of the firms. The management rarely considers the compelling cross-company core competencies that drive integrated business execution and management alignment.

Organizational Capability Approach would be a means to overcome this reducing trend. The nature of the concept therefore allows for the proposal of a different point of view, which is oriented by organizational aspects and the link between resources and strategy from the onset, without necessarily considering the definition of processes. A capability can thus orient the definition of processes, instead of uniquely being a criterion for the allocation of resources on existing processes.

2.2. Organizational capability management: transfer, assessment and renewal mechanisms

The interest of Organizational Capability Approach in the field of management sciences and competency engineering is highlighted above. The following paragraphs aim at synthesizing its management mechanisms. As emphasized by Lorino [11] in the previous listed properties, organizational capability is the product of an organizational learning process. This leads to a better synergy of a set of resources, knowledge, and competencies around strategic objectives. Thus the definition of Organizational Capability Lifecycle inherits from works concerning organizational learning, knowledge lifecycle and good practices transfer. This exploration details the mechanisms for transferring, assessing and renewing organizational capabilities.

2.2.1. Transfer mechanisms, from acquisition to appropriation

Organizational learning is defined as a “collective endeavor which aims at increasing, in a continuous and active way, individual and organizational knowledge and skills” [18,19]. According to Yeung [20], it can be considered as a capability which “enables to generate ideas (innovation), to detect and generalize them (conceptualization) then to transfer them through all the organizational layers (transfer), with the aid of initiatives and management practices”. The first part of Yeung’s definition, focused on a “learning capacity”, is similar to the analysis of Diani [21], who writes about an ability to “create new knowledge and to transform this one into competencies for organization”. This twofold challenge is depicted by the purple boxes in Fig. 1. An

- **Acquisition:** an organizational need is identified and knowledge is found locally, by expert or operational workers, to solve this requirement.
- **Adaptation:** knowledge is modified and combined, to become an organizational knowledge and to be adapted to future learners.
- **Application:** this adapted knowledge is communicated and transferred to the learners.
- **Acceptation:** animation around the applied knowledge must be done so that knowledge is effectively acquired by learners and becomes an organizational capability.
- **Appropriation:** organization is mature on the transferred knowledge and skills, and entities are autonomous on them. They adapt them locally or propose modifications to group.

A second layer could be added to this analysis. As emphasized by Rauffet et al. [12], learning processes can also be divided into

two approaches, as shown above (Fig. 1, red box): (1) a cognitive approach, based on knowledge and capability codification, which is also called "reification". It is the part dedicated to the "knowers", who model and make knowledge formal; (2) a behaviorist approach, based on the learning and the work context, which is more focused on Nonaka's process of socialization. It is the part dedicated to the "doers", who use knowledge as capabilities to do their tasks.

The synergy of cognitive and behaviorist approaches is essential for organizational learning in extended organizations. The formal work of knowledge modeling is the fundamental support for communicating on and managing the development of organizational capabilities. This is a way to clarify the message that an organization wants to transmit to its entities, and to mobilize these entities around key objectives. In another way, the informal knowledge sharing is vital for adapting corporate practices to the local and operational context. It is also an enabler for creating an innovation dynamic, where the “doers” have the possibility to improve the guide by giving a part of their experience to the organization. In other words, learning must take place between standardization and diversity. It is therefore necessary to support that through some renewal mechanisms (cf. Section 2.2.3).

2.2.2. Assessment mechanisms, from practices to organizational capabilities

As for competencies [2], organizational capabilities assessment is based on the comparison between what companies require and what entities acquire [7]. The notion of good practices (discussed in the previous section about transfer) is not only a learning means to structure and to deploy organizational capabilities from knowledge experts to operational workers. Practice is also an analysis

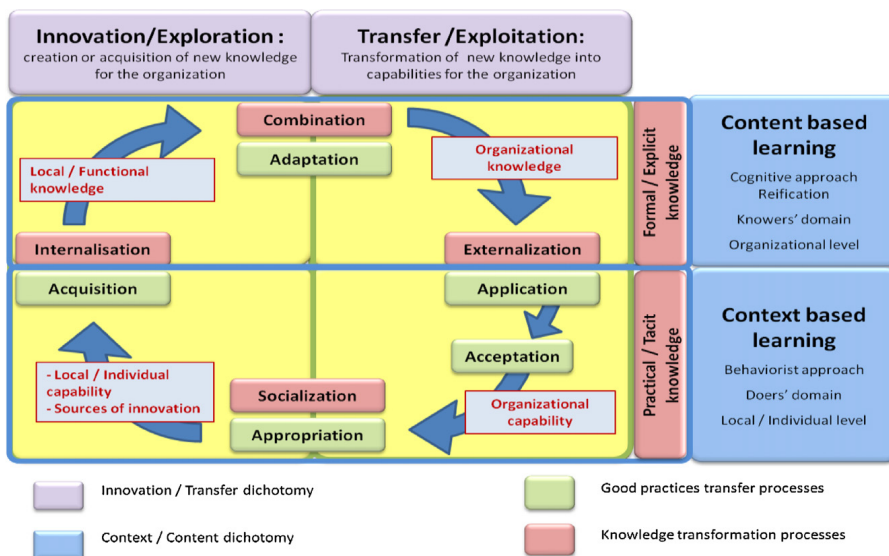


Fig. 1. Organizational Capability Lifecycle. (For interpretation of the references to color in this text, the reader is referred to the web version of this article.)

unit to describe what is required and to measure the acquisition and the development of organizational capabilities.

Thus, the assessment of organizational capabilities can be carried out by comparing the practices used by organizational entities and the practices libraries deployed by the organization. These libraries are sometimes very structured (e.g. the Capability Maturity Model Integration [23] proposes a grid to store practices according to process areas and maturity levels).

Moreover, this assessment must be consolidated at every organizational level: the synergy of resources, knowledge and competences is observed on the operational level, but the interest of Organizational Capability Approach is to guarantee the link between strategy and operations [7]. Thus, the different local assessments have to be aggregated, for product sectors, for geographical areas, for functional networks (in order to verify the deployment and sharing of organizational capabilities) as well as for the whole organization (in order to diagnose the alignment between local endeavor and strategy).

2.2.3. Renewal mechanisms, toward a crossed learning and a better appropriation

The management of organizational capabilities is sometimes reduced to a transfer of good practices, where local innovations are detected once and modeled in some standards that learners attempt to continuously comply with. To some extent, people have to adapt themselves to what is asked of them but they cannot adapt the standards to what they are really faced with. This learning configuration aims at quickly aligning entities on organizational practices, but it can trigger off resistance to change and a bad appropriation of required knowledge by entities. It is why it is important to boost feedback from the entities, loop all the transfer processes, avoid them becoming overly normative and allow for the acquisition of new knowledge.

To guarantee the appropriation of practices by the “doers” (and make the tasks “fulfilled”), acceptance mechanisms must be understood. As explained by Guillevic [24], this acceptance process depends on two factors (cf. left side of Fig. 2):

- The intrinsic attributes of the learners, which reduce what the organization wants (the “expressed tasks”) into what learners are capable of doing (the “implied tasks”).

- The characteristics of the learning environment, which reduce what the organization wants into what learners are allowed to do (the “specified tasks”).

To limit the restriction effects generated by these factors, it is necessary to adapt or to transform the content of the guide or the context of the application. In this framework, Argyis and Schoen [25] introduced the “double-loop learning” principle (cf. right side of Fig. 2). This allows for the sustainability of the organizational learning system, by letting the “doers” propose innovation and call imposed practices into question. As underlined by the “performance’s causal model” from Burke and Litwin [26], the “doers” are not only in a “transactional” logic (simple loop), where they look to adapt their behavior to match the allocated objective. They are also able to have a “transformational” impact (second loop) on what they are asked to do, allowing organizations to acquire new knowledge from local ground, around the basis of existing transferred practices. This double loop learning is obviously based on the distinction between the knower (the one who teaches and constitutes the practices library, at a strategic level) and the doer (the one who learns and uses the practices to achieve his/her tasks at an operational level). More recently Le Boterf [27] added a third learning loop internal to the process of appropriation (not represented in Fig. 2 because there is no communication between strategic and operational levels): The doer can also become a knower for other doers at operational level. So horizontal learning is developed in addition to the vertical learning.

Three kinds of necessary mechanisms were identified in the literature to robustly manage Organizational Capability Approach. (1) Transfer allows for the deployment of organizational capabilities by structuring identified practices around strategic objectives and deploying them to the operational ground in a top-down process. (2) Assessment enables to diagnose the strengths and the weaknesses of an organizational entity (from a plant to the whole organizational) on required organizational capabilities, and to decide if it is mature enough to seize new opportunities. (3) Last of all, renewal aims at keeping horizontal and vertical innovation and dialogue in order to prevent the transfer mechanisms from becoming a managerial straightjacket.

The next section studies how these three mechanisms are implemented in existing methods and tools.

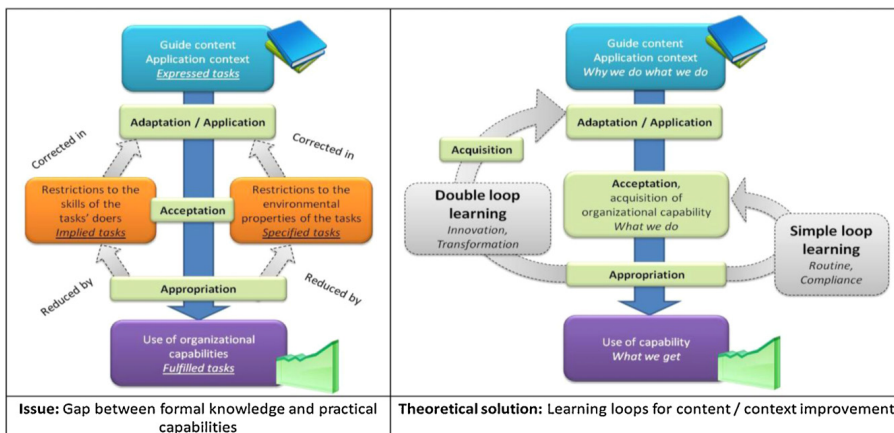


Fig. 2. Renewal mechanisms for organizational capability management.

2.3. Existing methods and limits

There are many methods and tools, both from academy and industry, which aim at managing organizational competencies. They follow the same objectives as the Organizational Capability Approach, even if the point of view and the managerial processes can be different.

The following paragraphs provide an overview of the methods and studies if they are sufficient to support the previously defined mechanisms. We classify them into three categories:

- from competency engineering, we distinguish (1) the process-oriented methods and (2) the resource-oriented methods, which differ by the kind of considered competencies (hard ones versus both hard and soft ones) and their links to the existing definition of activities,
- from management sciences, we can list some (3) organizational capability methods, which offer partial development to instrument the Organizational Capability Approach.

2.3.1. Process-oriented methods

On the organizational level, the “process-oriented” approach is supported by some quality methods. This details a set of standards in order to design a framework for developing and assessing organizational competencies after modeling the firms' processes. We can quote ISO norms for Integrated Management Systems: CMMI [23] and ITIL libraries [28] for Information Systems and SMEMP [29] for project management. These methods propose requirements and guidelines to build this competency framework around some process areas, and some of them also structure the competency assessment around a learning path (e.g. CMMI with the maturity logic).

Interesting tools must be kept in mind: they enable to structure and deploy practices libraries, and therefore to support the transfer mechanism presented in Section 2.2.1. However, the standpoint of these methods can be criticized for their decreasing consideration of organizational competencies. Indeed, the “process oriented” approach tends to qualify competencies according to the predefined processes it has to support [30]. The notion of competency therefore becomes a criterion to allocate entities to the organizational activities. It is often reduced to a kind of “technical competency” or “hard competency”, based on the theoretical knowledge and the know-how of operations by actors (see McClelland [31] and Amherdt [14]). In this case, competency framework must be redefined as soon as the firm's activities change. Furthermore, the renewal mechanisms are hard to implement because of the normative logic defended by these methods, often considered as standards.

2.3.2. Resource-oriented organizational competencies management

The “resource oriented” approach is supported by research works on competency engineering. Many authors (see Boucher [32], Harzallah and Vernadat [38], Bonjour et al. [33], Houé and Grabot [40], Hiermann and Hofferer [34]) propose models and frameworks (detailed in Section 3.1) to describe and assess competencies according to organizational aspects (closer to knowledge areas than processes) and on different organizational levels. These methods allow for the determination of the new opportunities provided by an individual (e.g. the polyvalence of an individual who can be allocated to different workstations), a group (e.g. the agility of a team which can be reconfigured on different projects) or an organization (e.g. the development of a new core competency in the management of composite products which can open new market).

So the approach is based on a broader definition of competency. This aims at identifying and developing it as a capital of knowledge

used to master the different aspects of the task that is given to the actors, whatever its organizational level [35]. The competency is then defined in the longer term: It does not only focus on technical aspects (and on the adequacy of an actor's skills to tasks) but also on the potential value which can be developed by the actor and reinvested in the current and future processes. It is more a kind of “behavioral competency” or “soft competency” [14] based on relational and learning aspects, which enable the mastering of “business knowledge”. Thus competency would be more adaptable and could be used whatever the operational processes chosen.

Nevertheless, the tools of the literature are either (1) overly oriented by an individual definition of competency that is translated at organizational levels by a difficult and sometimes non systemic aggregation or (2) more interested in the listing of organizational competencies and their global assessment without defining precisely how they are built from good practices and how they are practically developed in the different organizational entities. Because the analysis unit is the individual or the organizational competency rather than what explains and builds its development (i.e. identified in Section 2.2.1 as the good practices), the transfer mechanism is not really supported. Moreover, the renewal is weak for the same reasons (the under-detailed practices are difficulty improvable).

2.3.3. Organizational capabilities management

The methods focusing on the implementation of the organizational capability are very recent. We can mention the Capability Development Method, supporting IT administration, developed by Saint-Amant and Renard [7], the CBEA [36], or the CPX used by English SMBs to integrate Information Systems that was proposed in [37].

These methods reuse the same standpoint as the resource-oriented methods but at an ever macroscopic level. The organizational dimension is present from the onset (the logic of aggregation from individual competencies is not considered). Moreover they focus on the problem of governance and alignment to reinforce the link between strategy and operations. Thus, they propose global framework listing and the structuring of the key core competencies that a company must have on some specific strategic domains. For instance, Saint-Amant and Renard [7] suggest that Information System strategy is supported by some macro organizational capabilities (project management, risk management, organizational transformation, portfolio management), which can also be decomposed into other medium organizational capabilities (project management is supported by cost, quality or RH management). The strategy managers use this global and not very operational modeling of organizational capabilities to assess their organizations according to maturity levels. However, the elements to prove and justify the levels are not explicated and the assessment is sometimes subjective (dependent on the viewpoint of the manager).

These methods are not very mature. They stand at a very high level (necessary to keep the link with strategy) but they do not succeed in practically implementing the Organizational Capability Approach (the link to operations is not supported, because practices are not defined and detailed). The mechanisms for transfer and renewal are therefore absent or very weak. Furthermore, the organizational capability methods do not provide IT platforms to automate the management of the approach, which is necessary in the context of distributed, globalized organizations.

2.4. Toward an IT support for managing practically organizational capabilities

As emphasized by this overview on related works, some key points must be considered as invariant to support a reliable management of Organizational Capability Approach:

- the management of organizational capabilities Approach is based on three main mechanisms: transfer, assessment and renewal;
- literature emphasized some principles and guidelines to design and to structure the development of an organizational capability: (1) it is necessary to guarantee the link between strategy and operations; (2) good practices could be an analysis unit to structure and assess capabilities (3) learning and assessment must be combined efficiently, like in the CMMI method; (4) practices deployment has to follow the transfer process of Szulanski. These requirements lead to an operational modeling of organizational capability around strategic objectives, by structuring its components (the practices) along a learning process.

Moreover, the existing methods present some limits for the implementation of these necessary mechanisms (as figured in Table 1). The assessment mechanism is supported by the three categories but the transfer mechanisms (the way to structure practices and deploy them with the aid of a model or guidelines) are only thought out in detail by process oriented methods. Ultimately, the renewal tools are not very instrumented, whereas they are essential to prevent a constraining standardization and to guarantee a sustainable innovation capability in the organizational capabilities management. Indeed, they are not really considered as the heart of the methods: either (1) they are opposite to a normative logic, or (2) the lack in practices definition avoids them being implemented, or (3) the methods are not enough mature.

Finally, it is crucial to instrument the approach by providing an IT system. This will enable a systematic deployment of organizational capabilities, in order to help managers (1) at diagnosing its organizational status at different levels (What are the strengths and the weakness of the organization? Are different plants mature enough to work together? Can the firm produce the product anywhere with the same quality level?) (2) and at making decisions on the orientation of the organizational capability framework (What new capability does the firm need to develop? Can it profit from the progress of its plants to seize new opportunities and work on new projects?) (Fig. 3).

In the following sections, the paper outlines our multi-disciplinary approach, mixing and synthesizing the value of research work and existing methods coming from management sciences and competency engineering.

First, a conceptual analysis and modeling is completed in order to consider all the aspects and the relationships which characterize organizational capability object. This conceptual modeling emphasizes some key points enabling us to overcome the aforementioned limits on the mechanisms for transfer, assessment and renewal. Then, the results of this conceptual phase are used to identify and structure generic IT solutions supporting the three management mechanisms. Then, this generic design of the IT system is specified on the industrial case of Valeo Group by proposing some concrete and practical solutions. All these propositions aim at supporting Organizational Capability

Table 1
Comparison of methods for managing Organizational Capability Approach.

	Standpoint		Capabilities Management Mechanisms			Examples of methods
	Process independent definition	Operations – strategy link	Transfer tools	Assessment tools	Renewal tools	
Competency engineering						
Process oriented methods	No	Medium	Yes	Yes	No (normative logic)	ISO, CMMI, ITIL, SMEP sarC, CRAI, CSM, ECFM (cf. Section 3.1)
Resource oriented methods	Yes	Weak to medium	No (no practices definition)	Yes (sometimes non systemic aggregation)	No (no practices definition)	
Management sciences						
Organizational capability methods	Yes	Strong	No (not developed enough)	Yes	No (not developed enough)	CBEA, CPX, Capability Framework

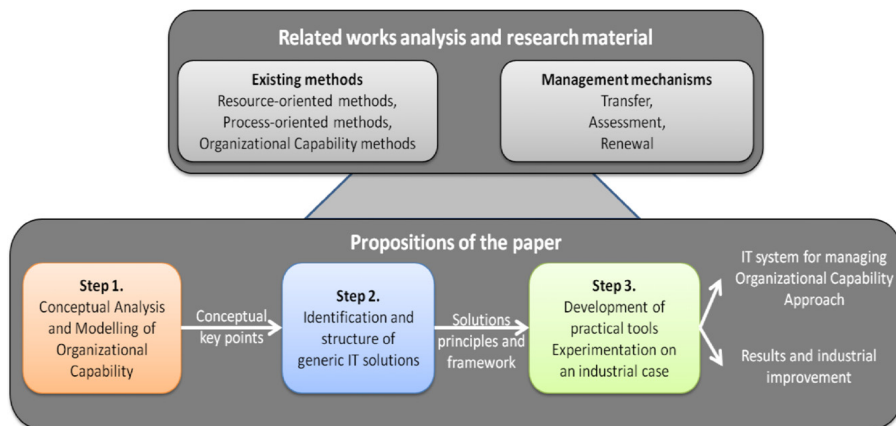


Fig. 3. Our approach for developing and IT system for managing Organizational Capability Approach.

Approach and helping managers in the implementation of this approach.

3. The C-makers model for supporting Organizational Capability Approach

This part proposes and explicates a formal model of the concept of organizational capability in order to gain an accurate understanding of this management object. This model will also emphasize the relations on which IT solutions could be proposed in order to enable better management and IT support of the approach.

3.1. Structuring concepts

The concepts supporting the three approaches (cf. Section 2.3) for managing organizational competencies are analyzed in order to extract the structuring elements for modeling the organizational capability concept.

3.1.1. Concepts from resource oriented approach: focus on composition and assessment

Many works from competency engineering (overviewed in Section 2.3.2) propose models for managing individual, collective and organizational competencies: CRAI [38], sarC [32], the competency systemic model, later referenced in the paper by CSM [39], the extended competence framework model, later referenced in the paper by ECFM [40] and UECML [41]. These models differ considerably in their objectives and in their implementation: for instance, both CRAI and ECFM develop software based on their model in order to assess competencies and their adequacy to organizational needs as well as to identify the needs for training or qualification in correcting an inadequacy. CSM is more focused on the understanding of how an actor gathers knowledge and resources to build a dynamic competency according to a situation, and proposes some theoretical mechanisms to enrich the competency management. Nevertheless, some common concepts and relationships are shared by all these different works, and could be used for modeling organizational capability, particularly for explaining how it is composed and assessed.

The main objects

- **Entity (Actor):** All the models in the literature emphasize the notion of the actor, that is to say the entity (it could be an individual, a team, or a plant) which produces results by carrying out some activities and by putting into practice the competency it acquires. Some models keep this dynamic term (the actor is the one which acts), some others (like CRAI) prefer to deal with the static concept of “individual”, by detailing its dynamic characteristic in the relationships with other concepts. The notion of “individual” always exists, whereas the definition of “actor” is dependent on and cannot be defined without “action”. For the proposed model of organizational capability, the term “entity” is used: It maintains the static description given by the term “individual”, and it can be understood at different levels, encompassing the notion of “individual” as well as any kind of group.
- **Mission:** This concept is also commonly used by the different approaches cited. This is the essential function of an entity. This term is often used on an individual level to detail the field of activities an individual has to master. This term also exists on a strategic, organizational level, to explain the long-term general objective of the organization. This long-term mission can be expressed in the achievement of some short-term operational objectives, in the obtainment of activity results. It is also

expressed in the functional requirements of competency that an entity has to acquire.

- **Aspect:** Some models, like CRAI or the systemic model, use the concept of “aspect” to define the functional/knowledge area covered by the mission and which must be mastered by competency. Some other models, like ECFM, use the notion of roles based on the work of Mintzberg [42] and Hermosillo et al. [43]. Role is a group of functions that the entity has to achieve. These notions are quite symmetric: the entity plays different roles in order to achieve its mission, and the mission has several aspects that the entity must master. For the modeling of organizational capability, only the term “aspect” is maintained, to avoid semantic redundancy.
- **Knowledge/environmental resources:** The authors did not come to a consensus for choosing the concept enabling to describe which elements the entity builds its competency from and use it. Some works consider that competency is only a construct built from knowledge, know-how, know-whom and know-be (CRAI, ECFM, UECML). Some others (like sarC model) represent competency rather as a means to link the entity with some environmental resources and do not give details of the knowledge used to create this link. Finally, CSM presents competency as a selection, a combination and a use of both knowledge and environmental resources. This point of view will be kept for the modeling of organizational capabilities, in order to distinguish between the “material” means (machines, software, collaborators, etc.) and the “immaterial” means (knowledge, know-how, etc.). Moreover, knowledge and resources can be on different organizational levels: A resource for a production service can be the R&D center or a machine, knowledge for the production service can be the quality policy of the group (such as TPM for Toyota) or the know-how of an operator on a specific machine.
- **Situation:** There is still a main concept shared by some models (sarC, CSM): the notion of “situation” consider the context (1) where the mission is achieved, (2) where the knowledge and the resources exist or not and are activated by the entity, (3) and also where the competency is implemented. A competency exists only if the situation enables its expression. For instance a medical team can cure some strong diseases in a fully equipped hospital but it would not be able to save its patients in a desert without tools.

The main relationships

- **The required/acquired link:** Competency is considered as the interface between mission and entity. This relationship is used to assess competency, by observing the adequacy between what an entity acquires and what a mission requires (similar to the qualification approach which assesses the adequacy between entity and process). As mentioned by Berio and Harzallah [44], this assessment is based on strong hypotheses: required competencies must be clearly and completely defined in order to be coherent with the whole mission of the entity. Moreover the proofs (the guiding elements which are checked to verify if an entity has acquired competency) must also be clearly and completely modeled. These hypotheses point out the great importance of the phase of competency design (focused on the definition of what the mission requirements are and how these requirements can be obtained) and assume that the expert designing the competency system is reliable. In addition, they do not take the notion of “situation” into account, which can cause some interference, even if the design phase is accurate. For example, a generic competency model can be applied for the training of medical teams; it would be sufficient for teams working in a hospital environment but not for those operating in desert conditions.

- *The link with activity and the notion of result*: Some models from the literature conserve a part of the process-based view of competency, linking activity and competency (sarC, ECFM). To some extent, activity can be considered as the use of the competency in a specific situation by an entity in order to achieve its mission. However, activity, in essence, is dynamic. In the modeling of organizational capabilities the static concept of result (as activity's "product") is maintained. This concept, encapsulating the dynamic notion of activity, can also be used to provide an indicator on the "real" behavior of the capability in a situation and to potentially enable the identification of the limits due to the hypotheses presented above in the "required/acquired" relationship [12].

3.1.2. Concepts from process oriented approach: focus on the organizational structure

The quality methods supporting the process oriented approach are based on the creation and the deployment of good practice libraries such as ISO or CMMI, to guide organizations in the control or the maturity of their processes, or SMEMP for their projects [29]. Thus, they aim at organizing and assessing the organizational competencies of the organization around some key processes that are defined according to some recommendations (such as Part 4 of the ISO9000 norm) or even defined completely (such as the decomposition of CMMI in process areas). In order to detail how the previous concepts (aspect, mission, knowledge and environmental resources...) are structured in organizations, the process oriented approach provides some characteristics that enrich the modeling of organizational capability.

The main objects

- *Operational and functional objectives*: They differentiate operational and functional objectives in the achievement of the mission and focus on the fulfillment of the functional objectives. Indeed, a mission expects some results in a specific situation, and a mission also requires capabilities covering some of its aspects.
- *Knowledge and process area*: In order to structure the capabilities, the existing methods require and use the definition of the organizational processes (ISO9000), or define a set of process areas (CMMI) or knowledge area (SMEMP) a priori. It is a means to avoid forgetting an "aspect" of the mission given to the entity.

The main relationships

- *General to specific decomposition*: The mission is decomposed, from general objectives to specific objectives. Following Management by Objectives [45], methods like CMMI or SMEMP use the notion of "general and specific requirements".
- *"Axiomatic design"-like principles*: The structure of the quality guide (ISO) or the maturity model (CMMI, SMEMP) differentiate and link the requirements (what the organization needs) from the practices (what the entities use in order to act), in an "axiomatic design" fashion [46]. Practices are not always an operational means (they do not give details of which software, which machine or which tool must be used to improve the activities' performance), but they could constitute a guide (find a tool which can be used with such constraints, create and implement a method which answers such criteria, etc.) to meet requirements. To some extent, it is the way to detail how capability is acquired (guiding characteristic) and to provide the "proofs" so as to check if the entity acquired the capability well (assessing characteristics).

The extracted concepts and the relationships from resource-oriented and process-oriented models are rather "static", focused on the structure of capabilities. The next section explores the dynamic aspects of organizational capability, by pointing out the concepts related to the learning and improvement processes.

3.1.3. Concepts from Organizational Capability Approach: dynamic learning and improvement

The research works on good practice transfer, organizational learning and learning loops (cf. Section 2.2) are then analyzed to extract clues on how to appreciate the management rules of organizational capabilities:

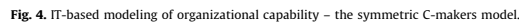
- *Formal work/practical work*: Capabilities can be seen as the product of the formal work of experts (which gather and structure the organizational good practices around functional objectives) or as a contextualized means of action for entities (which use capabilities to ensure that their activity is successful).
- *The triple loop learning (transfer, feedback, practices sharing)*: On the one hand, capabilities requirements and practices are deployed on the operational ground according to some transfer mechanisms (see Szulanski [6], Nonaka [22]). On the other hand the learning entities use the capability structure to share their experience and some new good practices. According to Le Boterf [27], the entity can either, (1) in a single loop, adapt its behavior to what is asked for, (2) in a second loop, propose some improvements on the requirements and practices the organization gives to it, or (3) in a socialized third loop, adopt the capabilities and share them with others. This triple loop learning is based on:
- *Learning schema and path dependency*: The capabilities are acquired by entities by learning. For individual competencies, Berio and Harzallah [44] refer for instance to e-learning techniques, for quality approach, some good practice libraries propose a structure to guide the learning (like CMMI or SMEMP, with the notion of maturity level). According to Boumane [39], the learning dynamics can be captured in the notion of schema, that is to say the organization of learning elements such as operational invariants, inferences rules, etc. [47]. Moreover, the notion of maturity level is ultimately related to an intrinsic property of organizational capability: the path dependency. This explicates the status of organizational capability acquired by entities, which is dependent on the way (the different past states) the entities learn the capabilities [48].
- *Contextual learning*: As explained above, the capabilities must be deployed according to the situation of their potential use. That is why learning objectives (maturity level to reach, delay to achieve the functional objective) must be discussed beforehand. The capability structure therefore becomes a support for negotiating the efforts to be made between the organization and its entities. Furthermore, the situation also plays an important role in the capability acquisition, in considering the "triple loop" of Le Boterf (when entities adopt capabilities and share them with other). Entities can learn from others in order to progress more rapidly on the capabilities, by comparing their context similarities [12]. Thus, they constitute CoPs ("Communities of Practice", see Wenger [49]) around capability subject.

3.2. The C-makers model

As illustrated in Fig. 4, the previous definitions of the structuring concepts enable us to build an organizational capability model, called C-makers ("C" for Capability, and "makers" for the other concepts which "make up" the capability).

3.2.1. Conceptual synthesis

The UML language was chosen to represent the model because of its understandability and its simplicity to be conceptually used by managers and software developers. This conceptual model will enable us to emphasize some key points and to structure new managerial and IT solutions, overcoming the limits identified in Section 2.3 in the following parts.



In order to conserve the link between strategy and operations, the system must be accessible to managers at different organizational levels. Moreover, communication and dynamic management should be implemented between them (Fig. 5).

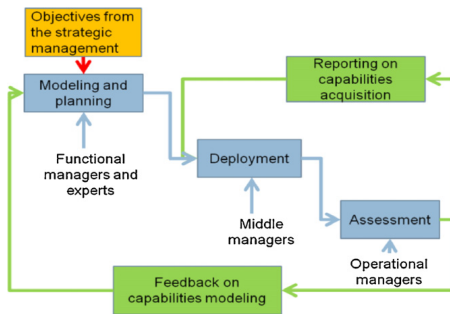


Fig. 5. System users.

These users can be categorized according to the Szulanski transfer process:

- *The functional managers* are responsible for the adaptation of the acquired practices around defined organizational capabilities (strategy managers choose capabilities to develop, and functional experts translate them by structuring a set of identified good practices that operational ground has to acquire).
- *The middle managers* are responsible for the application of organizational capability patterns (they transmit the structured

good practices to the local ground by adjusting the context of application and the learning objectives).

- *The operational managers* are responsible for the acceptance and the appropriation of organizational capabilities on their local ground. They also have to boost learning and improvement to enrich the modeling of organizational capabilities by functional managers and to adapt the objectives defined with the middle managers (to guarantee the double loop learning that is necessary for renewal).

4.1.2. Main functionalities to implement a dynamic management of organizational capabilities

The three management mechanisms are reviewed to provide them with generic IT solutions.

- *Transfer*: As illustrated in Fig. 6, a part of the C-makers (represented by the transparent background, an excerpt of Fig. 4) is specified to design the pattern for modeling organizational capabilities, that is to say, for structuring practices around strategic objectives. The pattern combines learning and evaluation logic in order to ease its transfer (between functional, middle and operational managers) but also its operational assessment:

- the class “aspect” is decomposed into some “levers of action” (which are the elements of aspects on which capability development can be supported);
- other dynamic learning aspects (synthesized in Section 3.1.3) are added to this specification. Thus the class “schema” is based on

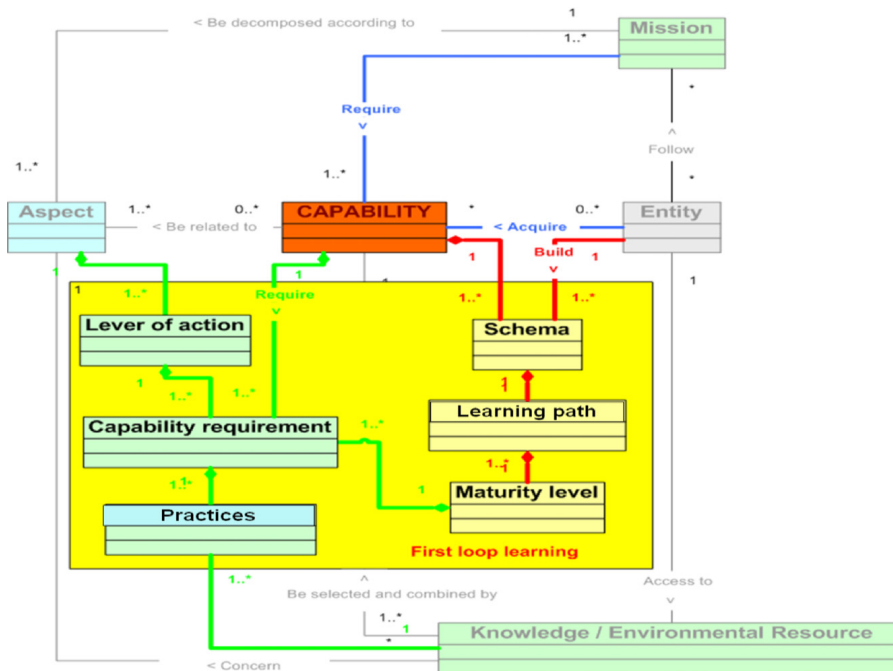


Fig. 6. Transfer patterns for structuring organizational capability with practices.

the “learning path” (which follows the property of path dependency) which is composed of different “maturity levels”;
 • capability requirements stand at the intersection of “levers of action” and a “maturity levels”. Indeed, each lever is allocated with an objective for each level. Finally, a set of practices composes a capability requirement in order to detail and prove its achievement.

This generic structure for gathering practices around organizational capabilities and enabling their deployment is specified in Section 4.2.1 on a specific pattern called roadmap.

- **Assessment:** The multi-level consolidation of capability measurements is guaranteed by the multi-level property of the entity (it can be a plant, a division, or the whole company) as well as the links with aspect and mission which enable aggregation by functional networks, by product or geographic zone (cf. Fig. 6).

Moreover the C-makers model highlights the possibility to enrich capability assessment by using the difference between capability and results. This point of view (illustrated in Fig. 7 specifying a part of the C-makers model) consists in considering and assessing capability, not only as the product of the learning process but also as a factor explaining the performance a plant gets.

This stresses the need to adopt decision support systems able to cross data: (1) capability assessments could therefore be compared with operational performance indicators on different levels to estimate if the implement capability is efficient and coherent with the operations; (2) this coherence could be also studied with informational information to find explicative factors of some singular behavior.

This approach will be developed in a specific tool called “Perf&CoP Manager” and presented in Section 4.2.2.

- **Renewal:** The most obvious solutions to support renewal are the dialog between local and middle managers (who can regularly negotiate the learning objectives) and a feedback management system (that would enable to gather and bring up issues or recommendations from operational managers to functional managers). They could respectively support Argyris’ first and second learning loops. Nevertheless, active feedback is not always easy to maintain. Moreover, a third loop must also be created to allow for innovation, recycling practices and mutual learning, as proposed by Le Boterf.

To remediate to an occasionally deficient second loop, capability coherence could be used to supply passive feedback. Indeed, it is a way of knowing if the capabilities are really appropriate and generate interesting effects (information that classical capability assessment, overly focused on the learning and acquisition process, does not provide). Furthermore, the use of situational information (context, product type, seniority) with this capability could constitute criteria to constitute CoPs (emerging from the same concerns in the same context) and launch more targeted animation. These elements are also developed in the “Perf&CoP Manager” tool of Section 4.2.2.

4.1.3. IT structure design

In a generic way, we structured the previous proposed IT solutions, as depicted in Fig. 8. The elements related to transfer mechanisms are drawn in green, the ones related to assessment mechanisms are in red, and the ones related to renewal mechanisms are in yellow. The core of the generic structure is an engine linking a database, where organizational capabilities could be stocked, and a server which enables us to make requests. Around this core, the solutions supporting the three management mechanisms are structured:

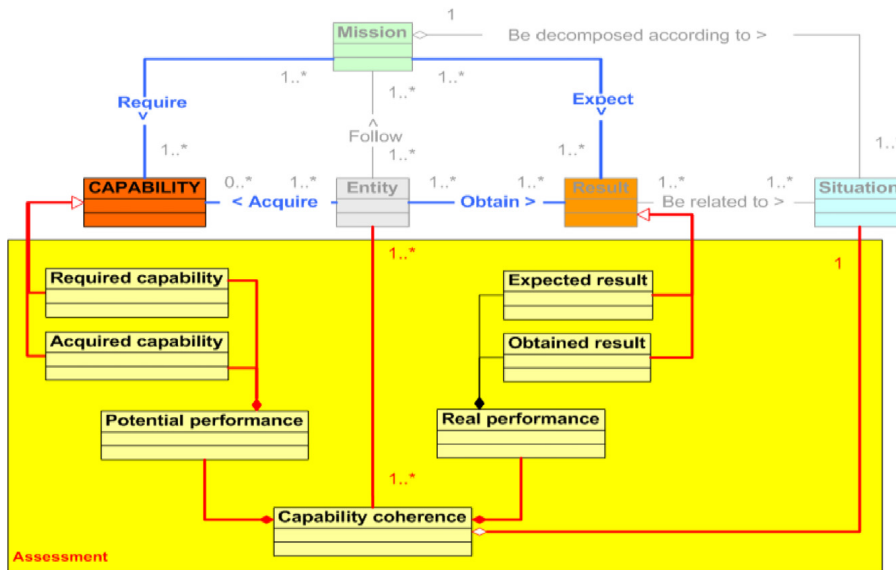


Fig. 7. Organizational Capability Coherence assessment for passive feedback.

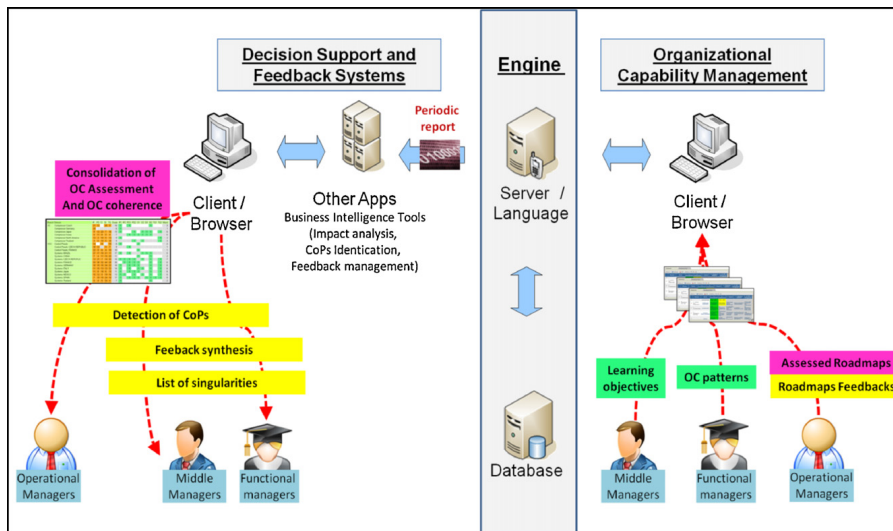


Fig. 8. IT structure for organizational capability management.

- **Transfer and Daily Data Management:** A client-server relationship allows for the daily management of Organizational Capability Approach. It supports the interactions of the three categories of managers who can explore the database (at this step access rights have not been thought out yet: it is hard to foresee if progress visibility by all entities is an incentive lever or a paralyzing comfort). Furthermore, the managers have different writing access rights: (1) functional managers propose and correct patterns, (2) middle managers allocate the patterns to entities and define learning objectives, (3) operational managers regularly assess the patterns in order to inform upon the local acquisition of organizational capability and they can also give their feedbacks on the system.
- **Assessment and Periodic Data Management:** A server-server relationship allows for the periodical export of data which could be consolidated for other usages. For instance, local assessment can be aggregated weekly or monthly in business intelligence tools and then provide specific indicators for managers on requested organizational perimeters. Moreover, other indicators coming from tools like ERP can be crossed with the organizational capability learning indicators to provide new pertinent information, as previously suggested.
- **Renewal and Periodic Data Management:** Active user feedback can be periodically synthesized and pushed to functional managers for correction. Finally, the passive feedback (built from consolidated capability coherence indicators) could also be useful for creating participative and community innovation by listing singular entities or constituting CoPs.

4.2. The Valeo experiment

The Valeo group is a well known automotive supplier, present in 28 countries and employing around 70,000 people. It has been looking into integrating the Organizational Capability Approach in its management system for 4 years. It has to manage about 50 strategic organizational capabilities required by 6 functional

networks (Information Systems, Production Systems, People Involvement, Quality Systems, Supplier Integration, and R&D Constant Innovation) in about 120 plants.

In this context, research and industrial works were carried out within the Pilot2.0 project supported by the French National Agency of Research [50]. It involves laboratories (IRCCyN and M-LAB), companies (MNM Consulting and Valeo) and institutional partners (Vaucluse County Council). The aim of this partnership is to provide a generic methodology and a platform for the management of organizational capabilities in distributed organizations. The following paragraphs present how a platform is specified – according to the previous model C-makers – to enable the mechanisms of transfer and assessment and how a complementary module is added to create the second and the third learning loops and to support the organizational capabilities' renewal. These IT solutions have been specified by the Valeo group and their implementation – over the three last years – illustrates the paper's developments.

4.2.1. Transfer and assessment of an Organizational capability for deploying an IT network

First of all, it is necessary to provide a pattern that structures practices enabling the modeling of organizational capabilities, their deployment (by ensuring a dialog between the three kinds of manager) and finally to guide and assess their development on local ground. Fig. 9 represents a short excerpt of a Security Roadmap used by Valeo. The capability pattern takes the form of a matrix called roadmaps, designed by Monomakhoff and Blanc [51]. Fig. 9 underlines the different elements by linking them with the specification of the C-makers made in Fig. 6.

In this example, the requirement "security deployment is planned" is achieved when three practices are completed (on coordinators appointment, armbands order, and training modules writing).

The roadmap is self-assessed by operational managers. This assessment follows the logic of "front progression": all practices of

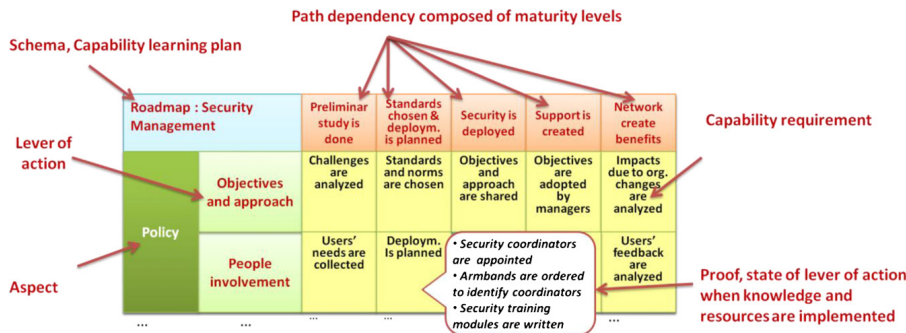


Fig. 9. Excerpt of a security roadmap (specific organizational capability pattern).

a capability requirement must be validated to achieve this requirement and all the capabilities requirements of a maturity level must be achieved to overcome the level. This assessment logic forces managers to look for coordinated progress on all the aspects of the capability.

On the security roadmap example, the acquisition and the development of tools and standards are not sufficient to acquire the capability; if he/she wants to overcome level 1 or 2, the manager has also to take into account the information and the training of the employee on the security tools.

All these measures are consolidated at the different group levels, to give an overview of the maturity levels reached by a site, a business unit, a functional network, or the whole group, as emphasized in Fig. 10.

On the example of security roadmaps, only 20% of Eastern European plants of the group succeeded in passing the maturity level 2, whereas all these plants acquired all the practices of levels 1 and 3.

So roadmaps enable to manage organizational capabilities by assessing them according to the “acquired/required” relationship. Moreover, it proposes a double learning loop with the implementation of a feedback system (based on a wiki platform). Nevertheless, issues have been identified in the context of Valeo [52] about people involvement and their participation in the third feedback process.

For more than one year, Valeo's middle management did not understand why Eastern Europe was not “capable” of security, and

they had no local feedback on this issue. A later audit explained that the practice on “armbands” actually had a negative connotation in this geographical zone (because of a historical and political past) and prevented the plants from progressing in their learning.

It is therefore necessary to reinforce this second loop (to have “vertical ascending many-to-one” communication) and, in addition, create a real third loop (to support the “horizontal many-to-many” collaboration).

4.2.2. Enriched assessment and renewal around this IT network Organizational Capability

The two identified limits in the implementation of the previous system are:

- the capability assessment based only on the “acquired/required” relationships but not linked to the study of the capabilities effect on real performance,
- a deficient second loop, due to the weak participation of operational users in the feedback process, which does not provide enough information on the situation of learning and use of the capability.

In order to overcome these limits, an additional module was designed, called Perf&CoP Manager. It currently takes on the form of a demonstrator. It uses Valeo data and it is tested on scenarios in order to demonstrate its validity. Its development is based on VBA and some Google APIs, in order to facilitate data manipulation and future integration into the Roadmapping platform. The security roadmap is once again taken to illustrate its functioning. This module provides:

- *Impact analysis*: the assessment of capabilities with the assessment of results are crossed; Based on statistical dependency methods [12], this enables the analysis of the impact of capabilities on real performance. It therefore provides a means of detecting if a roadmap accurately models an organizational capability, without unexpected negative side effects on some performance indicators (cf. Fig. 11, blue box).

The security roadmap has a positive influence by decreasing the number of occupational accidents. On the other hand, it has a secondary negative effect and seems to currently reduce the production rate. The practices structured in the roadmap must be

Zones	1	2	3	4	5
Western Europe				30%	
Eastern Europe		20%			
North America					
North Africa		90%	60%		

Fig. 10. Consolidated assessment on geographical zones.

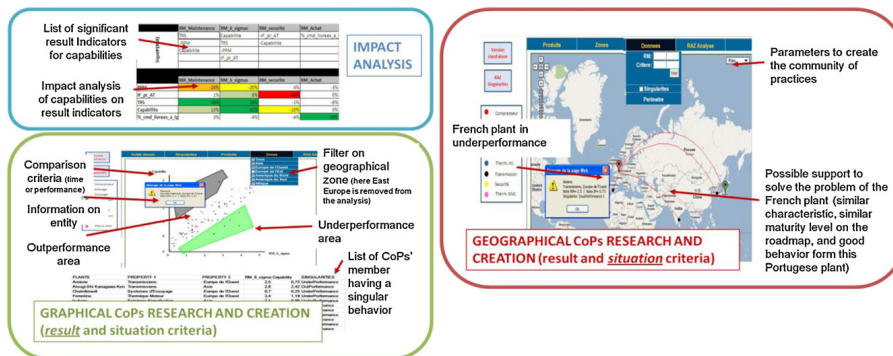


Fig. 11. Impact analysis and CoPs for supporting the second and the third learning loops. (For interpretation of the references to color in this text, the reader is referred to the web version of this article.)

reviewed (requirements on the continuous presence of a security officer or the frequency of security controls could be changed).

- **Singularities' analysis and passive feedback:** The sometimes deficient active users' feedback (the second learning loop) is enriched with some passive information. Because people do not always speak about their operational problems, the analysis of the behavior of a roadmap on all the entities according to a performance criterion (chosen by an expert or obtained by the impact analysis) provides a way to detect entities with outperformance or underperformance. As emphasized in the green box of Fig. 11, the manager can manually determine the zones of regular and singular performance, by choosing filters (he can choose a specific geographical zone or a product branch) and listing the entities which show unexpected behavior.

The behavior of plants is analyzed by comparing their assessment of the security roadmap and their frequency rate (an indicator characterizing the occupational works). In addition to the entities from Eastern Europe (frozen at the 2nd maturity level due to the non adapted armband's practice), a French plant also presents singular behavior. The former acquired all the practices of the first three maturity levels, but it has a bad frequency rate in comparison with the other plants with the same capability level. This identified situation requires a particular audit or a targeted animation on this kind of plant. This will enable to find the factors of this singularity (for instance, it could be due to an assessment error, or to the absence of implicit practice that other plants possess by default and that is not written in the roadmap).

- **Communities of Practices – Research and Creation:** From the analysis of singularities or by acting on the filter tools (result indicators, situation properties), some entities can be grouped in order to create a real third learning loop (cf. green and red boxes of Fig. 11). It is one way of proposing local collaborations (1) between regular neighbor entities (similar in performance or/and in situation) to increase capability acquisition speed, (2) between singular and regular entities, to solve the problems of singular entities by following the example of regular entities (3) or between singular entities, to make them think about the causes of their problems and to see if it is a problem related to the adaptation of roadmaps in certain situations or to detect opportunities in order to enrich roadmaps through new good practices in the case of outperforming entities.

The French plant (producing air conditioning systems) is invited to join a Community of Practice with other plants sharing the same security roadmap level, the same product, some other similarities (language, geographical zone, seniority...) and having a better frequency rate. So the French plant can ask other CoP members if they implement implicit practices not written in the roadmap. It can also get some advice from others to progress more efficiently and more quickly on a level it has difficulties to achieve. Moreover, the middle manager responsible for a group of entities, who observes that some of them are singular on the security roadmap, could create a specific CoP and launch targeted actions to unlock this issue.

4.2.3. Results analysis

Fig. 12 summarizes the specific IT solutions deployed in Valeo group by integrating them into the generic IT structure (cf. Fig. 8).

This platform instruments the three management mechanisms:

- **Transfer:** Roadmap Manager is a platform which stocks roadmaps and supports transfer and assessment mechanisms (by allowing navigation, edition, assessment, and addition of commentaries).
- **Assessment:** SAP BW is the decision support system chosen by Valeo. It supports the weekly and monthly consolidation of data on different organizational perimeters. It could also feed some mash-up applications (widget presenting scorecards in iGoogle for instance).
- **Renewal:** Last of all, the wiki platform gathers and synthesizes feedback on capability requirements or practices considered as difficult to acquire. Moreover, the proposed Perf&CoP manager is integrated into this framework to enable vertical and horizontal improvement.

The first feedback of Valeo is positive:

- On the use of roadmaps for supporting transfer and assessment mechanisms in Organizational Capability Approach management:
- A survey led within Valeo Group in 2008 by Fall and Rauffet [52], using the interview of 40 operational and middle managers belonging to different industrial branches, shows that 74% of managers consider that the roadmaps make the good practices repositories explicit and accessible. Moreover, for 87% of middle management, it is also a tool for better understanding and

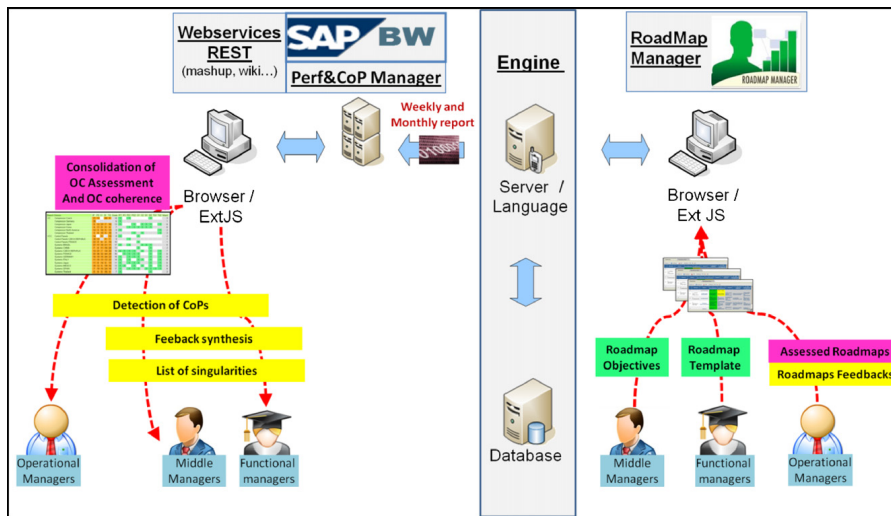


Fig. 12. IT Specific Valeo IT structure for roadmapping.

driving organizational progress. In summary, roadmaps enable them to capitalize on and make good practice libraries operational. It is also a way to introduce new practices more rapidly, such as the green IT approach [53]; last of all, it allows the fast integration of newcomers in its organization, and it improves the control of operational excellence and organizational cohesion by providing some useful consolidated data [54].

- In a quantitative way and according to the quality managers of Valeo [55], the use of roadmaps is directly responsible for up to a 50% decrease of faulty "parts per million" in some plants of the group, which is an important indicator for an automotive supplier.
- From a managerial viewpoint, François Blanc, Valeo's Director of Information Systems, signalled the use of a roadmap as a means to give functional objectives in addition to the operational objectives. This enables the plant to have a long-term view of the strengths and weaknesses of an entity, in addition to the short-term performance view. An entity could have, for instance, good financial indicators over a short-term period, if a manager reduces investments, training and resources for process and product innovation. However, this reduction can trigger bad performance, because there are not enough resources. Roadmaps are therefore a means of controlling the sustainable "good health" of entities and not only their apparent "fitness".
- On the interest of the Perf&CoP manager module for creating or reinforcing the renewal mechanisms:
- The same Valeo survey in 2008 shows that more than 60% of operational managers consider the roadmap system as a reporting tool. 65% of them use the system once a month or less, and do not use (or even do not know) the feedback functions. One of them explains this deficient renewal process by a lack of time and the distance with functional managers ("We do not speak with God!" he joked).
- The first implementation of this complementary module on scenarios shows the advantages for users to detect and to correct the problems in organizational capability management more rapidly, (1) by studying the side effects of roadmap patterns, (2)

by identifying the contextual factors generating these issues, (3) and by boosting participative innovation by creating local communities of practices.

5. Conclusive discussion

This paper is part of research works into the Organizational Capability Approach. This offers a standpoint which is not oriented by process definition and which is at an organizational level by nature. To some extent, this approach enables us to overcome certain criticisms addressed to current engineering competency methods.

The propositions defended by the article bring contributions:

- *on conceptual, managerial and IT levels*: C-makers model structures concepts around organizational capability to improve the understanding of the managed object, and resulting IT solutions provide a complete framework for supporting the management mechanisms (transfer, assessment and renewal of Organizational Capability Approach).
- *on an industrial level*: this conceptual material enabled the specified design of the roadmapping platform and the additional module Perf&CoP Manager. These very complementary IT solutions constitute for Valeo managers an operational toolbox, which covers all the dimensions of organizational capability management. All or part of these tools have already been tested in the Valeo group context and give some encouraging results. The knowledge and resources of the company are really capitalized around the approach: Good practices are identified, used and recycled more efficiently (before they were only gathered by functional managers on some static guides that stayed sometimes at the back of the cupboard) and a real organizational learning process is implemented to federate all Valeo's plants.

However, these propositions are based on a hypothesis which limits the implementation perimeter of the Organizational Capability Approach:

- *Study perimeter*: the paper only studies the case of globalized organizations (distributed, multi-level, multi-product, multi-functional context) who control their organizational entities. Organizational capabilities are therefore managed in an intra-organizational way. Is it possible to translate the propositions to a more local context or in extended enterprise with a network of entities where the control is harder to maintain?
- *Data quality*: the concrete use of capability coherence assessment is submitted to the quality of available information which should be a parameter to consider the pertinence of the proposed decisional tools.

Further works could explore new perspectives:

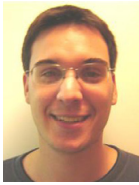
- *on scientific and managerial levels*: a bridge must be built between organizational capabilities approach and individual competency methods to align completely competency management with strategy.
- *on industrial level*: future work will continue to generalize on the validation of the additional module in the context of the Valeo group and other similar companies.

Acknowledgements

The authors would like to thank the ANR (National Research Agency) which supports the Pilot2.0 project, as well as François Blanc (Director of Information Systems of Valeo group), Nicolas Monomakhoff (Head of MNM Consulting), Ibrahima Fall (ex-PhD student in MNM Consulting), Roland Alech (Project Manager in MNM Consulting) and Michel Labrousse (head of the Research Department in MNM Consulting), who provided their precious advice and shared their operational experience of the roadmap to build scientific and pragmatic models and frameworks for managing organizational capabilities.

References

- [1] M.E. Porter, How Competitive Forces Shape Strategy, Harvard business Review, 1979.
- [2] M. Harzallah, G. Berio, F. Vernadat, Modeling and analysis of individual competencies to improve industrial performances, IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics 36 (1) (2006).
- [3] X. Boucher, E. Bonjour, B. Grabot, Formalisation and use of competencies for industrial performance optimisation: a survey, Computers in Industry 58 (2007) 98–117.
- [4] R.M. Grant, Prospering in dynamically-competitive environments: organizational capability as knowledge integration, Organizational Science (1996) 375–387.
- [5] G. Hamel, C.K. Prahalad, The core competence of the corporation, Harvard Business Review 68 (3) (1990) 79–93.
- [6] G. Szulanski, R.J. Jensen, Presumptive adaptation and the effectiveness of knowledge transfer, Strategic Management Journal 27 (2006) 937–957.
- [7] G.E. Saint-Amant, L. Renard, Premier référentiel de connaissances associées aux capacités organisationnelles de l'administration électronique, Management International 9 (2004) 49–64.
- [8] D.G. Hoopes, T.L. Madsen, G. Walker, Guest Editors' introduction to the special issue: why is there a resource-based view? Toward a theory of competitive heterogeneity, Strategic Management Journal 23 (2003) 889–902.
- [9] J.B. Barney, Firm resources and sustained competitive advantage, Journal of Management 17 (1) (1991) 99–120.
- [10] P.O. de Pablos, M.D. Lytras, Competencies and human resource management: implications for organizational competitive advantage, Journal of Knowledge Management 12 (6) (2008) 48–55.
- [11] P. Lorino, Méthodes et Pratiques de la Performance, Editions d'Organisation, 2001.
- [12] P. Rauffet, C. Da Cunha, A. Bernard, M. Labrousse, Progress management in performance-driven systems: study of the 5 steps roadmapping, a solution for managing organizational capabilities and their learning curves, in: 13th Symposium IFAC on Information Control Problems in Manufacturing, Moscow, June 2009, 2009.
- [13] M. Lebas, Oui, il faut définir la performance, Revue française de comptabilité 69 (1995) 66–72.
- [14] C.H. Amherdt, F. Dupuich-Rabasse, Y. Emery, D. Giauque, Compétences collectives dans les organisations, Presses universitaires de Laval, 2000.
- [15] J.P. Vaudelin, La compétence collective en quête de significations, 1er colloque GCGI, Nantes, December 12–13, 2002.
- [16] R. Sanchez, et al., Dynamics of Competence-based Competition, Elsevier Science Ltd, 1996.
- [17] Cullen Coates, Managing Organizational Competencies, 2008 http://cullencoates.com/images/Managing_Organizational_Competencies_.pdf.
- [18] P. Senge, The Fifth Discipline: The Art and Practice of the Learning Organization, Doubleday, 1990.
- [19] D. Garvin, A. Edmondson, F. Gino, Is Yours A Learning Organization? Harvard Business Review, 2008.
- [20] A. Yeung, D. Ulrich, S. Nason, Organizational Learning Capability, Oxford Press, 1999.
- [21] M. Diani, Connaissance et performance économique: Une nouvelle vision de la firme dans une économie basée sur la connaissance, Aix-Croisées Scientifiques (ACS): Connaissance(s) et Incertitudes, Aix-En-Provence, 2002.
- [22] I. Nonaka, A Dynamic Theory of Organizational Knowledge Creation, Organization Science, 1994.
- [23] SEI, CMMI website, 2011 <http://www.sei.cmu.edu/cmmi/>.
- [24] C. Guillevis, Psychologie du travail, Nathan Université, 1993.
- [25] C. Argyris, D. Schoen, Organizational Learning: A Theory of Action Perspective, Addison Wesley, 1978.
- [26] W. Burke, G. Litwin, Causal Model of Organizational Performance and Change, Journal of Management, 1992.
- [27] G. Le Boterf, L'ingénierie des compétences, second edition, Editions d'organisation, Paris, 2000.
- [28] ITIL, ITIL Home. Consulté le Juillet 2010, 2011 <http://www.itil-officialsite.com/home/home.asp>.
- [29] Gonzalez-Ramirez, F. Marle, J.C. Bocquet, Assessing Project Maturity: A Case Study PMI Research Conference, Poland, 2008.
- [30] C. Armistead, Knowledge management and process performance, Journal of Knowledge Management 3 (2) (1999) 143–157.
- [31] D. Mc Clelland, Testing for competence rather than intelligence, American Psychologist 28 (1973) 1–14.
- [32] X. Boucher, Formal diagnosis of multi-enterprises systems of competencies, in: ICE Conference, 2003.
- [33] E. Bonjour, M. Dulmet, F. Lhote, An internal modelling of competency, based on a systemic approach, with socio-technical systems management in view, in: Proc. of IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics, SMC2002, Hammamet, Tunisia, 2002.
- [34] W. Hiermann, M. Höfferer, A practical knowledge-based approach to skill management and personnel development, Journal of Universal Computer Science 9 (12) (2003) 1398–1409.
- [35] M. Tarafdar, S.R. Gordon, Understanding the influence of information systems competencies on process innovation: a resource-based view, Journal of Strategic Information Systems 16 (4) (2007) 353–392.
- [36] M. Webb, Capabilities-Based Engineering Analysis (CBEA) International Conference of Complex Systems, 2006.
- [37] S. Duhan, M. Levy, P. Powell, Is strategy in SMEs using organizational capabilities: the CPX framework, in: Proceedings of 13th European Conference on Information Systems, Regensburg, 2005.
- [38] M. Harzallah, F. Vernadat, IT-based competency modeling and management: from theory to practice in enterprise engineering and operations, Computer in Industry 48 (2002) 157–179.
- [39] A. Boumane, A. Talbi, C. Tahon, D. Bouami, Contribution à la modélisation de la compétence, MOSIM Conference, 2006.
- [40] B. Houé, B. Grabot, L. Geneste, Competence management for business integration, in: 12th INCOM Conference, 2006.
- [41] G. Pépiot, N. Cheikhrouhou, J.M. Furbringer, R. Glardon, UECML: unified enterprise competence modelling language, Computer in Industry 58 (2) (2007) 130–142.
- [42] H. Mintzberg, The Structuring of Organisations, Prentice Hall, 1973.
- [43] W. Hermosillo, J. Chatha, K.A. Weston, R.H. Aguirre, O.B. Grabot, Implementation and optimisation of ERP systems: a better integration of processes, roles, knowledge and user competences, Computers in Industry 56 (6) (2005) 619–638.
- [44] G. Berio, M. Harzallah, Towards an integrating architecture for competence management, Computer in Industry 58 (2) (2007) 199–209.
- [45] P.F. Drucker, What results should you expect? A users' guide to MBO, Public Administration Review 16 (February) (1976) 12–19.
- [46] N.P. Suh, Axiomatic Design: Advances and Applications, Oxford University Press, 2001.
- [47] P. Murray, K. Donegan, Empirical linkages between firm competencies and organisational learning, The Learning Organization 10 (1) (2003) 51–62.
- [48] S.J. Metcalfe, J. Andrew, Knowledge and Capabilities: Resources Technology and Strategy, Foss and Roberston, London and New York, 2000.
- [49] E. Wenger, Communities of practice and social learning system, Organization 7 (2) (2000) 225–246.
- [50] ANR, ANR-07-TLOG-016, Pilot2.0: Méthodes et composants pour la mise sous contrôle des capacités organisationnelles et pilotage des plans de progrès dans les organisations étendues, 2007.
- [51] N. Monomakhoff, F. Blanc, La méthode 5Steps®: pour déployer efficacement une stratégie, AFNOR, 2008.
- [52] I. Fall, P. Rauffet, Impacts of the use of organizational capabilities and roadmapping at Valeo Group, Internal resource from MNM Consulting, 2008.
- [53] AIM, Keynote speech from N. Monomakhoff and F. Blanc on the Valeo's experience of roadmapping, Association Information et Management, La Rochelle, 2010.
- [54] I. Fall, La capacité comme objet de gestion: genèse, mode d'emploi et enjeux à travers une expérience pionnière de mise en gestion systématique des capacités organisationnelles, 4e ed, ACFAS, 2008.
- [55] HSQE, Interview of Nicolas Monomakhoff on 5 step roadmapping, 2009 <http://www.wk-hsqe.fr/actualites/detail/14950/rythmer-sa-progression-en-5-steps.html>.



Philippe Rauffet obtained his PhD in December 2010, in RCCyN Laboratory at the École Centrale de Nantes, France. He was research engineer on the Pilot 2.0 project, funded by the National Research Agency (ANR). His main interests are in the area of enterprise modeling, performance assessment and knowledge management. He is particularly interested in the way to use organizational learning and knowledge sharing to provide new performance indicators and new tools for diagnosing organizations.



Catherine da Cunha is Associate Professor in Industrial Engineering at the École Centrale de Nantes, France. She received her Ph.D. from the INP Grenoble, France in 2004. Her main interests are in the area of information use within the firm, in the production as well as in the organizational field. She is particularly interested in the potential of partial or immature information for the management of diversity.



Alain Bernard is Professor in Industrial Engineering, head of the “Virtual Engineering for industrial engineering” project in IRCCyN laboratory, and Deputy Director for Research at the École Centrale de Nantes, France. He obtained his PhD in 89. As an assistant-Professor, he worked from 90 to 96, in École Centrale de Paris, on product, technology and process modeling. From Sept. 96 to Oct. 01, he has been Professor in CRAN, as the head of the mechanical and production engineering team. His main research topics are related to RE, KBS, CAPP, product and process modeling, integration of economical and human aspects. His actual position is Professor and Deputy Director for Research at École Centrale de Nantes, and in IRCCyN (head of the “Virtual Engineering for industrial engineering” project).

**Design for Mass Customization : Product variety vs.
Process variety.**



Contents lists available at ScienceDirect

CIRP Annals
Manufacturing Technology

Journal homepage: www.elsevier.com/locate/cirp



Design for Mass Customization: Product variety vs. Process variety.

Joanna DAABOUL, Catherine DA CUNHA, Alain BERNARD (1), Florent LAROCHE

Ecole Centrale de Nantes, IRCCyN UMR CNRS 6597, 1 rue de la Noë, BP 92101, 44321 – NANTES Cedex 3 - France
{firstname.lastname}@irccyn.ec-nantes.fr

Abstract: Mass customization (MC) has become a reality and cannot be neglected as one of the leading strategies in satisfying customers and assuring companies survival in today's markets. MC can be offered either via product variability or process variability. How this is achieved using both approaches is the main core of this article. After an overview of related works, the influence of design variability on the overall generated value of the product is studied via a metric approach. A case study of the shoe industry is also presented, based on the experience of a European project called Dorothy.

Keywords: Design, Customization, Variety

1. Introduction

In order to survive in today's competitive economy, and to satisfy more demanding customers, companies are implementing mass customization (MC) which is defined as producing personalized products at a price similar to that of mass production (MP) [1]. MC can be offered via product and process variety. Product variety is defined as the diversity of products that a production system provides to the marketplace [2]. Process variety is the diversity and complexity in the processes due to product variety and process alternatives for each product variant [3]. Designing products for MC remains a main challenge for a company, thus we propose a metric based approach that is able to evaluate both product and process variety based on their impact on the perceived value for the customer, since in MC the whole value network focuses on the customer who is its main driver. Product variety and process variety are presented in sections 2 and 3 respectively, and then we define value in section 4. We study the influence of both product and process variety on customer perceived value in section 5 and in section 6, the whole method using the value metric is described. In section 7 a case study in the shoemaking industry is set out and in section 8, discussions are presented.

2. Product variety

The product is the centre of a value network. The goal of collaborating partners is to deliver to the customer a product generating value both for him/her and different partners in the network. The entire value network starts with a "good" design. But, in the case of MC, the design of the product embeds defining customization possibilities. And to keep the cost of product close to that of mass production, customization is assured via modularity, and commonality in product design. They both allow a differentiation of products while minimizing the internal complexity, cost, and time resulting from such differentiation by

shortening the delivery lead times and enjoying economies of scope [2]. Moreover, approaches such as product family, product platform and product architecture have been recognized as effective means of accommodating increasing product variety while still achieving economies of scale [4, 5]. Nevertheless, it remains a difficult task to design a product intended to be mass customized, therefore Tseng et al. [6] proposed a design approach for MC (DFMC). The core of their approach is to develop a MC oriented product family architecture (PFA) with a meta level design process integration as a unified product creation and delivery process model.

A constructional-theory-based method formed by six steps for mass customized products was proposed by Hernandez et al. [7]. The first step is to define the space of customization which is the set of all combinations of values of product specifications that an enterprise is willing to satisfy. The second one is to formulate an objective, which can often be the minimization of cost. The third step is to identify modes for managing product variety such as adjustable controls, modular combinations and dimensional customization that are used to customize the product. In the fourth step the number of hierarchy levels is determined and the modes for managing product variety are allocated to these levels. The fifth step consists of formulating a multi-stage optimization problem, while the sixth and final step is to solve this problem. Some of the advantages of this method are cost-effectiveness, its applicability to any distribution of demand, its suitability for small or large variety in product specifications, and adaptability of the product line. Its limitation is the need to formulate an objective function that includes all the various costs involved in a product design.

3. Process variety

Process platform planning is as necessary as product platform planning, since the customization of a product leads to

exponentially increased variation in the production systems from machines, tools, labour, etc. [8]. In addition the major costs are endured during the production phase, and the quality and lead time of a product are determined at the production phase. Therefore it remains necessary to manage process variety as shown by Jiao et al. [9].

A detailed state-of-the-art regarding the many research works done on designing process platforms is presented by Jiao and Simpson [10]. Of the recent work done in this field is the work of Jiao et al. [8] who use the generic representation because of its capability of effectively describing a large amount of variants with minimal data redundancy [11]. They merge the Generic Product Structure (GPdS) and the Generic Process Structure (GPcS) into a Generic Product and Process Structure (GPPS). Qiao et al. [12] presented three approaches to deal with the challenges of implementing a mass customization manufacturing system. The first being a generalized production line platform to support reconfiguration. It includes movable and reconfigurable workbenches, and flexible transportation equipment. This production line saves time and cost since only a small amount of repositioning of the workbenches is needed to change the line. The second suggested approach is the Production line modularization which is grouping the production line into functional modules that can be aligned and combined to produce the customized product. XML based information integration for mass customization data driven and reconfiguration is their third suggested approach. Finally they present an integrated design and simulation system that is used to rapidly change and create system designs based on the varying manufacturing requirements, in order to satisfy the customized product order. It also verifies these designs through simulation. A system controller, a conceptual workshop and simulation, and a shop data information model are the three subsystems constituting the simulation system.

Tian et al. [13] argue that in the case of MC, the parameterised method may be used to plan the processes of the products, subassemblies and parts since there are great similarities between the products for MC and their components. In the parameterised process planning, a set of parametric variables is linked to a process based on the resemblance of products or components, and then a process is automatically generated by inputting the values of the corresponding variables.

Thus much work exists on designing for MC and controlling process variety. Nevertheless, most of these concentrated on cost and delays, while few considered customer satisfaction as a main factor for deciding on product/process variety. The customer remains the driver of the whole network and the purpose of this network is to generate value. Thus any decision should be made based on its influence on the generated value. In the following section we describe customer perceived value.

4. Value

A product generates Value. Value, as defined by the standard AFNOR FNX50-151 [14], is the judgment carried by the user on the basis of his/her expectations and motivation. Specifically it is a measure that increases when the satisfaction of the user increases or when the needed spending for the product decreases. It has three criteria which are cost, quality, and delay.

As shown in Figure 1, value has different beneficiary parties [16]. Those are all partners in the value network such as the customer, suppliers, enterprise, stakeholders, etc. To simplify the problem, we consider only the value for the enterprise and the customer.

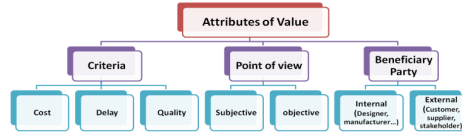


Figure 1. Attributes of value [15]

We consider that there are two types of value for the enterprise, the financial value and the company's image, whereas for the customer, it is divided into financial value and value of service. These four values are based on the previously defined criteria, cost, delay and quality. Only the enterprise financial value is objective while the others are subjective.

Customer value is context dependent [17] and is highly subjective and is influenced by several factors, such as the quality of the product, its price, the services provided, the customization offer, and the delivery lead time. Nevertheless defining what level of customization really satisfies the customer is hard to achieve. Providing a high product variety and large customization options might receive an unfavourable response from the customer. Lehman [18] calls high product variety levels, "too much of a good thing". Therefore the impact of product variety on customer satisfaction should be taken into consideration.

Moreover, the price of a product and its delivery lead time highly impact customer value as well, therefore process variety achieved via process platform is also an important factor for successfully implementing MC.

More the customer is satisfied thus higher is its perceived value, then more is his/her will to buy, leading to increased sales and then to increased generated financial value for the partners of the network.

In the case of MC, value for the customer is affected by the price of the product, its quality, and the customization experience. And since value is difficult to measure, we use six main performance indicators to evaluate it. These are:

1. Quality/Price (Q/P). The quality is different from one product type to another. In the case of a shoe, it is impacted by three main factors, aesthetics, fit and functionality [19].
2. Customization process indicator (CPI) = Total Time for customization process / max allowed time for customization process. A customer might tolerate spending one week for customizing his/her house but not his/her shoe. The max allowed time for customization process should be derived from a market analysis.
3. Abortion rate (AR) = Number of aborted interaction processes / number of log-ins [20]. This indicator allows us to detect if the customer does not like the interface of an online product customisation system. A customer aborts the customization process before payment for three main reasons, he/she did not really want to buy in the first place but was just checking, he/she was not satisfied with the final customized product or its price, or he/she finds the interface unfriendly.

$$\frac{\sum_{i=1}^n W_i \times V_i}{NV}$$

4. Used variety indicator (UVI)=

Where:

- W_i is the average weight of importance of variant i for customers
- V_i is a proposed variant
 $1 \leq i \leq n ; i \in \mathbb{Z}$
- NV is the total number of all possible variants

Piller [21] identified the used variety metric $UVM = (\text{Number of perceived variants}) / (\text{number of all possible variants})$, we add to this indicator the average weight of importance of a variant for the customers. For example, for a sport shoe variants for fitting and comfort are of greater importance than those of aesthetics. While for a woman's evening shoe the variants of aesthetic are more important than those of the fitting. Also a weight can be negative if the variant reduces customer satisfaction.

5. Quality of order reception (QOR) = $(\text{Number of orders delivered on time} \cap \text{Number of orders with zero defected products}) / (\text{total number of orders})$

6. Order delay time (ODT) = the time elapsed between order placement time and order received time.

Nevertheless, weights can be associated to these six performance indicators as well, in order to reflect the strategy of a company which can decide to have no delays in order delivery as its main strategy

5. Product variety vs. process variety

While postponement addresses the pursuit of efficiency from a process design point of view, modularization attains it from a product design perspective [22], and both allow the offering of customization while minimizing the costs, delays, and internal complexity.

The company must optimize external variety versus internal complexity resulting from product differentiation [2, 7]. The cost of variety even when assumed optimal from the customer's point of view should remain constant [18]. Moreover, the benefits of adding another option decrease rapidly even when products are assumed to be offered optimally from the customer's point of view. Also when customers are confronted with information overload, they tend to use simple heuristics, which are usually not optimal. Therefore variety should be minimized but not at the expense of customer satisfaction.

Based on the definition of value, the impact of product variety and process variety on the value network, the following metric (Figure 2) can be deduced. The arrows indicate an influence relationship, while the + sign indicates a positive

influence, if variable a increases so does variable b, and the - sign indicates a negative influence, thus if variable a increases variable b decreases.

If product variety increases, it will induce an increase in customization options which induce an increase in UVI, up to a certain point where it will start to have a negative impact, for after this point, more options will confuse the customer. The more product variety, thus the more options, the more confused the customer can get, thus the more the chances are that he/she will abort the customization process. Also, more product variety, thus more options will increase the total time of customization process. More product variety leads to an increased order delay time, increased inventory, increased setup time, increased economies of scope and decreased economies of scale.

If process variety increases, customization options as well as economies of scale and economies of scope increases, but total order delay time, as well as inventory and setup time decreases.

Through this metric, the influence of either product variety or process variety on the customer value, and thus his/her will to pay, can be tracked. In section 7 this metric is adapted for the shoemaking industry.

6. Evaluating product and process variety via their impact on customer perceived value

Decisions concerning to what extent a product will be customizable and how, and deciding on the postponement strategy reducing process variety can be made based on their influence on the customer perceived value. In the end, the driver of a value network is the customer. Also using this approach the impact of any change in the value network on the customer value can be analysed. As an example more product variety might induce more types of material used, than less quantity of each type which influences the supplying strategy. Thus using this approach the influence of variety on the entire network is considered. Then the influence metric is defined, which is the core of this article.

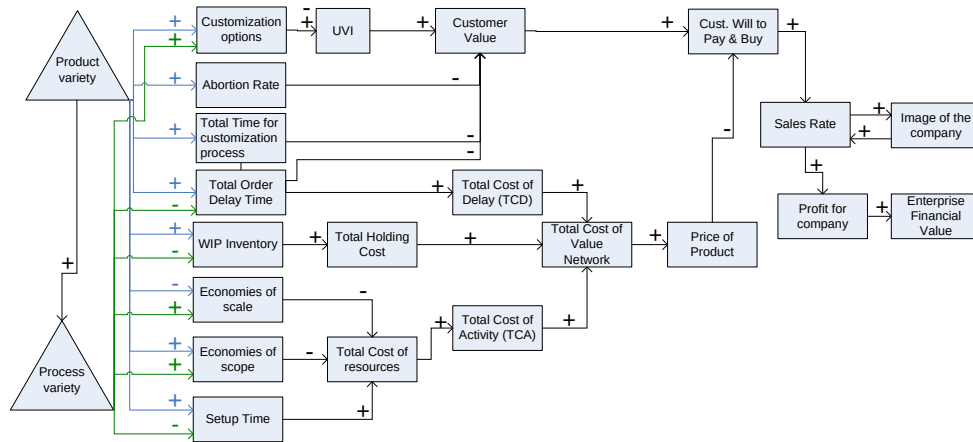


Figure 2: Value metric

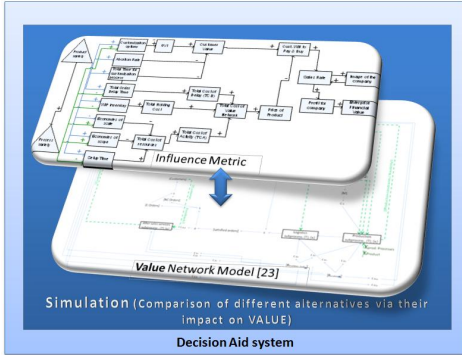


Figure 3: Value network modelling and simulation

Finally, the influence metric is mapped into the value network model to be able to simulate the network and analyse it. This approach as well as the modelling language and models are described in detail in [23]. Figure 3 presents the method as a whole in a simplistic way. A value network is modelled and mapped with the influence metric. The influence metric is formed of sub-metrics, one of which focusing on variety is presented in this article. The master metric consists of all the variables influencing value. Then the system is simulated allowing us to compare different predefined alternatives, to be able to decide which one of these alternatives is the best to implement. All, this can be considered as a decision aid system. This method is explained in the case study (section 7).

Considering cost, delay and quality as the only criteria to evaluate the performance of a company is not enough. Considering value incorporates all the previous criteria and also customer satisfaction as well as value perceived by all partners in

the network such as retailers and suppliers. And as discussed in section 4, customer perceived value is not only influenced by the quality and price of the product, but also by the customization process as a whole.

7. Case study: Shoemaking industry

The different steps for implementing the value network modelling and simulation method are described in [23]. We will follow these steps for our case study, DOROTHY.

First step: Identification of the study context. For DOROTHY we are moving from mass production to mass customization. In the TO-BE scenario, a customer anywhere in the World will be able to buy a customized European style shoe best fitting his feet. The major change for the customer is in the fitting, for now he/she can have a shoe for their exact feet measurements. Nevertheless a shoe is made on a mould called a last. For every size per design one last is made. As this is costly, it is not possible to produce one last per customer. Moreover aesthetics customization can also be achieved by adding accessories to the shoe, which increases its total cost, and requires an inventory of all offered accessories.

Second step: Identification of the model elements. These are the partners of the value network, the product, the different activities (processes), and the resources. Partners are suppliers, retailers, distribution centers, manufacturer and customer. Every element has its predefined characteristics which are detailed in [23]. As an example, the characteristics of a supplier are shown in figure 4.

A shoe is formed basically from a midsole, outsole, insole, eyelets, laces, counter, heel, buckle, and accessories. As mentioned before, three main factors affect the perceived quality of a shoe. These are aesthetics, Functional requirements and fit [19]. Fitting is due to the internal volume of the shoe, and is affected by the feet measurements knowing that 50% of people have different left and right foot measurements [19].

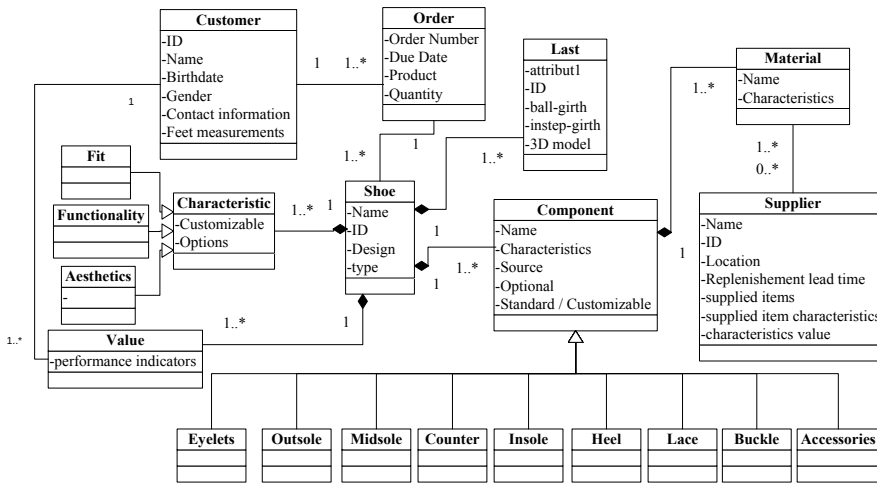


Figure 4: Shoe class diagram

This being said, shoe variety is achieved by different designs, and different aesthetics (material, colours etc.), or by different sizes (made exactly for certain feet measurements, best fitting, or standard grades), and by different added functionalities. A class diagram of a shoe is presented in figure 4.

The main processes are the following: development subprocess formed of product development and design, interaction subprocess consisting of order placement and handling, purchasing subprocess, production subprocess consisting of production planning, fabrication and assembly, logistics subprocess and after sales subprocess. Producing a shoe consists mainly of preparing, cutting, stitching, assembling / lasting, and finishing. Differentiation can be delayed until the assembling/ lasting stage. The main characteristics of a process are name, ID, and processing time.

The considered resources are men, machines, and materials. The main needed materials for a shoe are leather, outsole, foam insole, heel material (wood), eyelets sewing thread, foam, toe cap, buckle, laces, accessories and glue.

Third step: Building the value metric. This is done by at first defining value (refer to section 4). Then for every performance indicator enabling the measurement of value, the set of influencing variables is defined. The influence equation between two variables is obtained either analytically or by asking the opinion of an expert in the concerned domain. As an example we study the influence of customization achieved via aesthetics and styles on value. Aesthetic customization is achieved via different colours of the visible parts of the shoe, design of the shoe, and additional accessories. An empirical study was achieved to analyse to what extent each of these influences customer value and to define this influence mathematically. Also, different colours mean different leathers needed among other materials.. This has direct impact on cost and time. Good quality leather for example needs one month to be prepared, and no supplier will agree to sell small quantities. Time and cost directly impact the value perceived by the customer. In addition, different materials (such as leather) affect the stitching process, and affect the type of glue used in the assembly phase.

Thus taking all this into consideration, the master value metric for shoe industry (Figure 4) can be deduced. This metric presents the overall influence system, where:

- Variety of materials needed = leather variety + outsole variety + foam insole variety + heel variety+ eyelets variety + sewing thread variety+ foam variety + toe cap variety+ buckle variety+ laces variety + accessories variety+ glue variety.
- Order delay time = order processing time + production time + order preparing time + delivering time. Note here that the production time depends on the position of customer order decoupling point.
- Production time = preparation time + cutting time + stitching time + lasting time + finishing time.
- Aesthetics customization can be achieved via the shoe design by itself (shape), different colours, and additional accessories and services. And each of these has a different impact on the variety of material needed [24].

Fourth step: Building the value network model and mapping the influence metric on it. This is done by using the SimulValor language (refer to [23]).

Fifth step: Identifying different alternatives. In our case, the alternatives are best fitting customization and made for measurements customization. In the first scenario, wider ranges

of shoe sizes were defined and the best fitting one will be chosen for certain feet measurements. Predefined lasts are designed and different parts of the shoe are fabricated. After the customer feet measurement, the shoe will be assembled via combining different shoe components. This process requires two days. Thus the customer can receive his/ her shoe within three to five days. The second scenario requires producing a shoe specific for a feet measurement, thus fabricating the whole shoe after an order is placed. The full production will need one month. Thus the customer can not receive his/her shoe before at least one month.

Sixth and seventh steps: Simulating the model and analysing it. The simulation is done using discrete event simulation software. Taking into consideration our specific enterprise and the different costs (inventory, production, purchasing ...) and the nature of its customers, the first scenario resulted in higher customer perceived value, thus is the one to be chosen. Even though the second scenario resulted in higher fitting and higher perceived quality of the shoe. The second resulted in highly less order delay time, and lower costs thus lower shoe price for the customer. This result can be different in another context, meaning for a different enterprise (different value network) and different shoe types (lady shoes instead of men shoes).

8. Discussion

Even though mass customization is a very attractive strategy with many advantages, it is not easy to implement, and many issues should be considered while planning for such a strategy. One of these issues is the balance between variety and induced complexity. How does variety influence customer satisfaction and what complexity, costs, and delays does it induce internally? Designing for MC is basically finding the best balance between variety and complexity. Therefore, while designing for MC the influence of variety on the whole network should be analysed, and more importantly its influence on the value perceived by the customer, who after all is the main driver of the network. In this article we have presented a metric approach mapping between product, process variety and value. This metric approach coupled with value network modelling and simulation allows the tracking of influence of variety on the overall generated value. The main limitation of this approach is that it offers the best solution between different alternatives, but not the optimal one. Thus, in the future, this approach should be upgraded to value network modelling and optimization.

9. Conclusion

In this article a metric based approach to evaluate product and process variety via their impact on customer perceived value was presented together with a case study for the shoemaking industry. In the future this metric will be implemented within a value network model that incorporates not only value for the customer but for all partners in the network, to evaluate variability in terms of its influence on the entire network. This model will be simulated for the shoemaking industry case study.

Acknowledgements

The European Commission through DOROTHY Project: Design of customer driven shoes and multi-site factory (No. FP7-NMP-2007-3.3-1), has partly funded this work. The authors would like to acknowledge the Commission for their support. We also wish to express our gratitude and appreciation to all the DOROTHY project partners for their contribution during the development of various ideas and concepts presented in this paper.

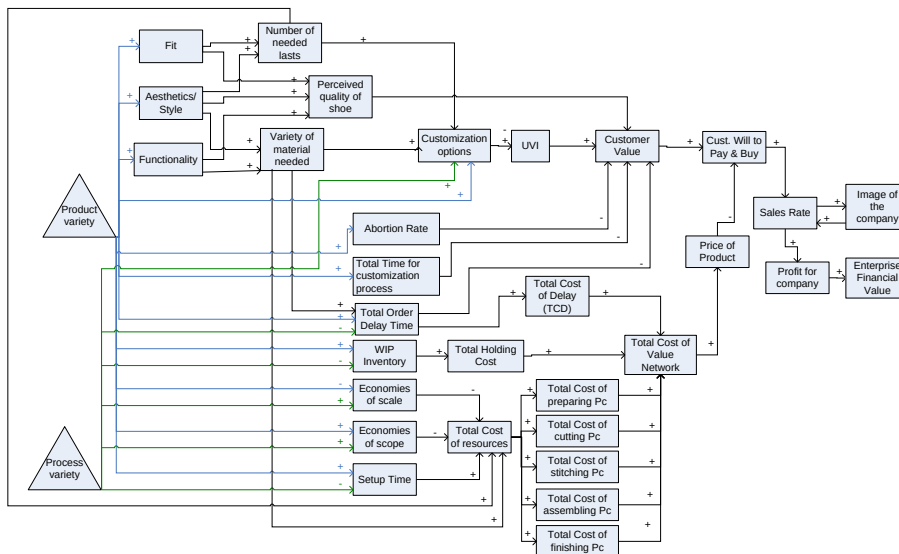


Figure 5: Shoe value metric

References

- [1] Pine, J., 1993, Mass Customization: The New Frontier in Business Competition, Harvard Business School Press, Boston.
- [2] Ulrich, K., 1995, The role of product architecture in the manufacturing Firm, Research Policy, 24/3:419-440.
- [3] Zhang, M., Chen, Y.J. and Tseng, M.M., 2005, Distributed knowledge management for product and process variety in mass customization, International Journal of Computer Applications in Technology, 23/1:13-30
- [4] Tseng, M. M., Jiao, J., 2001, Mass Customization, in: Salvendy, G. (Ed.): Handbook of Industrial Engineering, 3rd Ed., New York: 684-709.
- [5] Berger, C., Moslein, K., Piller, F. T. and Reichwald, R., 2005, Cooperation between manufacturers, retailers, and customers for user-co-design: learning from exploratory research, European management review, 1: 70-87.
- [6] Tseng, M. M., Jiao, J. and Merchant, M. E., 1996, Design for Mass Customization, CIRP Annals - Manufacturing Technology, 45/1: 153-156.
- [7] Hernandez, G., Allen, J.K. and Mistree, F., 2006, A theory and method for combining multiple approaches for product customization, International Journal of Mass Customization 1/2-3: 315-339.
- [8] Jiao, J., Zhang, L. and Pokharel, S., 2006, Process platform planning for mass customization production, International Journal of Mass Customisation, 1/2-3: 237-259.
- [9] Jiao, J., Tseng, M.M., Ma, Q. and Zou, Y., 2000, Generic bill of materials and operations for high-variety production management, Concurrent Engineering: Research and Applications, 8/4: 297-322.
- [10] Jiao, J. and Simpson, T.W., 2007, Product family design and platform-based product development: a-state-of-the-art review, Journal of Intelligent Manufacturing, 17: 5-29.
- [11] Blecker, T., Abdelkafi, N., Kaluza, B. and Friedrich, G., 2006, Controlling variety-induced complexity in mass customisation: a key metrics-based approach, International Journal of Mass Customisation, 1/2-3: 272-298.
- [12] Qiao, G., Lu, R.F. and McLean, C., 2006, Flexible manufacturing systems for mass customisation manufacturing, International Journal of Mass Customisation, 1/2-3: 374-393.
- [13] Tian, X., Huang, L., Jia, X., and Zhang, Z., 2008, Exploring parameterised process planning for mass customisation, 643-652, in Advanced Design and Manufacture to Gain a Competitive Edge, Springer London.
- [14] AFNOR FNX50-151, 1991, Analyse de la valeur, analyse fonctionnelle : expression fonctionnelle du besoin et cahier des charges fonctionnel. <http://www.afnor.org/> accessed 5.3.2010.
- [15] Mauchand, M., Bernard, A., Siadat A. and Perry N., 2007, Enterprise processes performance analysis based on value chain modelling and simulation. Proceedings of 2nd International Conference on Changeable, Agile, Reconfigurable and Virtual Production, (CARV 07), Toronto, Canada.
- [16] Elhamdi, G., 2005, Modélisation et simulation de chaînes de valeurs en entreprise. Une approche dynamique des systèmes et aide à la décision : SimulValor. PHD thesis, Ecole Centrale Paris.
- [17] Gardial, S. F., Clemons, S., Woodruff, R.B., Schumann, D.W. and Burns, M. J., 1994, Comparing Consumers' Recall of Prepurchase and Postpurchase Evaluation Experiences, Journal of Consumer Research 20: 548-560.
- [18] Lehman, D.R., 1998, Customer reaction to variety: too much of a good thing?, Journal of the Academy of Marketing Science, 26/1: 62-65.
- [19] Boer, C.R. and Dulio, S., 2007, Mass Customization and Footwear: Myth, Salvation or Reality?, Springer.
- [20] Blecker, T., Abdelkafi, N., Kaluza, B. and Friedrich, G., 2006, Controlling variety-induced complexity in mass customisation: a key metrics-based approach, International Journal of Mass Customisation, 1/2-3: 272-298.
- [21] Piller, F.T., 2002, Logistische Kennzahlen und Einflussgrößen zur performance-Bewertung der Mass-Customization-Systeme von Selve und Adidas. Working paper, Department of general and Industrial Management, TUM Business School, Muenchen.
- [22] Ernst, R. and Kamrad, B., 2000, Evaluation of supply chain structures through modularization and postponement. European Journal of Operational Research, 124: 495-510.
- [23] Daaboul, J., Bernard, A. and Laroche, F., 2010, Extended value network modelling and simulation for mass customization implementation, Journal of Intelligent Manufacturing, DOI: 10.1007/s10845-010-0493-1
- [24] D1.2/ D1.3 deliverable- DOROTHY: Design of customer driven shoes and multi-site factory. <https://web.ttsnetwork.net/dorothy/pages/index.jsp>.

Figure
[Click here to download high resolution image](#)

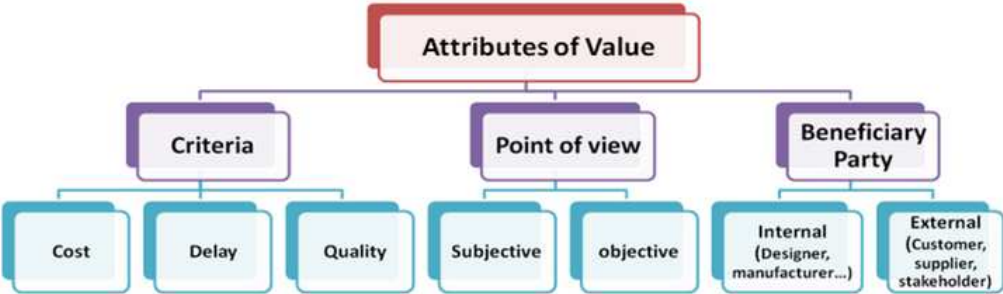


Figure
[Click here to download high resolution image](#)

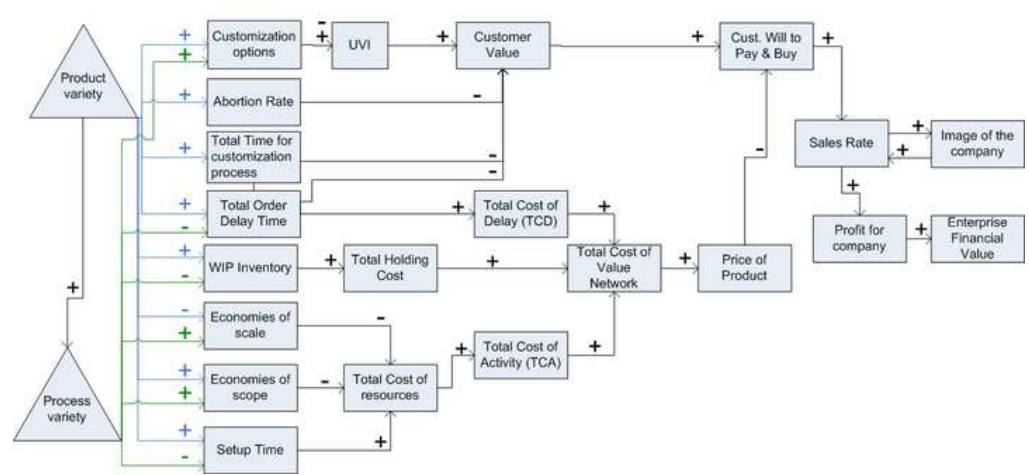


Figure
[Click here to download high resolution image](#)

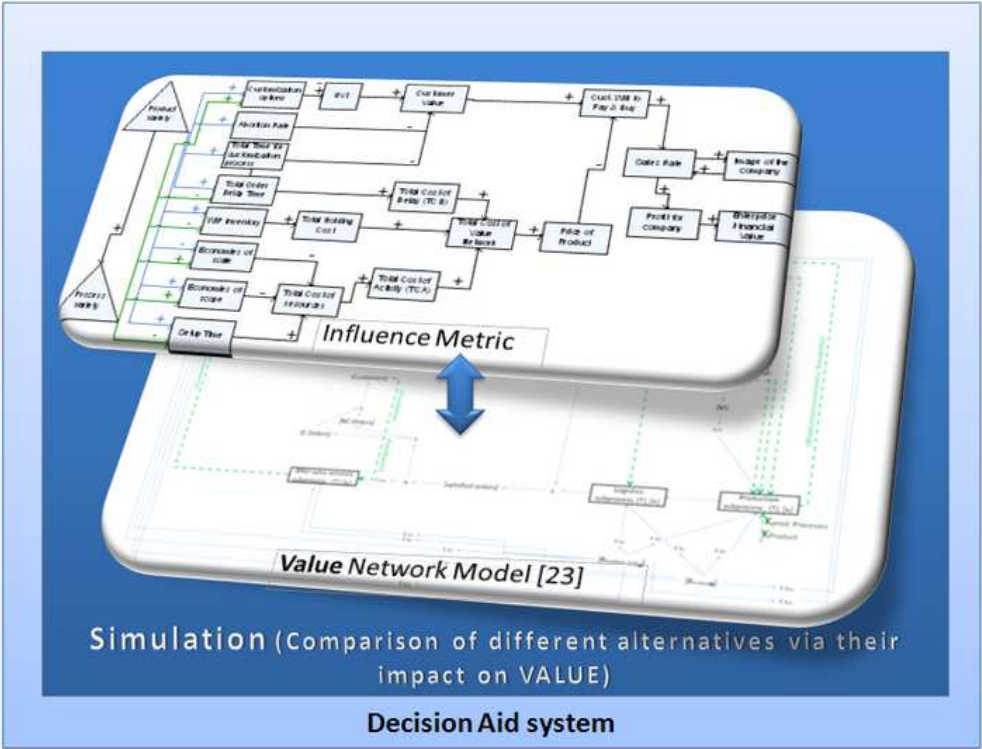


Figure
[Click here to download high resolution image](#)

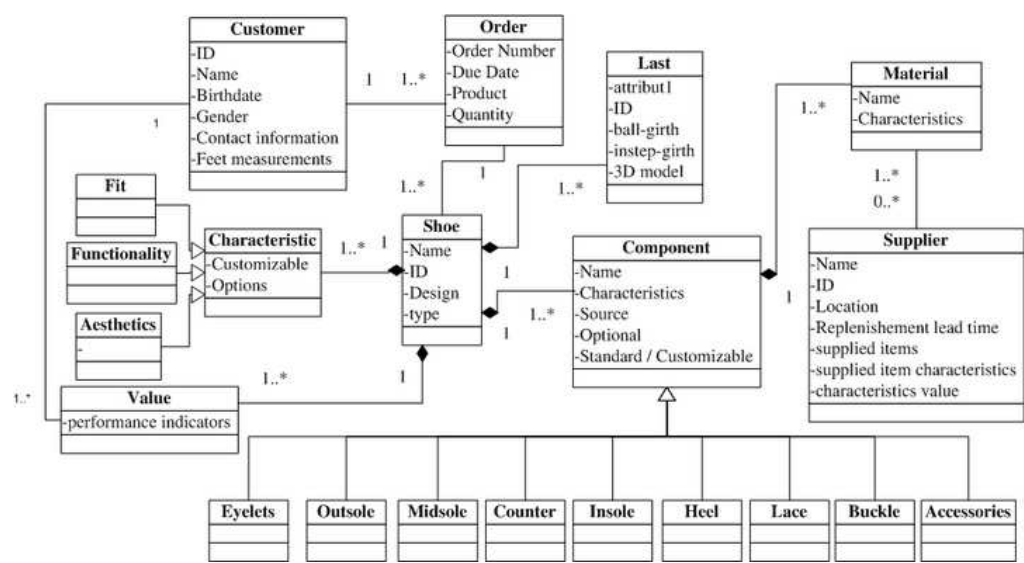
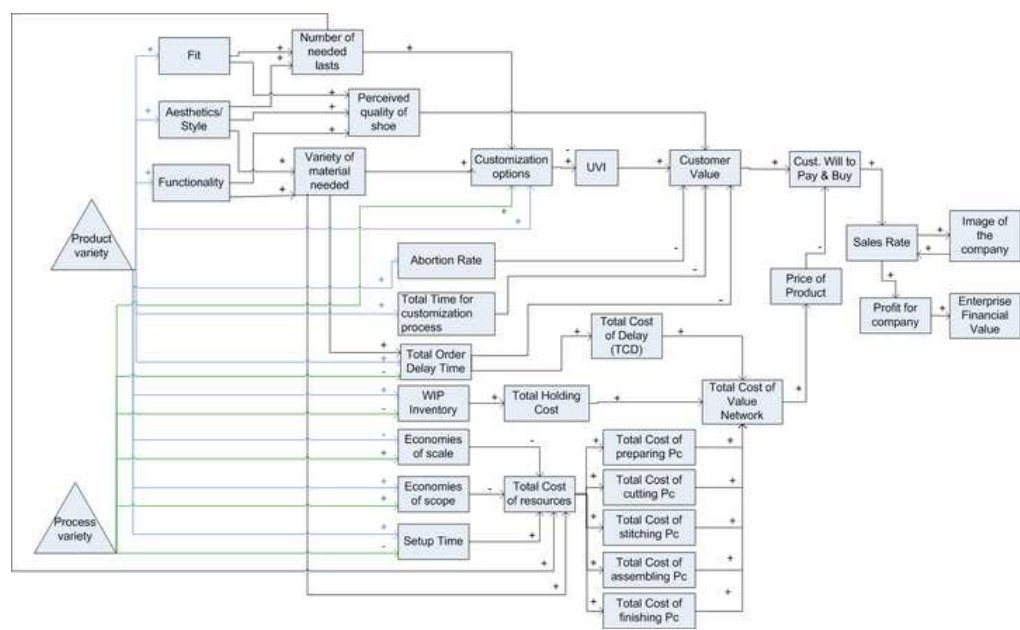


Figure
[Click here to download high resolution image](#)



Mise en œuvre de la personnalisation de masse : Contribution au développement d'une méthodologie outillée

La personnalisation de masse est une configuration de l'offre produit, du système de production et de la chaîne de valeur, qui permet la satisfaction (mesurée par la valeur perçue) des besoins individuels des clients et celle des autres parties bénéficiaires (e.g. l'entreprise, les fournisseurs, etc.).

Les recherches menées ont permis d'obtenir une identification des différentes étapes de sa mise en œuvre. Pour offrir des produits personnalisés (réalisés unitairement ou en masse), une organisation adaptée doit être choisie et implémentée. Cette démarche n'est possible qu'après une analyse préliminaire des types de personnalisation de masse et de leur spécificités, ainsi qu'une identification des leviers correspondants. Un plan d'action doit alors être défini puis piloté.

A chacune des étapes spécifiques à cette mise en œuvre correspond bien entendu un champ de recherche qui m'a permis de structurer ma recherche autour des champs que sont :

- le recueil des données caractérisant la personnalisation de masse et le contexte,
- la conception et la reconception de la configuration sur les trois niveaux : produit, process, organisation,
- la mise en œuvre puis le pilotage de la chaîne de valeur permettant la personnalisation de masse.

Les résultats présentés ici sont issus d'une double approche :

- des projets en collaboration avec des entreprises, portant sur un point d'achoppement opérationnel nécessitant des outils implémentables,
- des projets de recherche fondamentale issus d'une formulation et d'une curiosité académique.

L'objectif de ce mémoire est de synthétiser mes activités depuis 2001. Ces travaux ont notamment été alimentés par quatre thèses soutenues (deux en cours), 13 DEA et Masters, des implications dans des projets nationaux et européens. L'ensemble du travail de recherche a donné lieu à 10 publications au sein de revues internationales à comité de lecture, 6 chapitres d'ouvrages scientifiques, et 35 publications et présentations en conférences internationales.