



HAL
open science

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

Khaled Medini

► **To cite this version:**

Khaled Medini. Évaluation de la performance d'entreprises dans le contexte de la personnalisation de masse durable. Autre. Ecole Centrale de Nantes (ECN), 2013. Français. NNT : . tel-01155226

HAL Id: tel-01155226

<https://hal.science/tel-01155226>

Submitted on 26 May 2015

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.

Ecole Centrale de Nantes

ÉCOLE DOCTORALE

Science Pour l'Ingénieur, Géosciences, Architecture

Année 2013.

N° B.U. :

Thèse de DOCTORAT

Spécialité : GENIE MECANIQUE, PRODUCTIQUE ET TRANSPORT

Présentée et soutenue publiquement par :

KHALED MEDINI

le 23 Octobre 2013
à l'Ecole Centrale de Nantes

TITRE

EVALUATION DE LA PERFORMANCE D'ENTREPRISES DANS LE CONTEXTE DE LA PERSONNALISATION DE MASSE DURABLE

JURY

Président :	Hervé Panetto	Professeur des Universités, TELECOM Nancy
Rapporteurs :	Bruno Vallespir Michel Bigand	Professeur des Universités, Université Bordeaux I Maître de Conférences, HDR, École Centrale de Lille
Examineurs :	Vincent Chapurlat Gülğün Alpan Alain Bernard Catherine Da Cunha	Professeur des Universités, École des Mines d'Alès Maître de Conférences, HDR, École Nationale Supérieure de Génie Industriel Professeur des Universités, École Centrale de Nantes Maître de Conférences, École Centrale de Nantes

Directeur de thèse : Alain BERNARD
Laboratoire : IRCCyN
Co-encadrant : Catherine Da Cunha
Laboratoire : IRCCyN

N° ED : 498-289

REMERCIEMENTS

Je tiens à remercier Alain Bernard, professeur à l'Ecole Centrale de Nantes pour m'avoir encadré pendant ces trois ans et qui, malgré ses différentes responsabilités était présent aux moments les plus délicats de cette aventure pour m'apporter ses conseils et recommandations. Je remercie également Catherine Da Cunha, Maître de Conférences à l'Ecole Centrale de Nantes pour son encadrement et ses conseils.

Mes remerciements vont aussi à tous les membres du Jury pour leur réactivité et pour l'intérêt qu'ils ont porté à mes travaux de thèse.

Plus particulièrement, je remercie Bruno Vallespir, Professeur des Universités à l'Université Bordeaux I et Michel Bigand, Maître de Conférences HDR à l'École Centrale de Lille d'avoir accepté de relire mon manuscrit de thèse et de leurs remarques pertinentes.

J'adresse mes remerciements à Hervé Panetto, Professeur des Universités à TELECOM Nancy, Vincent Chapurlat, Professeur des Universités à l'École des Mines d'Alès et Gülgün Alpan, Maître de Conférences HDR à l'École Nationale Supérieure de Génie Industriel, pour avoir accepté d'être examinateurs de ce travail de thèse.

Je remercie Raphaël Chenouard, Maître de Conférences à l'Ecole Centrale de Nantes pour les discussions scientifiques toujours enrichissantes.

J'exprime ma reconnaissance à Farouk Belkadi, Ingénieur de Recherche à l'Ecole Centrale de Nantes pour les discussions scientifiques très constructives.

Un grand merci aux collègues du bureau 506 pour leur gentillesse et leur bonne humeur.

Je ne manque pas de remercier Bésoa Rabénasolo, Professeur des Universités à l'École Nationale Supérieure des Arts et Industries Textiles et Jean-Pierre Bourey, Professeur des Universités à l'École Centrale de Lille pour leurs conseils et encouragements à la recherche.

Je remercie les personnes du département Génie Industriel de l'Ecole Nationale d'Ingénieurs de Tunis, en particulier Madame Atidel Hadj Alouane, Maître de Conférences, pour ses conseils précieux et sa disponibilité.

J'exprime mes remerciements et ma profonde gratitude à mes parents et ma femme pour leur soutien et encouragement, je sais, je ne saurais les remercier avec ces mots.

Un grand merci à tous mes amis, mes proches et tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réussite de ce projet.

Table des matières

INTRODUCTION GENERALE	11
CHAPITRE I : ETAT DE L'ART.....	16
1. INTRODUCTION.....	18
2. PRESENTATION DES CONCEPTS	18
2.1. <i>Personnalisation de masse</i>	18
2.2. <i>Développement durable</i>	19
3. CONTEXTE INDUSTRIEL	19
4. POSITIONNEMENT DE LA PROBLEMATIQUE.....	20
5. MESURE DE PERFORMANCE.....	23
5.1. <i>Mesure de performance dans le cas général</i>	23
5.2. <i>Mesure de performance de durabilité</i>	25
5.3. <i>Indicateurs sur la personnalisation de masse</i>	27
5.4. <i>Evaluation de la personnalisation de masse durable : le modèle d'évaluation S-MC-S.....</i>	28
5.5. <i>Conclusions sur l'évaluation de la performance</i>	29
6. INDUCTEURS DE PERFORMANCE DE DURABILITE ET DE PERSONNALISATION DE MASSE	30
6.1. <i>Périmètre d'analyse</i>	30
6.2. <i>Inducteurs de performance de personnalisation de masse</i>	31
6.3. <i>Inducteurs de performance de durabilité</i>	34
6.4. <i>Conclusions sur les inducteurs de performance de personnalisation de masse et de durabilité</i> .	35
7. MODELISATION D'ENTREPRISE POUR L'EVALUATION DE LA PERFORMANCE	36
7.1. <i>Utilité de la modélisation d'entreprise</i>	36
7.2. <i>Périmètre d'analyse</i>	37
7.3. <i>Modélisation des processus de l'entreprise</i>	38
7.4. <i>Modélisation des objets de l'entreprise</i>	41
7.5. <i>Conclusions sur la modélisation d'entreprise</i>	43
8. CONCLUSIONS SUR L'ETAT DE L'ART	44
CHAPITRE II: MODELISATION D'ENTREPRISE ET SIMULATION DE SON COMPORTEMENT DANS LE CONTEXTE DE PERSONNALISATION DE MASSE DURABLE.....	46
1. INTRODUCTION.....	48
2. MODELE CONCEPTUEL D'ENTREPRISE DANS LE CONTEXTE DE PERSONNALISATION DE MASSE DURABLE	48
2.1. <i>Construction du modèle</i>	48
2.2. <i>Pertinence du modèle</i>	54
2.3. <i>Instanciation</i>	56
3. SIMULATION DU COMPORTEMENT DE L'ENTREPRISE DANS LE CONTEXTE DE LA PERSONNALISATION DE MASSE DURABLE .	58
3.1. <i>Besoin de la simulation</i>	58
3.2. <i>Choix de l'approche de simulation</i>	58
3.3. <i>Choix de l'outil de simulation</i>	59
3.4. <i>Plateforme et modèle de simulation</i>	61
4. CONCLUSION.....	68
CHAPITRE III: METHODOLOGIE GENERALE POUR L'EVALUATION ET L'AMELIORATION DE LA PERFORMANCE DES ENTREPRISES DANS LE CONTEXTE DE PERSONNALISATION DE MASSE DURABLE	69
1. INTRODUCTION.....	71
2. IDENTIFIER ET PRIORISER LES INDICATEURS.....	72
2.1. <i>Identifier les objectifs et les leviers</i>	73
2.2. <i>Identifier les aspects de performance</i>	73
2.3. <i>Identifier les indicateurs de performance</i>	74
3. DEFINIR ET EVALUER LES SCENARIOS D'AMELIORATION.....	75
3.1. <i>Instancier le diagramme d'influence</i>	76

3.2. <i>Modéliser et évaluer l'état actuel</i>	81
3.3. <i>Modéliser et évaluer l'état futur</i>	81
3.4. <i>Analyser les résultats (Ecart)</i>	81
4. DEMONSTRATEUR	82
5. CONCLUSION	85
CHAPITRE IV: ILLUSTRATION PAR UN CAS D'ETUDE DANS LE SECTEUR DE CUISINES	86
1. INTRODUCTION	88
2. SITUATION DE L'ENTREPRISE ET DONNEES GENERALES	88
3. IDENTIFIER ET PRIORISER LES INDICATEURS	88
3.1. <i>Identifier les objectifs et les leviers</i>	88
3.2. <i>Identifier les aspects et indicateurs de performance</i>	90
4. DEFINIR ET EVALUER LES SCENARIOS D'AMELIORATION	92
4.1. <i>Instancier le diagramme d'influence</i>	92
4.2. <i>Modéliser et évaluer l'état actuel</i>	94
4.3. <i>Modéliser et évaluer l'état futur</i>	101
4.4. <i>Analyser les résultats</i>	104
5. CONCLUSION	105
CONCLUSION GENERALE	107
BIBLIOGRAPHIE	113
ANNEXE A : INDICATEURS DE DURABILITE ET DE PERSONNALISATION DE MASSE	123
ANNEXE B : MESSAGES ACL ET COMPORTEMENTS DANS JADE	131
ANNEXE C : CODE JAVA DES AGENTS	132
ANNEXE D : DONNEES COLLECTEES SUR LE CAS D'ETUDE	141
ANNEXE E : RESULTATS BRUTS DE L'APPLICATION DE LA PHASE I DE LA METHODOLOGIE	144

Table des figures

Figure 1: Méthodologie de recherche.....	15
Figure 2: Positionnement de la problématique	22
Figure 3: Caractéristiques du produit qui influent sur les décisions de conception (Fixson, 2005).....	32
Figure 4. Plateforme du processus (Jiao et al, 2007b)	33
Figure 5: Classification des méthodes et techniques de modélisation, adapté de Shen et al. (2004).....	37
Figure 6: Résumé des objets utilisés pour la modélisation BPMN (Chinosi et Trombetta, 2012).....	40
Figure 7. Les concepts de base d'UEML (Vernadat, 2002)	41
Figure 8: Modèle de performance	49
Figure 9: Modèle de chaîne logistique.....	50
Figure 10: Modèle du processus	51
Figure 11: Modèle de ressource	51
Figure 12: Intégration processus-ressource.....	52
Figure 13: Intégration produit-processus-ressource.....	53
Figure 14. Modèle "Sustainable Mass Customizing - Enterprise" (SMC-E).....	54
Figure 15: Architecture des outils S-MC-S.....	57
Figure 16: Architecture de la plateforme JADE (Bellifemine et al., 1999).....	62
Figure 17: Passage du modèle SMC-E au modèle de simulation	64
Figure 18: Modèle de simulation	65
Figure 19: Comportement du système multi-agent.....	66
Figure 20: Etapes de la méthodologie proposée	71
Figure 21: Identifier et prioriser les indicateurs.....	72
Figure 22: Définir et évaluer les scénarios d'amélioration.....	76
Figure 23: Cadre d'évaluation S-MC-S.....	77
Figure 24: Diagramme d'influence	80
Figure 25: Page d'accueil du démonstrateur	83
Figure 26: Priorisation des indicateurs et chargement de leurs valeurs.....	83
Figure 27: Saisie et validation des données d'entrée de la simulation	84
Figure 28: Interface graphique des résultats de la simulation	84
Figure 29: Importance de la durabilité et la personnalisation de masse	91
Figure 30: Instance du diagramme d'influence	93
Figure 31: Produit considéré: placard	94
Figure 32: Nomenclature du placard	94
Figure 33: Chaîne logistique du cas d'étude	95
Figure 34: Processus de traitement d'une commande	96
Figure 35: Modélisation de la nomenclature du produit	98
Figure 36: Modélisation de la chaîne logistique du cas d'étude	99
Figure 37: Méthodologie et résultats de recherche	110

Table des tableaux

Tableau 1: Synthèse sur les méthodes de modélisation et méta-modèles d'entreprises	44
Tableau 2: Glossaire UML (Fowler et Scott, 2003)	49
Tableau 3: Correspondance entre les concepts de la littérature et les concepts SMC-E.....	55
Tableau 4: Correspondance entre concepts SMC-E et outils S-MC-S	57
Tableau 5: Evaluation des outils de simulation.....	61
Tableau 6: Correspondance entre SMC-E et la plateforme de simulation.....	64
Tableau 7: Description des agents	65
Tableau 8: Croisement entre indicateurs et inducteurs de performance.....	79
Tableau 9: Objectifs et leviers	89
Tableau 10: Aspects de performance	91
Tableau 11: Poids relatifs des indicateurs de performance en fonction des aspects de performance	92
Tableau 12: Données sur la demande du placard	96
Tableau 13: Indicateur OCF.....	99
Tableau 14: Résultats de la modélisation de l'état actuel	100
Tableau 15: Données de simulation.....	101
Tableau 16: Résultats de la simulation de l'état actuel	101
Tableau 17: Scénarios	102
Tableau 18: Résultats de la modélisation de l'état futur	103
Tableau 19: Résultats de la simulation de l'état futur	103
Tableau 20: Ecart globaux	104
Tableau 21: Définitions et formules simplifiées des indicateurs économiques.....	124
Tableau 22: Définitions et formules simplifiées des indicateurs environnementaux.....	125
Tableau 23: Définitions et formules simplifiées des indicateurs sociaux.....	128
Tableau 24: Définitions et formules simplifiées des indicateurs de personnalisation de masse.....	130
Tableau 25: Les types de messages selon FIPA ACL (FIPA, 2000)	131
Tableau 26: Les comportements dans JADE (Bellifemine et al., 2010)	131
Tableau 27: Données sur le produit.....	141
Tableau 28: Données de production du placard	142
Tableau 29: Liste des processus modélisés.....	142
Tableau 30: Données sur les fournisseurs	143
Tableau 31: Liens entre aspects et indicateurs de performance	144
Tableau 32: Comparaison des aspects de performance	145
Tableau 33: Comparaison des indicateurs selon leur importance au regard des émissions	145
Tableau 34: Comparaison des indicateurs selon leur importance au regard de l'utilisation des ressources	145
Tableau 35: Comparaison des indicateurs selon leur importance au regard des pertes.....	145
Tableau 36: Comparaison des indicateurs selon leur importance au regard de l'efficacité.....	146
Tableau 37: Comparaison des indicateurs selon leur importance au regard de la rentabilité	146
Tableau 38: Comparaison des indicateurs selon leur importance au regard des conditions de travail	146
Tableau 39: Comparaison des indicateurs selon leur importance au regard de la communauté locale	146
Tableau 40: Comparaison des indicateurs selon leur importance au regard du niveau de personnalisation	146

Introduction générale

La concurrence accrue entre les entreprises d'une part et les chaînes logistiques d'autre part, a favorisé le développement de nouvelles stratégies pour gérer la demande et augmenter les parts de marché. Parmi ces stratégies on retrouve la personnalisation de masse, un concept qui a été introduit par Joseph Pine en 1993 (Pine, 1993). La personnalisation de masse en tant que successeur de la production de masse vise à satisfaire les besoins individuels des clients avec une efficacité proche de celle de la production de masse. Le succès du déploiement d'une telle stratégie est tributaire de leviers internes (i.e. conception pour la personnalisation de masse) et de facteurs externes tels que le marché (Da Silveira et al., 2001; Daaboul et al., 2009).

Poussées par la concurrence, les entreprises s'efforcent donc de gagner de nouvelles parts de marché en augmentant la diversité des produits. Toutefois, comme certains auteurs l'ont indiqué, trop de diversité peut embrouiller le choix du client (Fixson, 2005). En plus une telle diversité est accompagnée par une complexité interne difficile à gérer (ex. les nomenclatures des produits et les processus de production permettant de les obtenir) (Blecker et al., 2006). Une entreprise doit alors optimiser la diversité par rapport à la complexité interne (Tseng et al, 1996 ; Jiao et al, 2007a). La diversité, et la personnalisation de masse de façon générale, peuvent donc assurer la durabilité économique de l'entreprise. Cependant il n'est pas évident qu'elle permette d'assurer la durabilité dans le sens environnemental et social. Ces trois dimensions : "économique, environnementale et sociale" forment les piliers du développement durable.

L'Institut International du Développement Durable (IISD, 1992) considère que, pour l'entreprise, le développement durable signifie « l'adoption de stratégies d'affaires et d'activités qui répondent aux besoins de l'entreprise et ses parties prenantes aujourd'hui, tout en protégeant, et renforçant les ressources humaines et naturelles qui seront nécessaires aux générations futures ». Contrairement à ses prédécesseurs, cette définition tient compte des trois piliers du développement durable.

Le défi pour une entreprise faisant de la personnalisation de masse est de fournir des produits diversifiés qui répondent aux exigences des clients tout en assurant un développement durable d'un point de vue environnemental, économique et social. Ainsi, il s'avère judicieux de renforcer continuellement et de façon simultanée la diversité et la durabilité des produits. La problématique peut se résumer dans la question suivante : Comment aider les entreprises faisant de la personnalisation de masse et visant à assurer un développement durable à mesurer et améliorer leurs performances ?

Quatre questions de recherche découlent de cette problématique, à savoir :

- 1) Comment sélectionner des indicateurs de performance pour évaluer la durabilité et/ou la personnalisation de masse ?
- 2) Comment prendre en compte les inducteurs de performance de durabilité et de personnalisation de masse ?
- 3) Comment intégrer le comportement dans le temps de l'entreprise dans le calcul des indicateurs de performance ?
- 4) Comment, dans ce contexte, aider une entreprise à trouver des pistes d'amélioration de sa performance ?

La méthodologie de recherche utilisée pour traiter ces questions est présentée dans la Figure 1. Le premier chapitre prépare le terrain pour la proposition : le contexte industriel et le positionnement de la problématique sont présentés dans les sections 2 et 3, respectivement. Un état de l'art de l'évaluation de la performance en général, puis dans le contexte de durabilité et de personnalisation de masse, est présenté dans la section 5. La section 5 tente d'identifier les inducteurs de performance en ce qui concerne la durabilité et la personnalisation de masse. Les constatations tirées de la section 5 sont confrontées aux méthodes de modélisation et aux modèles d'entreprise dans la section 6.

Les questions 2 et 3 sont traitées dans le deuxième chapitre qui détaille la construction d'un modèle conceptuel visant à spécifier les inducteurs de performance nécessaires à la modélisation pour l'évaluation de la performance de durabilité et de personnalisation de masse. Ce chapitre décrit également le modèle de simulation utilisé pour traiter la question de recherche 3 via un système multi-agent.

Afin de fournir des pistes d'amélioration, ce qui revient à traiter la question de recherche 4, un diagramme d'influence est construit et est décrit dans le chapitre 3. Dans ce même chapitre une méthodologie pour l'évaluation et l'amélioration de la performance d'entreprises, en particulier dans le contexte de personnalisation de masse et de durabilité, est présentée. Elle met en cohérence l'ensemble des outils décrits dans le chapitre 2 et permet de répondre à la question de recherche 1. Ces propositions sont illustrées par un cas d'étude détaillé dans le chapitre 4.

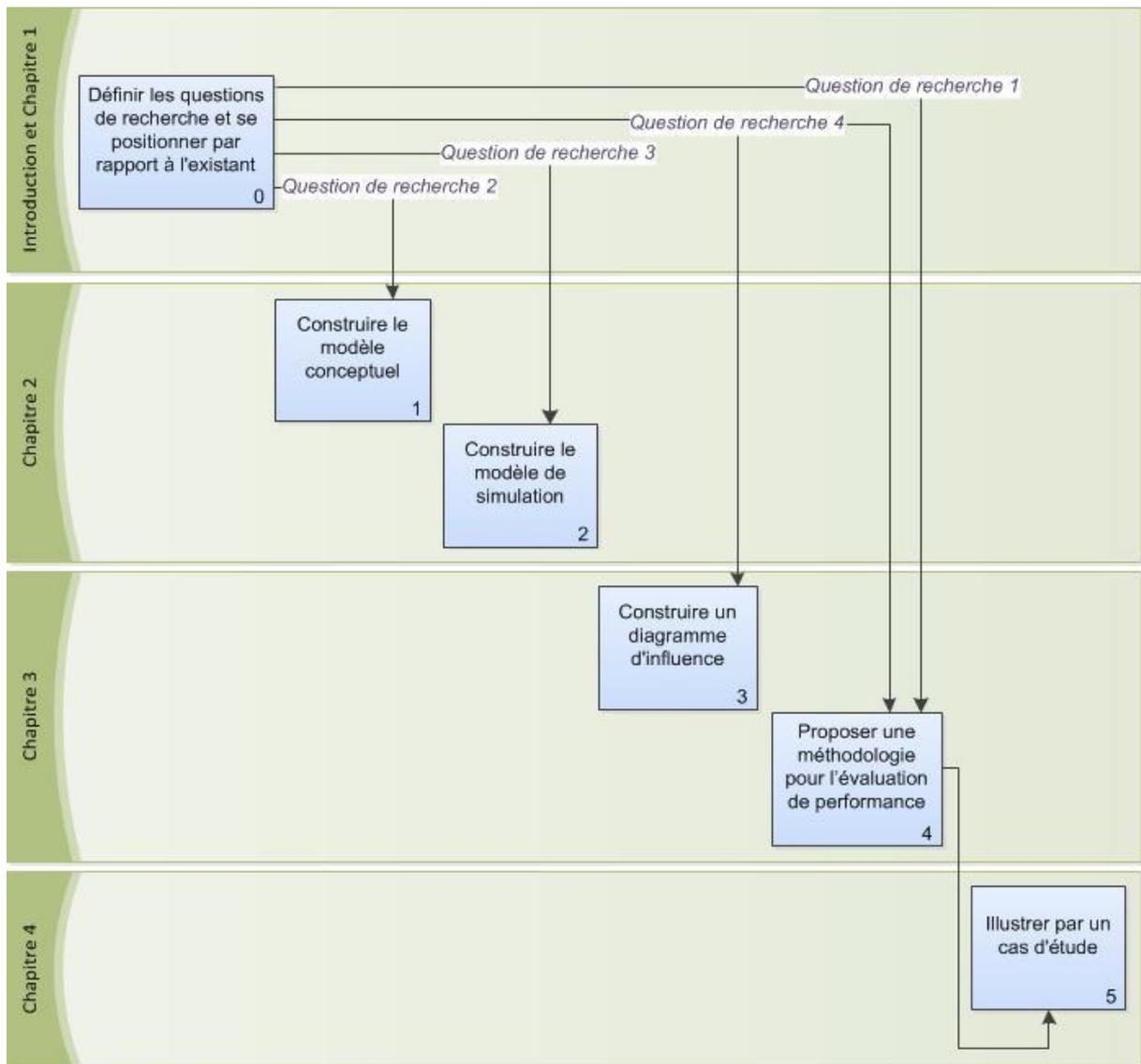


Figure 1: Méthodologie de recherche

Chapitre I : Etat de l'art

1. Introduction

Ce chapitre a pour objectif de faire un état de l'art de la personnalisation de masse et la durabilité. Ces deux concepts sont présentés brièvement dans la section 2. Le contexte industriel et le positionnement de la problématique sont présentés dans les sections 3 et 4, respectivement. La section 5 reprend la littérature de l'évaluation de performance d'entreprise de manière générale et fait un état de l'art de l'évaluation de la personnalisation de masse et de la durabilité. La section 6 s'intéresse aux inducteurs de performance de personnalisation de masse et de durabilité, et vérifie si les méta-modèles d'entreprises existants permettent de modéliser ces inducteurs.

2. Présentation des concepts

2.1. Personnalisation de masse

La personnalisation de masse permet de fournir des produits personnalisés à un grand nombre de clients à travers la conception modulaire des produits ou services, le renforcement de la flexibilité des processus de production ainsi que la coordination entre les acteurs de la chaîne logistique (Fogliatto et al., 2012). Différents niveaux de personnalisation peuvent être adoptés par l'entreprise, selon sa capacité et le besoin du marché. Dans la littérature on retrouve plusieurs classifications de ces niveaux (Pine, 1993; Lampel and Mintzeberg, 1996 ; Duray et al., 2000 ; Da Silveira et al., 2001 ; MacCarthy et al., 2003). Malgré leur bon nombre ces classifications s'articulent généralement autour de deux critères : le point d'implication des clients dans la chaîne de production et le type de personnalisation. Le client peut intervenir dans l'une des phases suivantes : conception, production, assemblage, emballage, livraison ou même utilisation. En partant d'une synthèse de la littérature en la matière, Daaboul (2011) distingue trois types de personnalisation : personnalisation additionnelle qui consiste en l'ajout de composants et/ou de services au produit initial, personnalisation esthétique où on touche plutôt à la finition et personnalisation de base qui touche aux fonctions de base du produit. Les niveaux de personnalisation sont donc définis par les couples (point d'implication du client, type de personnalisation). Le niveau le plus élevé correspond au couple (conception, personnalisation de base), c'est le cas pour les cuisines personnalisées par exemple où le client peut choisir le matériau des placards et leurs dimensions. Un état de l'art

détaillé des différents facteurs de succès et moyens de mises en œuvre de la personnalisation de masse se trouve dans (Fogliatto et al., 2012).

2.2. Développement durable

Le concept de développement durable a évolué au fil du temps. Depuis les années 1990, son interprétation a été accompagnée par les trois P «Personnes, Planète, Profit» évoqués par Elkington (1997). Un développement durable réside en l'intersection des intérêts des parties prenantes de l'entreprise, des employés et de la société en générale, et de la préservation des ressources naturelles. Au niveau industriel cette interprétation doit prendre au compte les niveaux produit, processus et chaîne logistique mais aussi aux différentes phases du cycle du vie du produit (Rebitzer et al., 2004 ; Labuschagne et al., 2004 ; Jayal et al., 2010 ; Canetta et al., 2011; Corti et al., 2011; Bettoni et al., 2013). Par exemple pour qu'un produit soit durable, il faut que les processus et la chaîne logistique qui le fournissent soient aussi durables. En d'autres termes, les trois Ps doivent être pris en compte depuis l'extraction de matière jusqu'à l'utilisation et la fin de vie du produit (ex. types de matériaux, sécurité des employés, utilisation des ressources, coûts, délais, etc.). A cet égard des méthodologies sont encore nécessaires pour élucider le concept de durabilité en le projetant dans le contexte industriel, et systématiser l'évaluation et l'amélioration de la durabilité dans les entreprises.

3. Contexte industriel

Les politiques des gouvernements et la conscience des clients en matière d'environnement sont à l'origine de l'émergence des dimensions environnementale et sociale de la durabilité dans le secteur manufacturier. Ces politiques sont notamment traduites par l'introduction des écotaxes et l'encouragement des entreprises à s'engager sur la voie du développement durable. Face à cette situation, les entreprises doivent être réactives aux besoins des clients et proactives en termes d'initiatives de développement durable.

Ainsi, l'évaluation de la mise en œuvre de la personnalisation de masse doit aller au-delà de la simple évaluation des aspects économiques, pour intégrer les répercussions sur l'environnement et la société, favorisant une approche durable dans la personnalisation de masse.

La pénurie d'outils spécifiques permettant l'évaluation et l'amélioration de la performance, en particulier dans le contexte de personnalisation de masse durable (S-MC-S Consortium, 2011)

est l'incitation principale de ces travaux de thèse qui ont été effectués dans le cadre du projet Européen « Sustainable Mass Customization - Mass Customization for Sustainability » (S-MC-S) FoF.NMP.2010.

S-MC-S a pour vocation de mettre en place un nouveau paradigme de production, à savoir : la personnalisation de masse durable en développant des méthodes innovantes et des technologies assurant une production éco-efficace et centrée sur le client.

Portés par la volonté de dégager des avantages concurrentiels, des partenaires industriels de trois secteurs ont participé au projet. Le premier secteur est celui de la production de chaussures. Le deuxième concerne la production de machines de découpe de pierres. Le troisième est celui des cuisines personnalisées. La personnalisation a beaucoup marqué la production de chaussures ainsi que les cuisines de luxe. L'offre des machines de découpe de pierre nécessite également de plus en plus la personnalisation des machines pour les réajuster à des applications spécifiques.

4. Positionnement de la problématique

En partant de la définition de la personnalisation de masse proposée par Pine et al. (1993), la personnalisation de masse durable peut être définie comme une stratégie visant à satisfaire les besoins individuels des clients avec une efficacité proche de la production de masse tout en assurant un développement durable.

Dans un contexte de personnalisation de masse, un défi majeur pour les entreprises est la conception des processus capables de fournir une grande variété de produits tout en impliquant le client dans la spécification de ces produits (Duray et al., 2000). La variété des produits est leur diversité offerte par le système de production sur le marché (Ulrich, 1995). Celle-ci induit une complexité interne entraînée par la quantité de données relatives aux nomenclatures des produits et à la capacité du système de production et de la chaîne logistique (Ishii et al., 1995 ; Jiao et al., 2007a).

Ainsi, l'enjeu est de minimiser cette complexité interne tout en maximisant la variété et les possibilités de personnalisation des produits. Tseng et al. (1996) ont introduit : « la conception pour la personnalisation de masse » qui vise à prendre en compte les économies d'échelle dès la phase de conception du produit via l'optimisation de la réutilisabilité et la communalité des composants, le développement de familles de produits et l'intégration de la conception des produits et du processus de production.

Fogliatto et al. (2012) considèrent que la personnalisation de masse repose sur la conception de produits modulaires, des processus flexibles et la coordination entre les acteurs de la chaîne logistique. Ils soulignent le rôle important des technologies de production avancées et les technologies de l'information et de la communication dans l'amélioration de la flexibilité et de la coordination, respectivement.

Par ailleurs, la personnalisation de masse durable va au-delà de la dimension économique pour englober les impacts environnementaux et sociaux du produit. Chacune des variantes d'un produit ou d'un composant peut avoir un impact environnemental, économique et social différent. L'entreprise se doit ainsi de s'intéresser à la fois à l'amélioration du niveau de personnalisation de masse, en l'occurrence la variété offerte, et l'impact en termes de durabilité des solutions personnalisées, et ce dès la phase de conception du produit.

Le défi réside donc dans le couplage des principes de la conception pour la personnalisation de masse et la conception de produit durable (Kleindorfer et al., 2005; Gimenez et al., 2012). Toutefois, ce couplage résulte en un certain nombre de verrous à relever. Par exemple, l'implication du client dans la conception et la production des produits peut avoir un impact positif ou négatif sur la durabilité. Cela dépend des préférences du client et le type de travaux sur mesure ou des fonctionnalités supplémentaires ajoutées au produit.

De l'autre côté, l'écoconception ou plus généralement la conception de produits durables peuvent avoir à leur tour, un impact positif ou négatif sur la satisfaction des besoins individuels des clients. Cela dépend également de la priorité des enjeux de durabilité dans les préférences du client.

Le lien entre la co- et l'éco conceptions devient plus fort quand il s'agit d'une stratégie de personnalisation de masse durable. Avec l'hypothèse que les clients sont conscients des enjeux de durabilité, l'impact de la participation des clients sur la durabilité devient exclusivement positif. Néanmoins, l'éco- et la co-conception seules, ne suffisent pas pour diriger l'entreprise vers la durabilité. L'évaluation des alternatives de conception est inévitable. La Figure 2 montre le positionnement de la problématique dans les phases du cycle de vie du produit retenues de Le Duigou (2010).

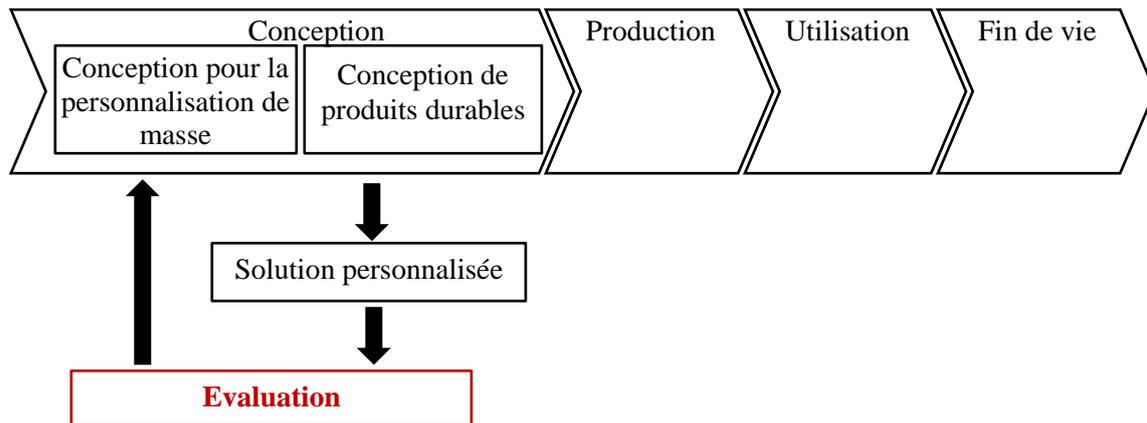


Figure 2: Positionnement de la problématique

L'objectif est d'évaluer l'impact d'une solution choisie parmi un espace de solutions permettant de satisfaire les préférences du client, avant sa mise en œuvre. L'espace de solution est défini par von Hippel (2001) en tant que « la pré-capacité existante et les degrés de liberté offerts par un système de production ». L'évaluation doit prendre en considération l'impact des phases postérieures (ex. production, fin de vie, etc.) sur la durabilité et la personnalisation de masse. Le processus de production ainsi que la chaîne logistique rentrent ainsi dans le périmètre d'évaluation.

La co-conception et co-production qui sont au cœur de personnalisation de masse résultent en certaines contraintes au niveau produit, processus de production et la chaîne logistique. Par exemple, le choix d'un matériau ou de dimensions du produit est soumise à deux contraintes : satisfaire le client et préserver l'environnement dont la corrélation n'est toujours pas assurée.

Quant aux deux autres niveaux (i.e. processus de production et chaîne logistique), on parle plutôt d'une stratégie engineer-to-order (ETO) plutôt qu'une stratégie de production sur stock (MTS) d'autant plus que le niveau de la personnalisation de masse augmente. Une stratégie de type engineer-to-order nécessite un système plus compliqué pour faire face à la gestion dynamique des commandes personnalisées. À ce stade, l'évaluation couplée avec la conception du produit, processus de production et chaîne logistique permet de mieux gérer les commandes personnalisées (traitement, ordonnancement, etc.).

L'évaluation des solutions conçues paraît ainsi inévitable afin de répondre au mieux aux attentes des clients tout en assurant une durabilité économique, environnementale et sociale de l'entreprise. Au niveau industriel, un support est nécessaire au concepteur ou au cadre d'entreprise afin de contrôler l'impact des solutions personnalisées.

5. *Mesure de performance*

5.1. *Mesure de performance dans le cas général*

La performance est « la réalisation des objectifs organisationnels, quelles que soient la nature et la variété de ces objectifs. Cette réalisation peut se comprendre au sens strict (résultat, aboutissement) ou au sens large du processus qui mène au résultat (action)...» (Bourguignon, 2000). La mesure de performance permet d'atteindre des objectifs prédéfinis qui sont tirés des objectifs stratégiques de l'entreprise (Lohman et al., 2004) en utilisant des indicateurs de performance. Un indicateur de performance est une variable qui exprime quantitativement l'efficacité d'une partie de ou de tout un processus, ou système par rapport à une norme donnée ou une cible (Fortuin, 1988).

La mesure de performance représente la formulation concrète de choix stratégiques de l'entreprise. Elle permet de traduire la stratégie en objectifs concrets et de faire le suivi de son déploiement. Examiner les mesures réelles par rapport aux prévisions permet de définir les zones de carence et donc, de prendre des mesures correctives (Lohman et al., 2004). Les résultats peuvent conduire à l'ajustement de ces objectifs. Les étapes typiques du développement d'un système de mesure de performance sont les suivantes (Neely et al, 1995; Lohman et al, 2004) :

- Définir la mission de l'entreprise.
- Identifier les objectifs stratégiques en découlant.
- Identifier les domaines fonctionnels qui permettent la réalisation des objectifs stratégiques.
- Élaborer des mesures de performance pour chacun des domaines fonctionnels et communiquer les objectifs stratégiques à des niveaux inférieurs de l'organisation.
- Utiliser le système de mesure de performance.
- Réévaluer périodiquement la pertinence des mesures établies.

Par ailleurs, la complexité d'un système de mesure de performance peut être réduite par l'utilisation de techniques telles que le regroupement des paramètres en divers points de vue, la normalisation et l'agrégation des différentes mesures de performance (Lohman et al., 2004). Ces techniques facilitent en particulier le processus de décision. En fait, prendre une décision basée sur un grand nombre d'indicateurs est quasi-impossible. La réduction du nombre de ces indicateurs offre au gestionnaire, par exemple, un aperçu général de l'ensemble du système.

Ghalayini et al. (1997) ont proposé un système intégré de mesure de performance où ils ont considéré trois domaines fonctionnels : le pilotage où sont définies les zones de succès, l'amélioration des processus en termes de seuils de performance, et le domaine opérationnel qui s'intéresse à la collecte des données. Cette méthode est assez structurée et implique différents niveaux de la hiérarchie de l'entreprise (ex. opérateurs, cadres, etc.) dans l'entretien du système de mesure de performance. Toutefois, son implémentation nécessite beaucoup d'investissement en termes de temps et d'argent. Différentes équipes doivent s'engager dans la collecte des informations et le suivi de la performance quotidiennement. L'application de la méthode peut également rencontrer des difficultés liées à la définition des zones de succès qui n'est pas formalisée. Fournir des zones de succès standards, au moins pour un secteur donné faciliterait la tâche aux utilisateurs de la méthode au niveau industriel.

Les tableaux de bord équilibrés visent à produire un ensemble de mesures équilibrées (i.e. financière et non financière). Ils sont basés sur quatre points de vue, à savoir financier, client, processus internes et d'apprentissage, et perspectives de croissance. Kaplan et Norton (1996) ont défini un cadre procédural pour faciliter l'application des tableaux de bord qui a abouti à un système de mesure de performance. La première étape consiste à développer un consensus sur la stratégie de l'entreprise. La deuxième étape concerne la communication de la stratégie à différents niveaux organisationnels. Au cours de la troisième étape, l'entreprise intègre les plans d'affaires et financier. La dernière étape consiste au suivi de la performance.

Si des propositions telles que Ghalayini et al. (1997) et Kaplan et Norton (1996) ont fourni un support méthodologique, la plupart des propositions pour la mesure de performance se focalisent sur la description de la structure du système d'indicateurs, il s'agit des cadres structurels (Folan et Browne, 2005).

Récemment, la mesure de performance a été étroitement liée à la chaîne logistique et l'entreprise étendue (Lohman et al, 2004; Folan et Browne, 2005). La chaîne logistique est un réseau de partenaires interdépendants qui travaillent ensemble très étroitement pour réaliser un objectif commun à savoir, la satisfaction de la clientèle (Mentzer et al., 2001). Brewer et Speh (2001) ont élaboré un modèle à quatre points de vue du processus de gestion de la chaîne logistique dans lequel ils ont intégré la perspective des tableaux de bord équilibrés qu'ils ont élargie pour inclure les perspectives inter-fonctionnelles et de partenariat. Chan et Qi (2003) ont proposé un cadre d'évaluation basé sur le client, les fournisseurs, la logistique interne, le marketing et les ventes. Chacun de ces processus est divisé en sous-processus et

activités. Les mesures sont appliquées à des activités, ce qui donne la possibilité de les agréger en sous-processus.

Supply Chain Operations Reference (SCOR) est une référence largement reconnue dans le domaine de la gestion de la chaîne logistique. SCOR intègre les processus, des indicateurs et des pratiques dans un cadre unifié pour améliorer la gestion et la communication au sein de la chaîne logistique. Cette référence couvre des chaînes logistiques de diverses complexités et dans de multiples secteurs (Supply Chain Council, 2010). Les indicateurs SCOR s'organisent autour des aspects de fiabilité, coûts, réactivité, et flexibilité.

Dans cette section nous avons exposés quelques méthodes qui couplent plutôt l'aspect méthodologique (i.e. l'enchaînement des étapes) avec l'aspect structurel (i.e. catégorisations des indicateurs) d'un système de mesure de performance. Une analyse critique de 33 méthodes de conception et de mise en œuvre des systèmes d'indicateurs de performance se trouve dans (Ravelomanantsoa, 2009). Elle montre que malgré la multitude de ces méthodes, il manque souvent le support à la fois au niveau de la conception (i.e. sélection des bons indicateurs) et l'implantation (i.e. mise en œuvre). Cette idée renforce les constatations de Folan et Browne (2005) qui revendiquent que, dans la littérature, l'accent est mis sur l'aspect structurel des systèmes d'indicateurs de performance au détriment de l'aspect méthodologique. Dans les deux prochaines sections nous allons examiner la mesure de performance dans le contexte de durabilité et de personnalisation de masse.

5.2. Mesure de performance de durabilité

5.2.1. Outils de mesure de performance

Les propositions en termes de mesure de performance de durabilité peuvent être classées en outils et méthodes. D'un point de vue outils de mesure de performance, les indicateurs et systèmes d'indicateurs ont marqué la littérature de l'évaluation de la durabilité.

Dans les années 1990, Spangenberg et Bonniot (1998) ont proposé un système d'indicateurs qui couvre les dimensions économique, sociale environnementale et institutionnelle de la durabilité. Ils ont introduit des indicateurs d'interdépendance permettant de caractériser les interactions entre les dimensions classiques de la durabilité. En 2001, la Commission des Nations Unies pour le développement durable a proposé un cadre pour évaluer les efforts des gouvernements dans le domaine du développement durable (Nations Unies, 2001).

Le cadre le plus courant qui couvre toute l'organisation est la « Global Reporting Initiative» (GRI). GRI précise les lignes directrices pour établir les rapports sur la performance des organisations. Elle est basée sur les indicateurs de développement durable relatifs aux aspects économiques, sociaux et environnementaux (Global Reporting Initiative, 2002; Brown et al, 2009). Deux ans plus tard, Labuschagne et al. (2004) ont proposé un cadre multi-niveaux pour évaluer le développement durable aux niveaux stratégique et opérationnel. Ils distinguent entre les initiatives opérationnelles et sociétales. Les initiatives opérationnelles couvrent les dimensions économique, environnementale et sociale à l'intérieur de l'entreprise, tandis que les initiatives sociétales caractérisent la responsabilité des entreprises envers la Société, dite « Corporate Social Responsibility » (CSR).

5.2.2. Méthodes de mesure de performance

D'un point de vue méthodologique, une optique « de cycle de vie » a émergé depuis les années 90. Cette optique a été principalement axée sur le pilier environnemental de la durabilité. Selon le Programme de l'Environnement des Nations Unies (2009), l'optique cycle de vie est d'aller au-delà de l'approche traditionnelle au regard des processus de production de telle sorte que l'impact environnemental, social et économique d'un produit sur son cycle de vie complet, y compris la consommation et la fin de la phase d'utilisation, soit pris en compte. Plusieurs efforts ont été faits dans ce sens et ont été couronnés par la série de normes ISO 14040. Au-delà de cette série de normes, l'Analyse du Cycle de Vie (ACV) a été largement discutée dans la littérature. Le premier guide de la méthode ACV a été publié en 2001 par le Centre des Sciences de l'Environnement (CML) (2001). Tel que défini par Rebitzer et al. (2004), l'ACV est un cadre méthodologique pour l'estimation et l'évaluation des impacts environnementaux du cycle de vie du produit.

Concernant la dimension sociale de la durabilité, il y a moins d'avancées sur les plans scientifique et industriel. En effet, la caractérisation de l'impact social est plus compliquée que celle de l'impact environnemental vu que, par exemple, plusieurs aspects humains sont difficiles à quantifier avec des indicateurs. Toutefois, cette dimension est marquée par quelques initiatives comme celles de Dreyer (2009) qui a proposé un cadre pour l'évaluation de l'impact social du produit tout au long de son cycle de vie. La méthode générale est semblable à l'ACV classique même si certaines étapes sont différentes. Par exemple, l'allocation de l'impact social se fait au niveau de l'entreprise alors que dans l'ACV classique elle se fait selon les processus. L'étude comparative de Jorgensen et al. (2008) a mis en

évidence les zones d'accord et de désaccord au sein de l'ACV sociale. Dreyer et al. (2010a,b) sont allés plus loin dans l'amélioration de l'ACV sociale en proposant une méthode plus formelle pour caractériser l'impact social.

L'optique cycle de vie a également marqué la dimension économique de la durabilité. Par exemple, le « Life Cycle Costing » est une méthode d'évaluation qui vise à prendre en compte tous les coûts connexes du cycle de vie du produit. La méthode a été largement utilisée dans de différents secteurs, mais jusqu'à présent il semble qu'il n'y ait pas de norme en la matière (Programme de l'Environnement des Nations Unies (UNEP), 2009).

5.3. Indicateurs sur la personnalisation de masse

Yang et Li (2002) ont mis en place un système d'indicateurs pour l'évaluation de l'agilité des systèmes de production dans le contexte de personnalisation de masse. Jiao et Tseng (2004) ont proposé des indicateurs de personnalisation liés à la conception du produit et des processus de production. Ils ont utilisé une méthode floue pour évaluer l'agilité. Un indicateur qui mesure la flexibilité des opérations dans le contexte de personnalisation de masse a également été proposé par Welborn (2009).

En parallèle avec ces initiatives, Blecker et al. (2006) ont établi un réseau d'influence où ils ont groupé des indicateurs pour retracer l'influence de certains paramètres sur la valeur perçue par le client. Plus tard, Daaboul (2011) a mis en place une méthode pour évaluer la faisabilité économique de la personnalisation de masse. Elle a tenté d'intégrer le critère de valeur dans l'évaluation économique d'une stratégie donnée. Son approche faisant appel à la chaîne de valeur (Daaboul et al., 2010) et utilisant la simulation à événements discrets permet d'étendre le périmètre d'évaluation en intégrant différents acteurs contribuant à la production du bien ou service.

L'évaluation de la durabilité et celle de la personnalisation de masse ont été souvent traitées séparément. Cependant l'intérêt de traiter conjointement les deux concepts résulte en quelques initiatives visant le couplage de leurs évaluations. La prochaine section s'intéresse au modèle d'évaluation développé dans le cadre du projet européen S-MC-S qui est le premier pas entamé dans cette voie.

5.4. Evaluation de la personnalisation de masse durable : le modèle d'évaluation S-MC-S

5.4.1. Cadre structurel du modèle d'évaluation S-MC-S

Le modèle d'évaluation S-MC-S couple les niveaux, produit, processus et chaîne logistique avec une perspective de cycle de vie du produit. L'originalité de ce modèle réside dans le développement d'un ensemble holistique d'indicateurs pour l'évaluation de la durabilité et la personnalisation de masse d'un espace de solution de personnalisation (Bettoni et al., 2013 ; Medini et al., 2011). Cet espace contient le produit, le système de production et la chaîne logistique.

L'intégration de l'évaluation dans les activités de conception est faite par le biais d'un cadre structurel d'évaluation sur lequel repose le modèle d'évaluation. Ce cadre croise les activités de conception aux différentes phases du cycle de vie du produit. Il sert au développement des formules des indicateurs S-MC-S et permet de garder une trace de la contribution des activités de conception aux valeurs de ces indicateurs.

C'est ainsi que le concepteur peut améliorer les valeurs des indicateurs en agissant sur les activités ayant le plus de contributions à leurs valeurs le long des différentes phases du cycle de vie du produit. La possibilité de voir l'impact des décisions de conception sur les indicateurs permet au concepteur d'améliorer progressivement la solution qu'il développe (Bettoni et al., 2013; Medini et al., 2012d).

5.4.2. Les indicateurs S-MC-S

Les indicateurs S-MC-S couvrent les différentes phases du cycle de vie du produit et reflètent la contribution du produit, processus de production et chaîne logistique. Ils ont été développés sur la base de l'analyse de l'état de l'art qui a montré un manque d'indicateurs notamment en ce qui concerne la dimension sociale de la durabilité. L'idée est de proposer un système d'indicateurs holistique et cohérent. Pour ce faire, tout indicateur à sélectionner doit être :

- Mesurable : l'impact mesuré et ses sources peuvent être traduits en une mesure quantitative.
- Compréhensible : l'indicateur est facile à comprendre, même par des personnes qui ne sont pas des experts.

- Exploitable et pertinent : l'indicateur mesure quelque chose qui est important pour la société, il doit pouvoir mettre en évidence des problèmes existants et permettre l'amélioration de la performance de durabilité et le niveau de personnalisation de masse.
- Équilibré et intégré : les indicateurs sélectionnés donnent une vue d'ensemble des enjeux de personnalisation de masse durable.
- Capable d'influencer le changement : les informations fournies par les indicateurs sont utiles pour les décideurs au sein de l'entreprise. Les indicateurs permettent aux décideurs de savoir quelles seraient les mesures correctives nécessaires.
- Fiable : l'indicateur fournit une information fiable.
- Réalisable : l'indicateur est fondé sur des données accessibles, les informations sont disponibles ou peuvent être recueillies pendant qu'il est encore temps d'agir.
- Flexible : l'indicateur est souple et polyvalent, il doit couvrir différents types de produits, processus de production et chaînes logistiques.

Au final, 40 indicateurs (cf. annexe A) ont été sélectionnés et leurs formules ont été développées en utilisant le cadre structurel décrit dans la section précédente. La prise en compte de toutes les phases du cycle de vie du produit forme un défi majeur notamment avec l'hétérogénéité des aspects sociaux, environnementaux et économiques. Plus particulièrement la caractérisation de l'impact de chacune des phases du cycle de vie du produit doit suivre la même logique pour tous les indicateurs afin d'assurer leur cohérence. Cela reste difficile à atteindre surtout en ce qui concerne les indicateurs de la personnalisation qui ne dépendent pas forcément de plusieurs phases du cycle de vie du produit.

Toutefois, les indicateurs S-MC-S couvrent un spectre large des aspects liés à la durabilité avec ses trois dimensions et à la personnalisation de masse. Leur généricité est un atout de leur utilité, déjà prouvée par l'application au secteur de cuisines, chaussures et machines de découpe de pierre.

5.5. Conclusions sur l'évaluation de la performance

De manière générale, les littératures de la durabilité et de la personnalisation de masse sont souvent abordées séparément, alors que beaucoup d'avantages peuvent être tirés en fusionnant les deux. En effet, l'aspect méthodologique des systèmes de mesure de performance favorise le développement des indicateurs de durabilité. En d'autres termes en partant d'une vision

stratégique, le choix des indicateurs serait plus judicieux et les résultats reflèteraient plus la vision de l'entreprise. En même temps, le champ d'application de la mesure de performance peut être élargi par l'inclusion des dimensions de durabilité dans les objectifs et les domaines de la réussite, dits « aspects de la performance » ou encore zones de succès.

Le modèle d'évaluation S-MC-S a permis de faire un premier pas dans l'intégration de l'évaluation de la durabilité et de la personnalisation de masse. Les indicateurs de ce modèle sont le résultat d'un croisement d'une approche cycle de vie avec les trois niveaux : produit, processus de production et chaîne logistique.

Toutefois, le nombre d'indicateurs du modèle S-MC-S peut limiter leur utilisation en pratique. Un responsable ou un concepteur dans une entreprise aurait besoin d'une liste courte d'indicateurs ou d'informations synthétisées pour pouvoir prendre des décisions en vue d'améliorer la performance (Lohman et al., 2004). Cela présente une piste d'amélioration à creuser en vue d'assurer plus de support aux utilisateurs des indicateurs S-MC-S. La résolution de ce problème revient à répondre à la question de recherche QR1.

QR1: Comment sélectionner des indicateurs de performance pour évaluer la durabilité et/ou la personnalisation de masse ?

6. Inducteurs de performance de durabilité et de personnalisation de masse

6.1. Périmètre d'analyse

Afin d'aller jusqu'à l'amélioration de performance à travers les indicateurs, il convient d'identifier et contrôler les inducteurs de performance aux différents niveaux de l'entreprise. Ceux-ci sont des « variables qui influent sur la performance d'une activité (ou de tout un processus) sur laquelle on peut agir pour faire évoluer le processus afin de mieux atteindre l'objectif » (El Mahmedi et al., 2005).

Jiao et al. (2007a) considèrent qu'il est impératif de coordonner la conception du produit et du processus des familles de produits dans le cadre de la chaîne logistique. Selon Canetta et al. (2011) le produit, le système de production, et la chaîne logistique sont des éléments fondamentaux qui doivent être considérés pour définir un espace de solutions de

personnalisation stable¹. Canetta et al., (2011) considèrent qu'un système réussi de personnalisation de masse doit être caractérisé par des processus stables mais toujours souples et réactifs répartis le long du réseau d'approvisionnement, utilisés pour livrer des produits de grande variété, avec une efficacité proche de celle de la production de masse. Jayal et al. (2010) revendiquent qu'une vision globale sur toute la chaîne logistique, notamment les systèmes et processus de production, est nécessaire pour assurer une évaluation globale de la durabilité. Corti et al. (2011) ont proposé un cadre intégré pour la conception de produits, processus et chaîne logistique dans le contexte de personnalisation de masse durable.

Ces propositions renforcent la thèse suivante : la performance de durabilité et de personnalisation de masse dépend conjointement des trois niveaux : produit, processus et chaîne logistique. Les deux prochaines sections analysent les conséquences de la personnalisation de masse, en particulier la diversité des produits et la durabilité, respectivement, aux niveaux produit, processus de production et chaîne logistique.

6.2. Inducteurs de performance de personnalisation de masse

Blecker et al. (2004) considèrent que le système qui doit être optimisé dans la personnalisation de masse se compose de la plateforme du produit (i.e. l'architecture du produit) et du système de configuration et de production (i.e. comment traduire les besoins spécifiques du client).

Jiao et al. (2004) proposent l'utilisation du concept d'entreprise concourante pour la personnalisation de masse, qui vise à aligner les clients, les produits, les processus et la logistique pour fournir une variété importante des produits à des coûts raisonnables. Fixson (2005) considère que de nombreuses décisions sur les trois domaines de produits, du processus de production et de la chaîne logistique dépendent des caractéristiques du produit telles que le nombre et la complexité des composants, la communalité des composants, ou la modularité du produit (Figure 3). Ils ont souligné le fait que l'architecture du produit peut être utilisée comme un mécanisme de coordination des décisions ci-dessus.

¹ Cet espace de solutions est défini par Piller (2004) en tant que "the pre-existing capability and degrees of freedom built into a given manufacturer's production system".

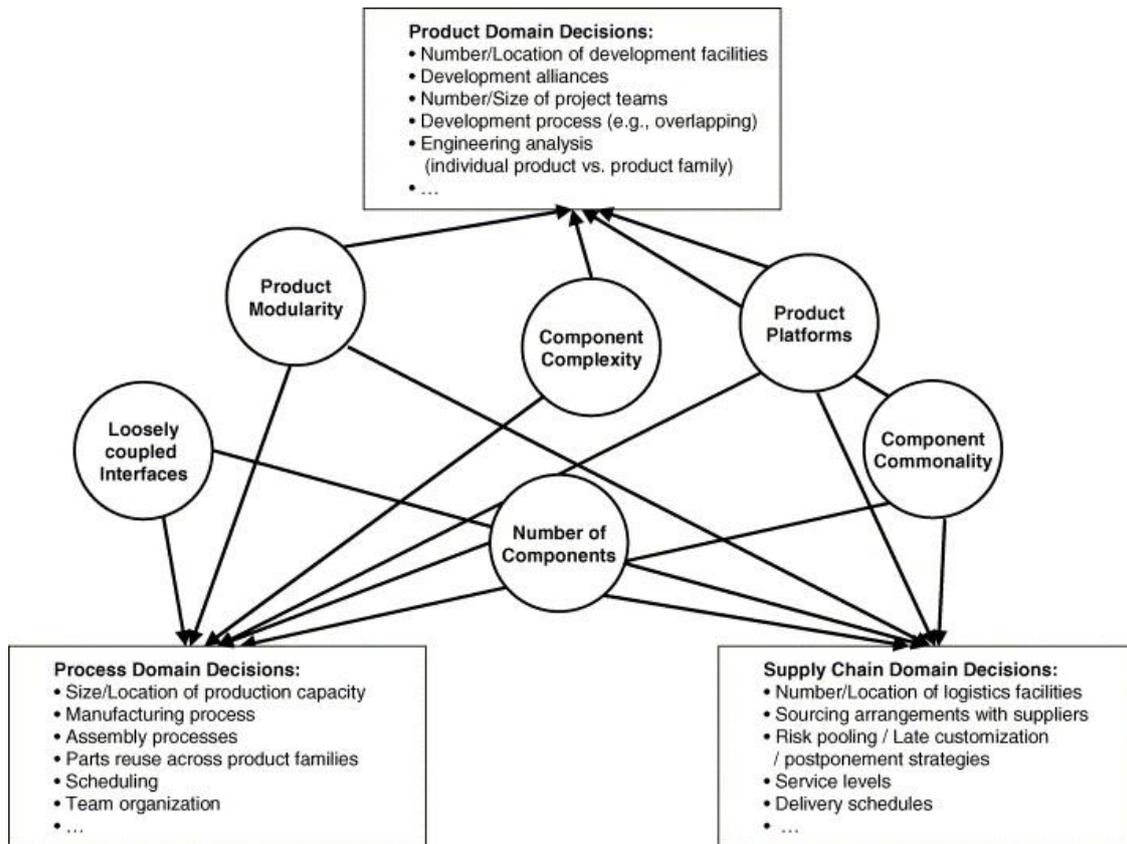


Figure 3: Caractéristiques du produit qui influent sur les décisions de conception (Fixson, 2005)

Jiao et al. (2007b) ont souligné l'importance de la planification des plates-formes de processus en conformité avec les plates-formes de produits. Une plate-forme de processus comprend 1) une structure commune de processus (i.e. gammes), 2) une instance de la structure commune pour un processus spécifique, et 3) la correspondance entre la variété du produit et celle du processus (Figure 4).

La planification de la plate-forme de processus vise à atteindre une efficacité de production de masse en regroupant les variantes similaires dans le but de réutiliser les composants et les processus communs. La plate-forme du processus proposé par Jiao et al. (2007b) permet de contrôler la complexité interne induite par la variété des produits en groupant les variantes du produit et les intégrant dans le processus de production. Ceci est particulièrement important dans le contexte de la personnalisation de masse où une grande quantité de données sur les variantes de produits doit être gérée. À ce niveau, Jiao et Tseng (2000) et Blecker et al. (2006) proposent l'utilisation d'indicateurs clés pour comprendre et maîtriser la complexité des systèmes de production de produit personnalisée. Un état de l'art sur l'alignement du "produit, processus de production et chaîne logistique" se trouve dans (Castellano et Dolado, 2010).

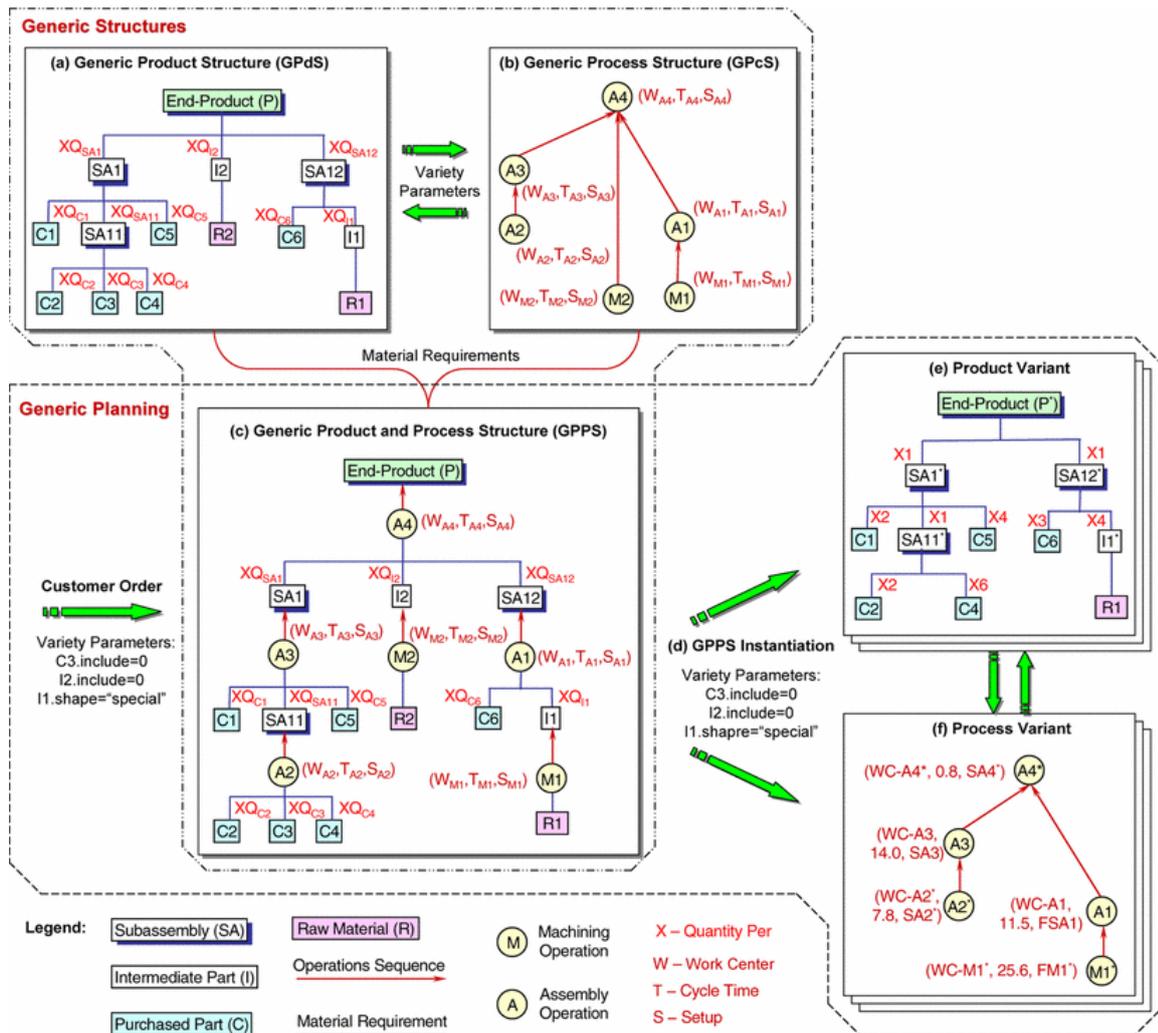


Figure 4. Plateforme du processus (Jiao et al, 2007b)

On peut tirer la conclusion C1 sur les inducteurs de performance de personnalisation de masse.

C1: L'évaluation et la maîtrise de la diversité des produits et de la complexité du système de production nécessitent l'intégration des niveaux suivants :

- *Produit* : nomenclature, les attributs de personnalisation (ex. la couleur, la hauteur, taille, matériau, puissance, etc.).
- *Processus de production*: capacité à fournir un composant donné ou un produit final, le temps d'installation, le temps machine, les activités de personnalisation (ex. ajout de nom du client à son tee-shirt, etc.), le coût, etc.
- *Chaîne logistique* : fournisseurs disponibles d'un composant, de matière première ou d'activité, délais des fournisseurs, etc.

Dans un contexte de personnalisation de masse, les commandes clients possèdent des informations qui dépassent le nom d'article et la quantité. Il convient de spécifier aussi des attributs de personnalisation (ex. couleur, dimensions, etc.) et éventuellement la nomenclature du produit (ex. cuisine personnalisée) qui peut varier selon la commande.

6.3. Inducteurs de performance de durabilité

Les dimensions de la durabilité n'ont pas été traitées de façon équitable dans le domaine de la gestion des opérations. L'accent est souvent mis sur la dimension économique vu qu'elle est la raison d'être des entreprises. Cependant les entreprises sont confrontées à la pression accrue des gouvernements, de la société et des clients qui les poussent à renforcer les efforts de durabilité environnementale et sociale. La gestion des opérations est considérée comme moyen de faire face à ces pressions comme le revendiquent certains auteurs (Kleindorfer et al., 2005 ; Ageron et al., 2012).

D'un point de vue environnemental, Kleindorfer et al. (2005) a classé le progrès vers la gestion durable des opérations dans trois domaines, à savoir : la conception des produits et processus verts, la gestion des opérations Lean et vertes, et le reconditionnement et les chaînes logistiques en boucle fermée. En ce qui concerne la conception des produits et processus verts, les entreprises sont poussées à investir dans des technologies durables en dépit des incertitudes et des délais plus longs. Leur avantage augmente s'ils sont des pionniers dans des domaines spécifiques. En fait, lorsque les réglementations sont définies après qu'une entreprise ait mis en place son système de production durable, les nouvelles technologies vertes utilisées dans ce système de production deviennent un avantage concurrentiel difficile à reproduire. En outre, la conception du produit doit intégrer les critères de développement durable à des phases différentes de leur cycle de vie. La conception modulaire des produits, par exemple, a un impact positif sur la récupération du produit à sa fin de vie (Krikke et al., 2003). Elle facilite ainsi la conception de chaînes logistiques inverses.

Les gouvernements poussent de plus en plus les entreprises à assumer la responsabilité de leurs produits sur la durée de leur cycle de vie. La conception doit ainsi considérer les différentes phases du cycle de vie. Le défi consiste à récupérer le maximum de valeur des produits par la réutilisation, le reconditionnement ou le recyclage, tout en réduisant leur empreinte écologique. Kleindorfer et al. (2005) considèrent que les phases de conception, production, distribution, reconditionnement, recyclage et réutilisation contribuent toutes à l'impact environnemental du produit. Par ailleurs, les flux amont et aval doivent être intégrés pour plus d'efficacité et de profit. Ceci représente la pierre angulaire des chaînes logistiques en boucle fermée (Gunasekaran et Spalanzani, 2011). Selon Dowlatshahi (2000) « la logistique inverse consiste à gérer les flux des produits destinés au reconditionnement, recyclage ou à l'élimination et à utiliser efficacement les ressources ». La chaîne logistique

inverse commence avec l'acquisition de produits retournés par les clients, et se termine par la commercialisation (Kleindorfer et al., 2005).

Ageron et al. (2012) répliquent que la durabilité environnementale doit être considérée comme une préoccupation collective plutôt qu'une contrainte. Dans cet esprit, les enjeux liés à l'environnement sont considérés dans une perspective gagnant-gagnant et les entreprises peuvent générer davantage de valeur grâce à des opérations durables.

En termes de durabilité sociale, Kruse et al. (2008) et Dreyer et al. (2010a,b) ont souligné le rôle de la société dans son ensemble dans l'amélioration de l'impact social. Par ailleurs, la collaboration entre les partenaires de la chaîne logistique améliore toutes les dimensions de la durabilité (Gimenez et al., 2012). On peut tirer la conclusion C2 sur les inducteurs de performance de durabilité.

C2: L'évaluation de l'impact (environnemental, social et économique) d'un produit doit tenir compte des niveaux suivants :

- *Produit : type, quantité et coût de matière première et/ou d'énergie consommée, etc.*
- *Processus de production : délai, quantité et type de matières premières et auxiliaires et d'énergie consommée, coûts unitaires des activités, qualification des travailleurs, niveau des salaires, etc.*
- *Chaîne logistique : entreprise (ex. les investissements au profit de la société, etc.), fournisseurs de produits verts, certifications des fournisseurs, etc.*

6.4. Conclusions sur les inducteurs de performance de personnalisation de masse et de durabilité

En partant des conclusions C1 et C2, on remarque que certaines des données essentielles à la modélisation et à l'évaluation sont inhérentes à l'un des niveaux : produit, processus de production et chaîne logistique. D'autres données sont associées à la relation entre les objets d'un niveau donné ou de niveaux différents. Par exemple, la quantité de ressources utilisées est une caractéristique des relations : processus - ressource et produit - ressource. D'un point de vue durabilité, la quantité et le type de ressource utilisée doivent être définis. Dans un contexte de personnalisation de masse, la variété des produits nécessite des attributs supplémentaires tels que la couleur, les dimensions, etc. Ces attributs peuvent être associés à un ou plusieurs objets d'entreprise tels que le produit, le processus et les ressources.

Le produit, le processus de production et la chaîne logistique doivent être intégrés et leurs interrelations doivent être prises en compte dans la modélisation. Le grand nombre d'attributs de personnalisation de masse et de durabilité doit également être modélisé afin de fournir une

vision globale des paramètres qui influent sur la performance dans le contexte particulier de la personnalisation de masse durable. Le fait de lier ces inducteurs ou indicateurs de performance correspondant permettrait de répondre à la question de recherche QR4.

QR4: Comment, dans ce contexte, aider une entreprise à trouver des pistes d'amélioration de sa performance?

La prochaine section s'intéresse à la modélisation d'entreprise et tente de vérifier si parmi les méta-modèles d'entreprise et méthodes de modélisation existants, il en existe qui couvrent déjà le spectre défini dans cette section.

7. Modélisation d'entreprise pour l'évaluation de la performance

7.1. Utilité de la modélisation d'entreprise

La modélisation d'entreprise permet de spécifier, à travers un modèle, la conception, l'analyse ou la performance d'une entreprise (Fox et Gruninger, 1997). Selon Vernadat (1999) « la modélisation d'entreprise a pour objet la construction de modèles d'une partie déterminée d'une entreprise pour en expliquer la structure et le fonctionnement ou pour en analyser le comportement et en évaluer les performances ou pour l'aide à la décision dans son exploitation ».

La modélisation d'entreprise offre une vue commune ou un consensus des « choses » de l'entreprise - un consensus qui peut être partagé par une large population de personnes dans l'entreprise (Vernadat, 2002).

Mauchand (2007) a utilisé la modélisation pour l'évaluation de la performance en passant par la simulation de chaînes de valeurs. Son approche structurée montre bien l'utilité de la modélisation qui permet de prendre en compte tous (ou la plupart des) paramètres influençant sur la performance. Mauchand (2007) se limitait à l'évaluation selon les critères du coût, qualité, délai et valeur.

Certains auteurs comme Iosif et al. (2008) ont proposé la modélisation intégrée pour l'évaluation de la durabilité environnementale, en particulier pour faire l'inventaire dans la méthode ACV (Analyse du Cycle de Vie). Toutefois, ces tentatives restent spécifiques aux secteurs traités.

7.2. Périmètre d'analyse

Les méthodes de modélisation d'entreprise peuvent être classées en deux familles, les cadres de modélisation utilisés pour l'ingénierie d'entreprise et les méthodes et langages de modélisation d'entreprise. L'ingénierie d'entreprise peut être définie comme l'art de concevoir des systèmes d'entreprise, qu'il s'agisse de systèmes de production discrète, d'industries de transformation, d'industries de services ou de systèmes administratifs (Vernadat, 2002). L'ingénierie d'entreprise se base principalement sur les cadres d'architecture d'entreprise qui consistent à gérer la complexité des systèmes et la conduite du changement global à partir d'un état actuel vers un état cible tout en précisant les mécanismes de transformation (Zachman, 1987). L'architecture d'entreprise utilise des méthodes de modélisation pour représenter différents points de vue de l'entreprise tels que la vue fonctionnelle, organisationnelle, etc. (Shen et al., 2004 ; Medini et Bourey, 2012) (Figure 5).

Les cadres de modélisation d'entreprise fournissent des méthodologies et architectures de références pour guider l'analyse du système en question, en l'occurrence l'entreprise (Shen et al., 2004). Tandis que le niveau opérationnel est décrit à travers les méthodes et techniques de modélisation.

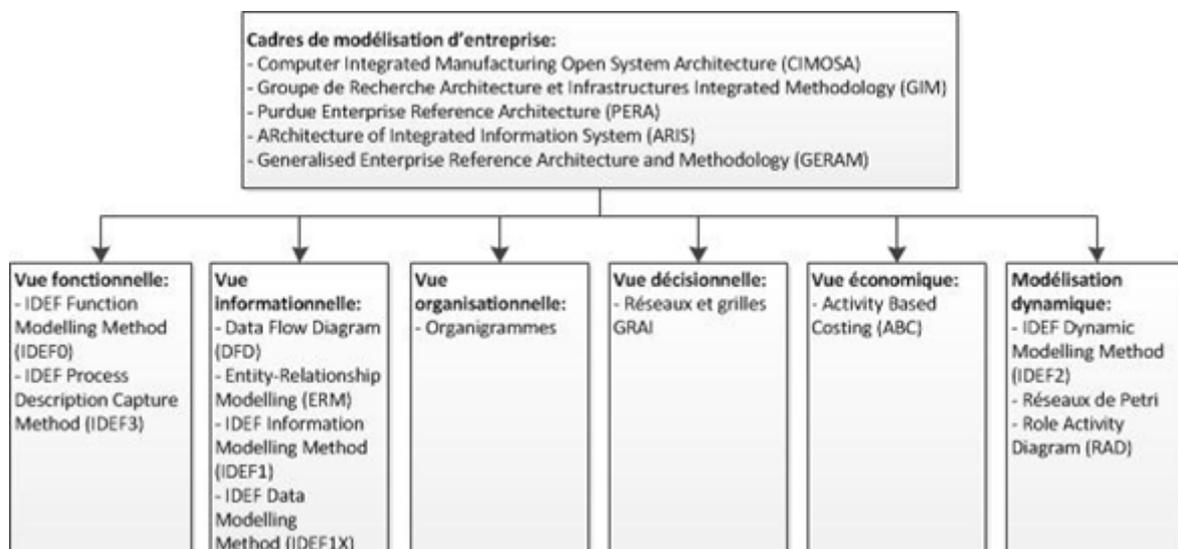


Figure 5: Classification des méthodes et techniques de modélisation, adapté de Shen et al. (2004)

La finalité d'adopter la modélisation est de prendre en compte les inducteurs de performance aux niveaux produit, processus de production et chaîne logistique. Ainsi, il convient de se positionner au niveau opérationnel en analysant les méthodes et langages de modélisation qui s'intéressent à un ou tous les niveaux : produit, processus de production et chaîne logistique.

7.3. Modélisation des processus de l'entreprise

Dans cette section on va s'intéresser aux méthodes et techniques utilisées pour la modélisation des processus et fonctions de l'entreprise. L'objectif est de les analyser au regard du besoin identifié à la section 5.

7.3.1. Intégration DEFinition (IDEF)

Le « Federal Information Processing Standard » (1993) a proposé une série de techniques d'analyse des systèmes de production utilisées pour représenter différentes vues de l'entreprise. Parmi ces techniques, on retrouve IDEF0 qui se base sur le concept de fonction et qui est largement utilisé dans le milieu industriel. L'entreprise peut être modélisée au travers de ses processus et de même la chaîne logistique. La commande peut être assimilée à une entrée du processus, mais avec peu d'informations sur les attributs de personnalisation de chaque article commandé. Ainsi, la structure du produit reste difficile à représenter via ces techniques centrées sur le concept de la fonction.

7.3.2. Graphes à Résultats et Activités Inter reliés (GRAI)

Au regard de la vue décisionnelle de l'entreprise, Doumeingts (1985) a développé les Graphes à Résultats et Activités Inter reliés (GRAI) pour analyser les systèmes de production. La conception des processus et l'évaluation de performance ont été également intégrées dans GRAI. L'entreprise et la chaîne logistique peuvent également être représentées via les processus. Les commandes des clients sont également prises en compte dans la modélisation, mais avec peu d'informations au regard du contexte de personnalisation de masse.

Malgré son étendue (ex. niveaux stratégique, tactique et opérationnel) GRAI reste centré sur le processus et il n'est pas adapté à la représentation du produit avec sa structure et ses attributs de personnalisation. Le mapping entre les réseaux GRAI et les diagrammes d'activité UML proposé par Ben Salem et al. (2007) consolide cette idée. Les auteurs ont pu définir un diagramme d'activité UML fournissant les mêmes informations qu'un réseau GRAI tout en comparant différents outils logiciels pour faire la transformation. L'extension proposée par Eynard (1999) offre une modélisation des activités de conception pour une meilleure traçabilité du projet et ne fournit pas les données pour une évaluation de la performance de durabilité et de personnalisation de masse, telles qu'elles ont été décrites dans la section 5.

7.3.3. Réseaux de Petri

En termes de modélisation dynamique, les réseaux de Petri (Murata, 1989) sont largement utilisés pour décrire et analyser les comportements de différents types de systèmes dans le temps. Un réseau de Petri peut être défini comme un graphe bipartite composé de trois types d'objets : états, transitions et arcs.

Les processus et les ressources peuvent être modélisés via les états et les jetons, respectivement. Les commandes ainsi que les événements peuvent être décrits via les transitions. Toutefois les réseaux de Petri ne semblent pas être adaptés à représenter les caractéristiques du produit (ex. dimensions, matériaux, etc.) ou intégrer différents niveaux en un même modèle.

7.3.4. Business Process Modelling and Notations » (BPMN)

Le « Business Process Modelling and Notations » (BPMN) fournit « une notation graphique pour représenter un processus métier » (Chinosi et Trombetta, 2012). BPMN a été largement utilisé dans l'industrie, ce qui est à l'origine de son adoption par l'Object Management Group (OMG) en 2006. Ce dernier a publié la dernière version du Business Process Definition Meta Model (BPDM) qui décrit le BPMN, en 2011 (OMG, 2011). La Figure 6 montre les objets utilisés pour la modélisation BPMN.

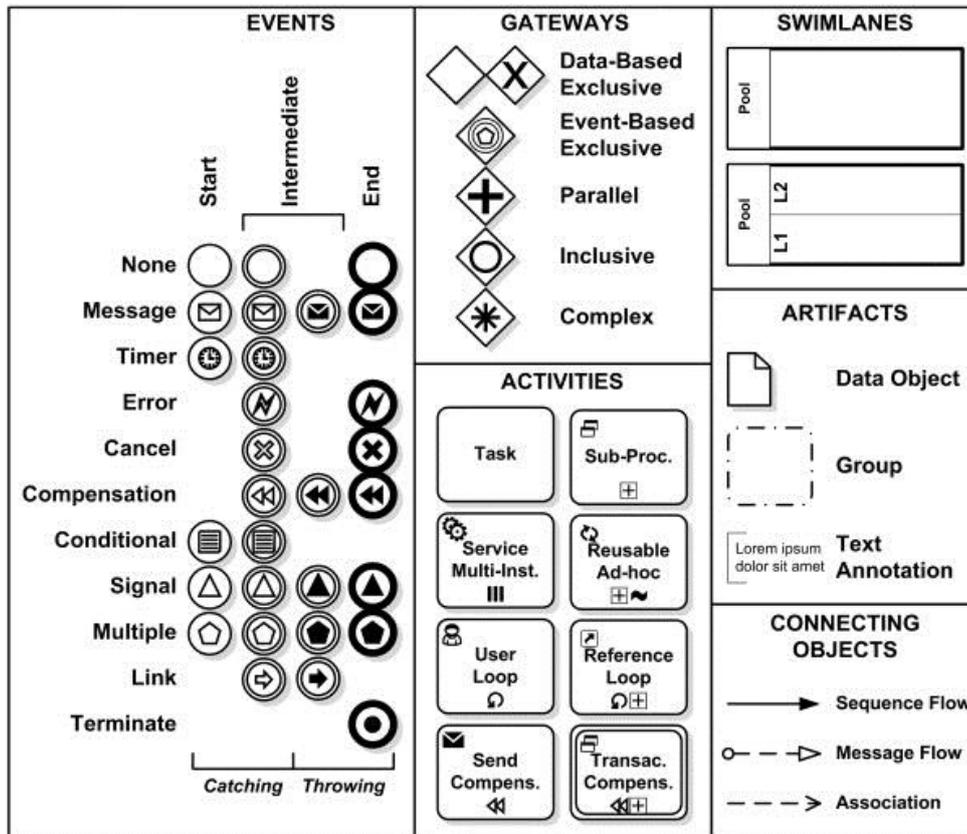


Figure 6: Résumé des objets utilisés pour la modélisation BPMN (Chinosi et Trombetta, 2012)

BPMN est utilisé pour différents objectifs allant de la modélisation conceptuelle à l'exécution des codes de processus (Chinosi et Trombetta, 2012). Toutefois, il reste focalisé sur la modélisation des processus métiers. Les acteurs de la chaîne logistique peuvent également être représentés via la notion de « participants ».

L'analyse comparative réalisée par White (2004) a mis en évidence les similitudes entre BPMN et des diagrammes d'activités qui sont utilisés principalement pour décrire les séquences d'activités. Les produits et les ressources peuvent être modélisés sous forme de flux. Ces derniers ne véhiculent pas suffisamment d'information sur leurs structures et sur les attributs de personnalisation. Les commandes peuvent être également décrites par des événements.

Le contexte particulier de la personnalisation de masse durable (i.e. variété de composants, attributs de personnalisation, le type de matériel, etc.) nécessite non seulement la représentation du produit et de sa structure, mais aussi l'intégration avec les processus de production et les acteurs de la chaîne logistique. La prochaine section tente de vérifier la compatibilité des méta-modèles existants avec le besoin identifié à la section 5.

7.4. Modélisation des objets de l'entreprise

Après avoir analysé les méthodes et techniques de modélisation centrées sur le processus, on s'intéresse aux méta-modèles utilisés pour décrire et représenter les objets de l'entreprise ainsi que leur intégration, éventuellement.

7.4.1. Unified Enterprise Modelling Language (UEML)

Vernadat (2002) a proposé un langage de modélisation d'entreprise unifié (UEML) afin d'améliorer l'interopérabilité des langages existants. La finalité d'UEML est de fournir une modélisation commune des entreprises de différents secteurs. En conséquence, le langage reprend les concepts utilisables dans plusieurs domaines à savoir, événement, processus, activités, objets d'entreprise, ressources et unité organisationnelle (Figure 7). Des concepts supplémentaires peuvent être utilisés pour des applications dans des secteurs spécifiques (Vernadat, 2002).

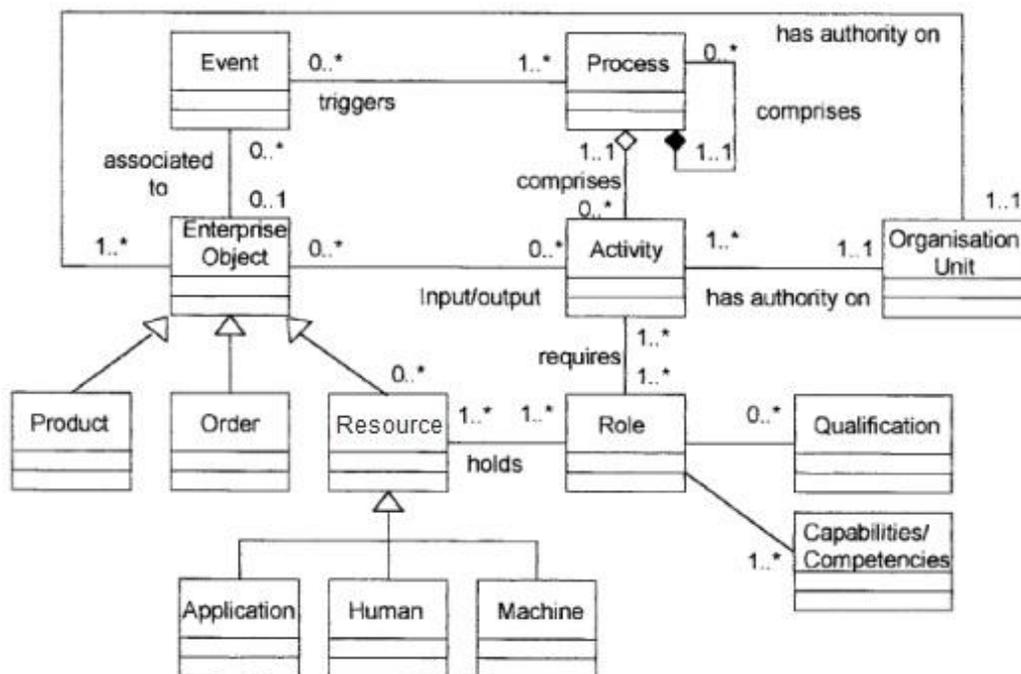


Figure 7. Les concepts de base d'UEML (Vernadat, 2002)

Dans UEML, les commandes des clients sont considérées comme des objets de l'entreprise. Nous considérons que ce sont plutôt des événements qui déclenchent des processus vu qu'elles sont externes à l'entreprise. A ce niveau, l'approche de Labrousse (2004) semble plus pertinente à notre contexte, elle sera exposée dans la prochaine section.

7.4.1. Function/Behaviour/Structure – Product/Process/Resource/External Effect (FBS-PPRE)

Labrousse (2004) utilise le concept objet d'entreprise pour encapsuler le processus, le produit et les ressources. Il définit l'objet d'entreprise en tant qu'une entité d'entreprise ou une entité contrôlée par l'entreprise qui a une réelle influence sur le comportement de cette dernière. On retient cette définition dans la suite.

La modélisation des objets d'entreprise proposée par Labrousse est complète selon les axes espace et temps. Cependant, sa mise en œuvre reste assez problématique, aussi en raison de son exhaustivité. Ainsi, le grand nombre d'objets et de relations à instancier est un frein de l'utilisation de ce modèle.

7.4.1. Modèle de l'Organisation et de la validation des structures d'entreprise (MOVES)

Bennour (2004) se base sur UEMML tout en introduisant la notion de compétence pour mesurer la performance humaine dans un processus donné. L'auteur distingue entre les processus et les objets d'entreprises qui désignent plutôt les ressources, les produits et les flux d'information (i.e. objets techniques).

Quant à notre besoin, il convient de partir du modèle le plus générique, à savoir UEMML plutôt que de reprendre une extension faite pour une application spécifique, qui est le cas de MOVES.

7.4.2. Modélisation pour l'évaluation de la performance

Le modèle conceptuel de Mauchand (2007) reprend la plupart des concepts d'UEMML avec l'introduction de la valeur. Le modèle est utilisé pour la simulation de chaînes de valeur afin d'évaluer leur performance en termes de coût. Si l'intégration entre le processus et la ressource dans ce modèle est mise en avant, celle entre le produit et la ressource n'est pas explicitée. Par ailleurs, le modèle qui reste focalisé sur la dimension économique (i.e. indicateurs de coût et délai).

Toutefois, ce modèle offre une structuration des objets de l'entreprises qui peut servir comme point de départ pour un modèle plus complet qui prend en considération, aussi la dimension

environnementale et sociale de la durabilité ainsi que la variété des produits dans un contexte de personnalisation de masse.

7.4.3. Modélisation au service du Product Life Cycle Management (PLM)

Le Duigou (2010) a proposé un cadre de modélisation faisant appel aux objets d'entreprise (i.e. produit, activités, ressources, etc.) pour l'implémentation du PLM (Product Life Cycle Management) dans les petites et moyennes entreprises. Le modèle est complet mais plutôt adapté au PLM et ne prend pas en compte les aspects dynamiques tels que les commandes des clients. Toutefois, il offre une vision plus détaillée de l'intégration processus-ressource en distinguant les entrées des sorties des activités.

7.4.4. Modélisation pour la simulation de chaînes de valeur

Daaboul (2011) utilise la notion de déclencheur, associé à l'activité pour prendre en compte certains aspects dynamiques tels que les commandes des clients. Dans son modèle conceptuel destiné essentiellement à la simulation, Daaboul (2011) sépare les composants et matériaux des ressources et les considère comme des flux physiques. D'un point de vue durabilité environnementale, il serait plus pertinent de considérer les composants et les matériaux comme des ressources vu qu'ils contribuent tout comme les autres types de ressources (ex. énergie, etc.) à l'impact environnemental du produit.

7.5. Conclusions sur la modélisation d'entreprise

Les modèles utilisés pour la description des processus de l'entreprise sont focalisés sur le concept de l'activité et représentent l'entreprise ou le système étudié en des séquences de ces activités. Cette représentation est largement utilisée dans le milieu industriel mais ne permet pas de prendre en compte tous les éléments identifiés dans la section 5. Une synthèse sur les méthodes de modélisation et méta-modèles d'entreprises est présentée dans le Tableau 1.

Les modèles faisant appel au concept d'objet d'entreprise offrent plus de généralité par rapport aux modèles décrivant les processus et fonctions de l'entreprise même si leur mise en œuvre en pratique reste difficile vu leur niveau d'abstraction élevé.

Au regard des constatations tirées de la section 5, chacun de ces modèles présente des avantages (ex. généralité, intégration activité ressource, etc.) et des limites qui se résument en une couverture partielle du produit ou une exhaustivité qui entrave la mise en œuvre.

Tableau 1: Synthèse sur les méthodes de modélisation et méta-modèles d'entreprises

Méthode/modèle	Produit	Processus	Chaîne	Commandes
IDEF	Partiel	Oui	Oui	Partiel
GRAI	Partiel	Oui	Oui	Partiel
Réseaux de Petri	Partiel	Oui	Oui	Partiel
BPMN	Partiel	Oui	Oui	Partiel
UEML	Oui	Oui	Oui	Oui
FBS-PPRE	Oui	Oui	Non	Non explicité
MOVES	Oui	Oui	Oui	Partiel
Mauchand (2007)	Oui	Oui	Oui	Oui
Le Duigou (2010)	Oui	Oui	Oui	Non
Daaboul (2011)	Oui	Oui	Oui	Oui

Dans l'ensemble, les modèles de Mauchand (2007), Daaboul (2011) et UEML répondent le plus à notre besoin. Toutefois, l'adaptation des deux premiers à des contextes spécifiques fait qu'il serait plus judicieux de repartir du modèle le plus générique, à savoir UEML et de le décliner à notre contexte afin de répondre à la question de recherche QR2.

QR2: Comment prendre en compte les inducteurs de performance de durabilité et de personnalisation de masse ?

8. Conclusions sur l'état de l'art

Suite à l'analyse de l'état de l'art de la mesure de performance en général et dans le contexte de la durabilité et de la personnalisation de masse, il s'avère judicieux de partir des trois littératures afin de construire une méthodologie pour la mesure et l'amélioration de performance tout en répondant à la question de recherche QR1 : Comment sélectionner des indicateurs de performance pour évaluer la durabilité et/ou la personnalisation de masse ?

Au niveau industriel, l'objectif est de fournir un support aux industriels lors de la construction du système de mesure de performance et la recherche de pistes d'amélioration. Cela revient à répondre à la question de recherche QR4 : Comment, dans ce contexte, aider une entreprise à trouver des pistes d'amélioration de sa performance?

L'analyse des inducteurs de performance en termes de personnalisation de masse et de durabilité pointe du doigt le besoin d'adapter les modèles d'entreprises actuels afin de fournir une modélisation au service de l'évaluation de la performance, en particulier dans le contexte de la personnalisation de masse durable. Cela permettra de répondre à la question de recherche QR2 : Comment prendre en compte les inducteurs de performance de durabilité et de personnalisation de masse ? Une telle modélisation servira également à la simulation qui, à

son tour sera utilisée pour répondre à la question de recherche QR3 : Comment intégrer le comportement dans le temps de l'entreprise dans le calcul des indicateurs de performance?

**Chapitre II: Modélisation d'entreprise
et simulation de son comportement dans
le contexte de personnalisation de masse
durable**

1. Introduction

Ce chapitre décrit les outils proposés afin de combler une partie des manques identifiés dans le chapitre précédent. La section 2 traite la question de recherche 2 : Comment prendre en compte tous les inducteurs de performance de durabilité et de personnalisation de masse ? Elle décrit la construction et les concepts d'un modèle d'entreprise pour l'évaluation de la performance des entreprises, en particulier celles qui adoptent la personnalisation de masse durable.

La section 3 traite la question de recherche 3 : Comment intégrer le comportement dans le temps de l'entreprise dans le calcul des indicateurs de performance? Elle décrit à son tour, la construction et la structure d'un modèle de simulation de l'entreprise qui repose sur le méta-modèle défini dans la section 2.

2. Modèle conceptuel d'entreprise dans le contexte de personnalisation de masse durable

Cette section se base sur l'état de l'art, en particulier les sections 5 et 6 pour proposer un modèle conceptuel afin de répondre au besoin identifié tout en partant des modèles existants.

2.1. Construction du modèle

L'état de l'art a permis d'identifier UEML en tant qu'un méta modèle d'entreprise qui répond le plus à notre besoin, à savoir une modélisation au service de la mesure de performance dans le contexte de personnalisation de masse durable.

Le modèle SMC-E est représenté en utilisant le langage de modélisation unifié (UML) (Fowler et Scott, 2003). UML est un langage de modélisation standard défini par l'Object Management Group (OMG). Plusieurs extensions de ce langage ont été développées afin de couvrir différentes applications et secteurs. Un glossaire des objets et associations UML utilisés est présenté dans le Tableau 2. Les noms des objets du modèle sont représentés en italiques.

Tableau 2: Glossaire UML (Fowler et Scott, 2003)

<i>Class</i>	A cohesive unit of Attributes and Operations.
<i>Attribute</i>	A significant piece of data owned by a Class, often containing values describing each instance of the class.
<i>Operation</i>	The signature of a Method of a Class.
<i>Association</i>	A relationship with 2 or more ends, where each end is on a class (or other classifier). Each end is called a Role, and may have a role name, Multiplicity, and may be Navigable. 2. An association is a structural relationship that specifies that the objects of one thing are connected with the objects of another.
<i>Association class</i>	A class that describes an association.
<i>Aggregation</i>	A structural relationship that specifies that one class represents a large thing which constitutes of smaller things and represents "has-a" relationship.
<i>Composition</i>	A specific type of relationship describing how one Object is <i>composed of</i> another Object; a form of Aggregation where the child object is destroyed if the parent object is destroyed.
<i>Generalisation</i>	A relationship between a specific class and a more general one.
<i>Dependency</i>	It exists between two defined elements if a change to the definition of one would result in a change to the other. In UML this is indicated by a line pointing from the dependent to the independent element.
<i>Multiplicity</i>	It specifies how many objects may be connected across an instance of an association which is written as a range of values.
<i>Instance</i>	A concrete manifestation of an abstraction to which a set of operations can be applied and which has a state that stores the effect of the operation.

Les prochaines sous-sections détaillent la construction du modèle en décrivant ses objets et leurs interrelations.

2.1.1. Performance

La performance est mesurée au travers des *indicateurs* qui sont des variables qui expriment quantitativement l'efficacité et / ou l'efficacité d'un système par rapport à une norme ou une cible donnée (Fortuin, 1988). Un *indicateur* possède une formule de calcul qui dépend des *attributs*. Ces derniers sont des *données* ou *indicateurs* de développement durable et/ou personnalisation de masse associés à des concepts du modèle (Figure 8).

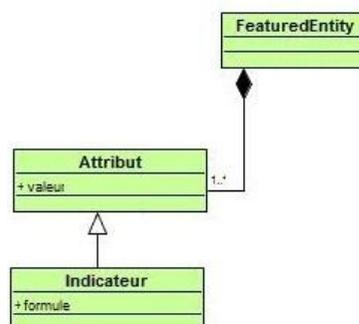


Figure 8: Modèle de performance

Les attributs appartiennent à la classe *FeaturedEntity* de laquelle héritent les objets qui en ont besoin.

2.1.2. Chaîne logistique

La Figure 9 représente le modèle de la *chaîne logistique*. Celle-ci est constituée d'un réseau de partenaires interdépendants qui travaillent ensemble pour réaliser un objectif commun, à savoir la satisfaction du client (Mentzer et al., 2001). *L'entreprise* est un acteur de la *chaîne logistique* qui peut prendre le rôle d'un fournisseur ou d'un client. Elle est une *FeaturedEntity* et peut donc posséder des attributs (ex. pays auquel elle appartient, etc.). La relation entre deux acteurs de la chaîne logistique est désignée par la classe *Logistique*. Cette dernière possède un ou plusieurs *attributs* (ex. distance entre les fournisseurs, etc.) via l'héritage de *FeaturedEntity*.

L'*Entreprise* est composée d'*unités d'organisationnelles* et d'*objets d'entreprise*. Une *Unité Organisationnelle* est un élément d'une structure organisationnelle doté de responsabilités et de pouvoirs sur des *objets d'entreprise* donnés (Vernadat, 2002). Un *objet d'entreprise* est une *FeaturedEntity*. Dans UEML, l'*objet d'entreprise* englobe le *produit*, les *ressources* et la *commande*. Tandis que Jiao et al. (2007a) distinguent la *commande* des *objets d'entreprise* vu qu'elle est plutôt un objet extérieur à *l'Entreprise* qui le traduit en une combinaison de *produits*, *processus* et *ressources*. Cette deuxième perspective semble la plus adéquate au contexte de la personnalisation de masse. Ainsi, l'*objet d'entreprise* peut être défini comme une entité de ou contrôlée par l'entreprise (Labrousse et Bernard, 2008).

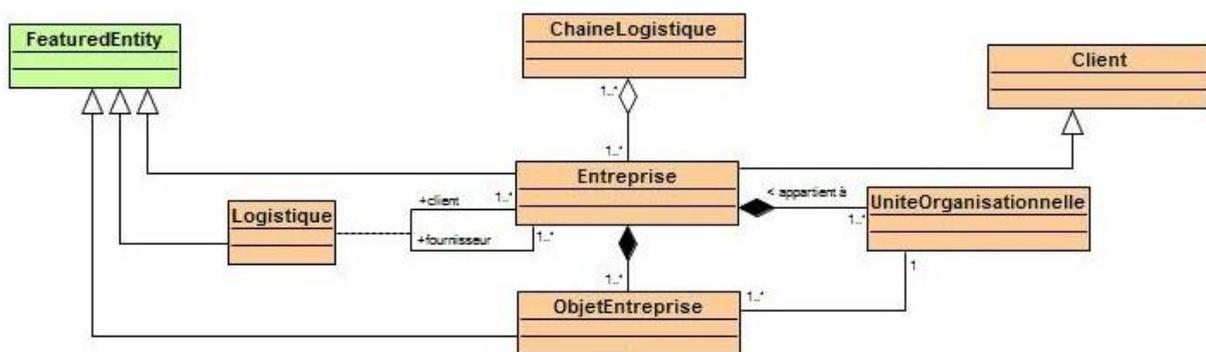


Figure 9: Modèle de chaîne logistique

2.1.3. Processus

Le *processus* est un *objet d'entreprise*, il est formé par des étapes ordonnées qui sont les *activités* (Vernadat, 2002). Une *activité* est le lieu de l'action, qui transforme des intrants en extrants pendant une durée donnée par le biais de *ressources* (Vernadat, 2002). *L'événement*

représente un fait sollicité ou pas qui déclenche un processus (Vernadat, 2002). Le modèle du processus est illustré par la Figure 10.

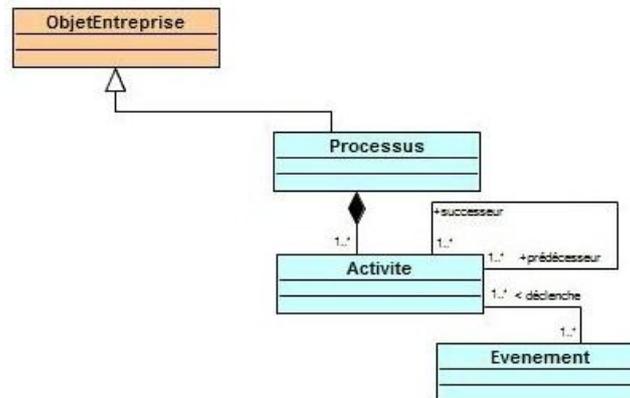


Figure 10: Modèle du processus

2.1.4. Ressource

La *ressource* est un *objet d'entreprise* qui désigne les ressources physiques et humaines en possession de *l'entreprise*. Par rapport à UEMML, nous détaillons la *ressource* en ajoutant les *composants*, le *matériau* et *l'énergie* sous l'égide de *ressource physique*. Un *composant* est constitué d'une quantité donnée de *ressources physiques* qui peuvent être de type *matériau* ou *composant*. La *ressource humaine* désigne les employés. Les autres types de ressources sont *machine* et *logiciel* (Figure 11).

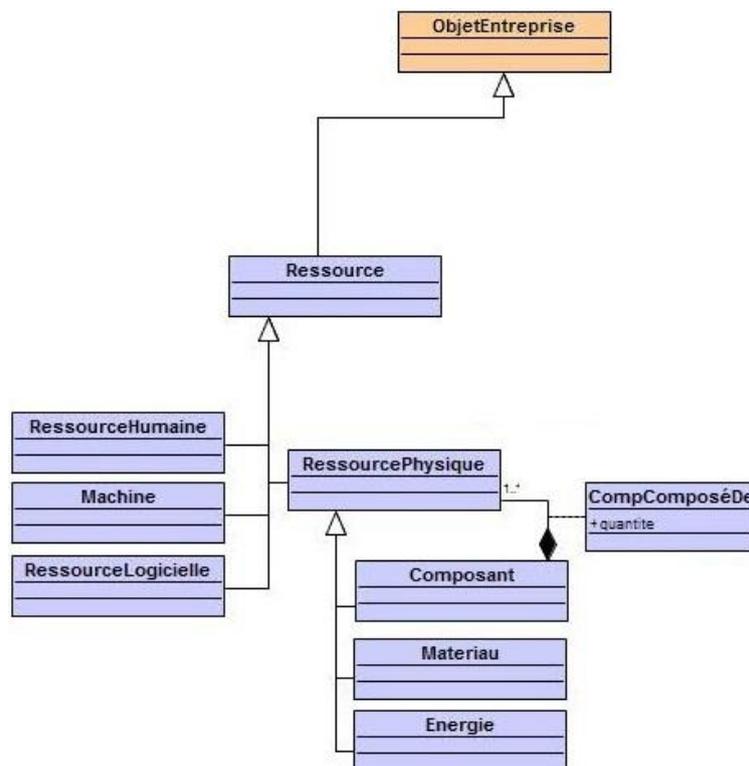


Figure 11: Modèle de ressource

2.1.5. Produit

Le *produit* est un *objet d'entreprise*, il désigne uniquement le produit final qui est une sortie du *processus*. Le *produit* est composé de *ressources physiques* (Figure 13).

2.1.6. Intégration processus-ressource

La Figure 12 représente l'intégration entre le processus et la ressource. Comme mentionné dans les sections précédentes, un défi majeur consiste à intégrer les différents *objets d'entreprise*. Cette intégration n'est pas explicitée dans UEMML. Nous basons notre proposition sur Le Duigou (2010) qui propose une intégration du *produit*, *activité* et *ressource* en détaillant l'intégration proposée par Labrousse (2004). Nous introduisons également deux classes d'association *EntreeActivite* et *SortieActivite* qui spécifient respectivement les quantités de ressource entrantes et sortantes d'une activité donnée.

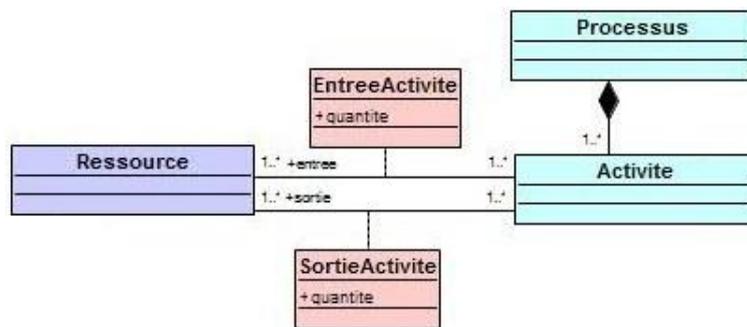


Figure 12: Intégration processus-ressource

2.1.7. Intégration produit-processus-ressource

L'association *produit-processus* est cohérente avec les principes de la plate-forme de processus (Jiao et al., 2007b); elle relie le *produit* au *processus* qui permet de l'obtenir. Le *produit* est composé de quantités données de *ressources* définies par l'attribut *quantité* de la classe *ProdComposéDe*. Dans le contexte de la personnalisation de masse, les clients commandent non seulement un article avec une quantité donnée, mais aussi avec des attributs de personnalisation comme le type de matériau, la couleur, etc. Ainsi, les attributs de personnalisation peuvent être aussi liés à des composants du produit, et pas seulement au produit final. D'où l'héritage de la classe *FeaturedEntity* qui permet à *ProdComposéDe* d'avoir des attributs (Figure 13).

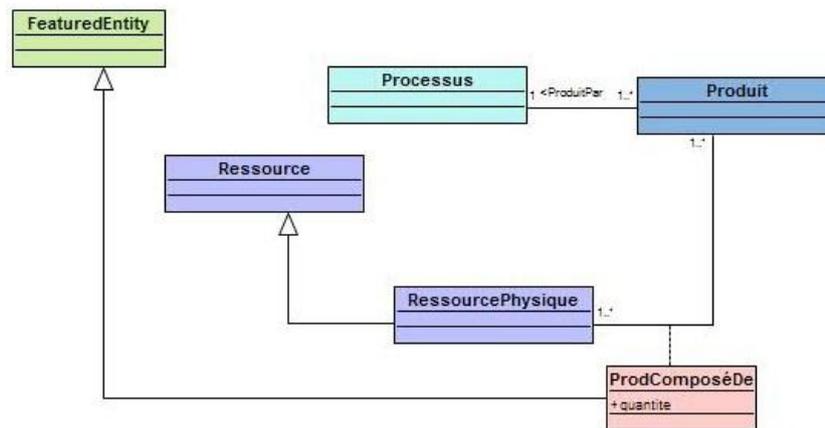


Figure 13: Intégration produit-processus-ressource

2.1.8. Commande

La *commande* du client, en tant qu'évènement, est un objet stimulant l'exécution des *activités* associé à un ou plusieurs *produits*. Elle définit des valeurs personnalisées des *attributs* liés au produit final et/ou de ses composants.

Le modèle complet est décrit par le diagramme de classes UML de la Figure 14. L'impact du gouvernement, communautés locales ainsi que les organisations non gouvernementales (ONG) n'est pas modélisé explicitement dans SMC-E vu son aspect subjectif difficile à quantifier. Ainsi la définition de relations qualitatives entre ces parties prenantes et les indicateurs de performance nécessitent des hypothèses simplificatrices introduisant beaucoup de biais alors que l'idée derrière SMC-E est la quantification des impacts du produit, processus de production et chaîne logistique sur la durabilité et la personnalisation de masse via des indicateurs quantitatifs.

Toutefois cet impact est implicitement pris en compte au moment de la définition des objectifs de l'entreprise en considérant à la fois ses intérêts économiques, les lois imposées par le gouvernement et la pression de la société en général en matière de durabilité environnementale et sociale. La définition des objectifs est détaillée dans le prochain chapitre.

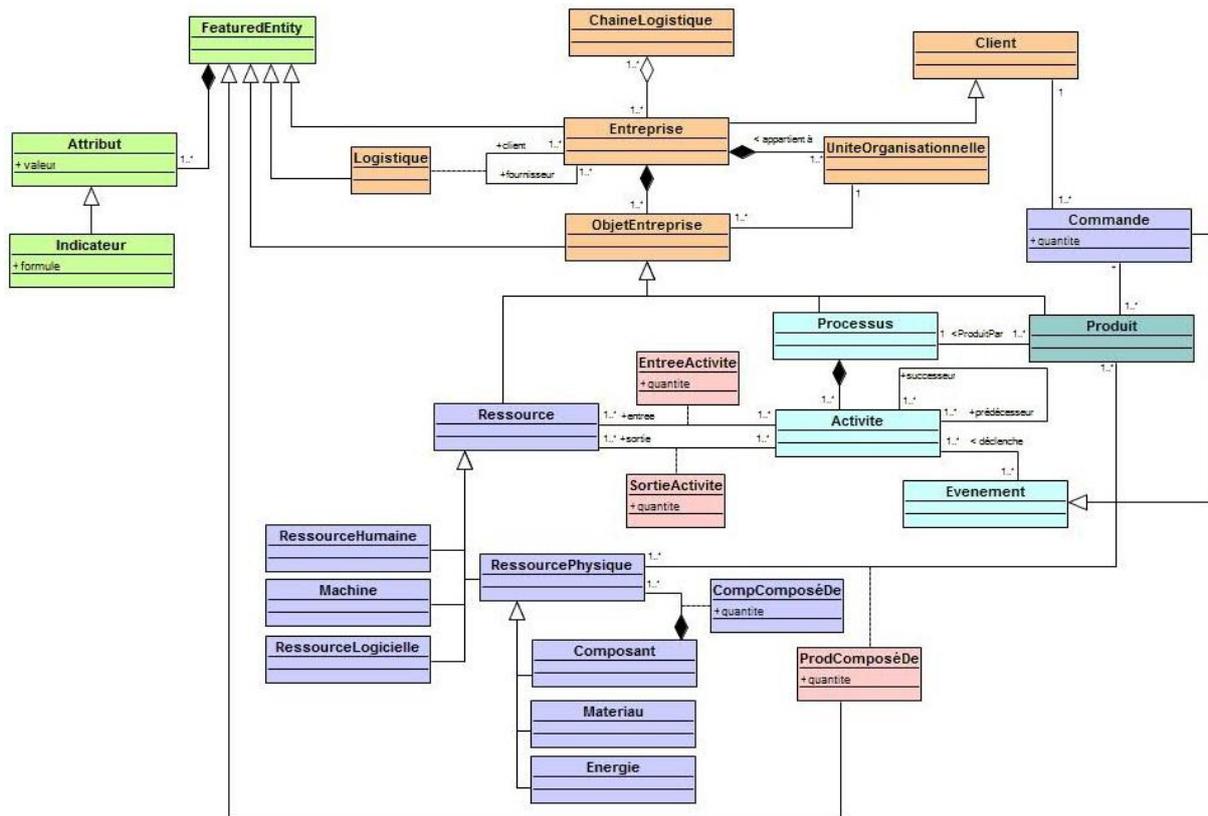


Figure 14. Modèle “Sustainable Mass Customizing - Enterprise” (SMC-E)

2.2. Pertinence du modèle

Un modèle est pertinent s’il représente le système avec une qualité suffisante (Chapurlat, 2007). Par qualité, on entend « l’ensemble des caractéristiques d’une entité qui lui confèrent l’aptitude à satisfaire des besoins exprimés et implicites » (ISO, 1994). Au regard du modèle SMC-E, l’objectif est de vérifier si à travers les objets que nous avons définis l’entreprise, en particulier celle qui adopte la personnalisation de masse durable, peut être modélisée sans perdre d’informations nécessaires à l’évaluation de la performance. Pour ce faire, nous avons défini des correspondances entre les concepts tirés de la littérature et nécessaires à la modélisation et les classes SMC-E ainsi que leurs classes parents, ceci est présenté dans le Tableau 3.

La colonne de gauche est construite en se basant principalement sur les constatations des sections du chapitre précédent sur les inducteurs de performance de durabilité et de personnalisation de masse (section 5) et l’analyse des méthodes de modélisation et méta-modèles d’entreprises (section 6).

Tableau 3: Correspondance entre les concepts de la littérature et les concepts SMC-E

	Concepts	Classes correspondants dans SMC-E	
		Classe	Classe parent
Objets d'entreprise : produit, processus, et ressources	Objet d'entreprise (Vernadat, 2002 ; Labrousse, 2004 ; Bennour, 2004 ; Mauchand, 2007)	Objet d'entreprise	-
	Produit final (Vernadat, 2002 ; Jiao et al., 2007b ; Labrousse, 2004)	Produit	Objet d'entreprise
	Ressource (Vernadat, 2002 ; Labrousse, 2004 ; Bennour, 2004 ; Mauchand, 2007)	Ressource	-
	Composant acheté (Jiao et al., 2007b)	Composant	Ressource physique
	Composant intermédiaire (Jiao et al., 2007b)	Composant	Ressource physique
	Matière première (Labrousse, 2004 ; Jiao et al., 2007b ; Le Duigou, 2010 ; Mauchand, 2007)	Matériau	Ressource physique
	Energie (Mauchand, 2007)	Energie	Ressource physique
	Matière auxiliaire	Matériau	Ressource physique
	Ressource logicielle (Labrousse, 2004 ; Mauchand, 2007 ; Le Duigou, 2010)	Ressource logicielle	Ressource
	Ressource humaine (Vernadat, 2002 ; Mauchand, 2007 ; Le Duigou, 2010)	Ressource humaine	Ressource
	Processus (Labrousse, 2004 ; Jayal et al., 2010 ; Canetta et al., 2011 ; Corti et al., 2011)	Processus	Objet d'entreprise
	Activité (Vernadat, 2002 ; Labrousse, 2004 ; Bennour, 2004 ; Le Duigou, 2010 ; Daaboul, 2011)	Activité	Processus
	Séquencement d'opérations (Jiao et al., 2007b ; Le Duigou, 2010)	Rôles <i>successeur</i> et <i>prédécesseur</i> de l'association entre activités	-
	Opération sur machine (Jiao et al., 2007b)	Activité	Processus
	Opération d'assemblage (Jiao et al., 2007b)	Activité	Processus
	Sous assemblage (Jiao et al., 2007b)	Activité	Processus
	Poste de travail (Jiao et al., 2007b ; Vernadat, 2002)	Machine	Ressource
	Temps de cycle (Jiao et al., 2007b)	Instance de « Feature »	-
	Temps d'installation (Jiao et al., 2007b)	Instance de « Feature »	-
	Besoin en ressources (Jiao et al., 2007b)	Evènement (Vernadat, 2002 ; Daaboul, 2011)	Evènement
ProdComposéDe		-	
CompComposéDe		-	
Entrée activité		-	
Sortie activité		-	
Chaîne logistique	Entreprise	Entreprise	Client
	Unité Organisationnelle (Vernadat, 2002 ; Bennour, 2004)	Unité Organisationnelle	-
	Chaîne logistique (Jayal et al., 2010 ; Canetta et al., 2011 ; Corti et al., 2011)	Chaîne logistique	-
	Liens entre acteurs de la chaîne logistique	Logistique	-
Marc	Commande (Jiao et al., 2007b ; Vernadat, 2002)	Commande	Evènement
	Client	Client	-
Performance	Indicateur (Lohman et al., 2004)	Indicateur	Feature
	Attribut de personnalisation	Feature	-
	Quantité et type de matériau	Feature	-
	Quantité et type d'énergie	Feature	-

On retrouve ainsi le produit, le processus et la ressource sous le chapeau d'objets d'entreprise. Cette classification est déjà présente dans la littérature (Vernadat, 2002; Labrousse, 2004; Bennour, 2004; Mauchand, 2007). La ressource est un objet transversal nécessaire à la modélisation, son intégration avec le produit et le processus est réalisée par les classes

définissant le besoin en ressource. Le niveau chaîne logistique est également modélisé ; non seulement les acteurs que sont les entreprises mais aussi les relations entre eux (i.e. classe *logistique*). Par ailleurs, le marché n'est pas présent en tant qu'objet à part entière du modèle mais il est décrit par les objets *commande* et *client*.

Lors de la construction du modèle, nous avons retenu la plupart des concepts de la littérature, tout en introduisant certains afin de :

- *Détailler un concept donné* : nous distinguons machine et ressource physique, composant et produit final (Jiao et al., 2007b). Par exemple, la machine en tant qu'immobilisation n'intervient dans le calcul des indicateurs environnementaux que par l'énergie et les matières premières et auxiliaires consommées, d'où l'intérêt de la séparer de ces ressources physiques.
- *Modéliser l'intégration entre deux concepts* : les classes d'association *entrée activité* et *sortie activité* modélisent l'intégration entre processus et ressource (la sortie de l'activité est une ressource ou le produit final). Tandis que les intégrations produit-ressource et composant-ressource sont décrites par les classes *ProdComposéDe* et *ComComposéDe*.
- *Rendre possible l'évaluation de performance* : les *attributs* (i.e. *Features*) sont associés aux objets d'entreprise, aux relations produit-ressource et processus-ressource et entre acteurs de la chaîne logistique. Les indicateurs sont des *attributs* ayant des formules de calcul qui dépendent à leur tour d'autres *attributs*.

2.3. Instanciation

L'instanciation consiste à créer un modèle de (ou une partie de) l'entreprise en utilisant des objets du modèle SMC-E. Toutefois, la création d'une instance nécessite beaucoup d'effort à chaque fois qu'une nouvelle instance est à créer. Cette charge peut être réduite via l'utilisation des outils S-MC-S qui offrent une modélisation cohérente avec le modèle SMC-E. La Figure 15 montre l'architecture de ces outils qui permettent de modéliser conjointement les trois niveaux : produit, processus de production et chaîne logistique. Leur atout est l'intégration de la modélisation avec l'évaluation.

Le processus d'évaluation nécessite la modélisation du produit, processus de production et chaîne logistique, cela forme un projet de modélisation stocké dans un serveur distant. Une fois la modélisation faite, l'évaluation est assurée par un autre serveur distant lié à une base de

données environnementale². Les indicateurs utilisés pour l'évaluation sont tirés du modèle d'évaluation S-MC-S (Medini et al., 2011).



Figure 15: Architecture des outils S-MC-S

Le Tableau 4 présente les correspondances entre les concepts et les associations de SMC-E et les objets utilisés dans les outils S-MC-S. Ces correspondances confirment l'hypothèse que ces outils offrent une modélisation cohérente avec SMC-E.

Tableau 4: Correspondance entre concepts SMC-E et outils S-MC-S

	Concept SMC-E	Objets utilisés dans les outils S-MC-S
Objets d'entreprise : produit, processus, et ressources	Objet d'entreprise	-
	Produit	Produit
	Ressource	Ressource
	Composant	Composant
	Matériau	Semi fini
	Energie	Energie
	Ressource logicielle	-
	Ressource humaine	Opérateur
	Processus	Processus
	Activité	Opération
	Rôles successeur et prédécesseur de l'association entre activités	Liens entre opérations
	Machine	-
	Evènement	-
	ProdComposéDe	Multiplicateur
	CompComposéDe	Multiplicateur
	Entrée activité	Quantité
	Sortie activité	Quantité
Chaîne logistique	Entreprise	Usine
	Unité Organisationnelle	-
	Chaîne logistique	Usine et fournisseurs
	Logistique	Transport
	Rôles client, fournisseur de l'association entre entreprises	Attributs de Transport
Marché	Commande	Marché
	Client	Marché
Performance	Indicateur	Indicateur
	Attribut	Attribut

² <http://www.ecoinvent.ch/>

Toutefois, à ce jour certains aspects dynamiques ne sont pas pris en compte dans ces outils. La variation du comportement de la chaîne logistique dans le temps en est l'exemple. D'où le besoin de la simulation pour pouvoir calculer certains indicateurs tels que le délai moyen de livraison au client. La simulation est particulièrement importante dans le contexte de la personnalisation de masse où la demande est assez variée et les quantités commandées sont généralement très faibles. Ces points sont développés dans la prochaine section.

3. Simulation du comportement de l'entreprise dans le contexte de la personnalisation de masse durable

3.1. Besoin de la simulation

Certains indicateurs de performance nécessitent la simulation du comportement réel de l'entreprise, tels que le délai de livraison, l'utilisation de la capacité, la fiabilité, etc. La simulation est d'autant plus importante dans le contexte de personnalisation de masse, où les attributs de personnalisation varient d'un article à l'autre.

La simulation est un moyen efficace pour analyser les changements des variables internes de la chaîne logistique et améliorer sa performance (Lee et al., 2002). En effet, les entreprises améliorent leurs performances par une évaluation continue de la valeur ajoutée dans toutes les parties de leurs processus. Jansen-Vullers et Netjes (2006) revendiquent que la simulation des processus métiers facilite leur conception et analyse. D'où l'intérêt de simuler le comportement de l'entreprise pour l'évaluation et l'amélioration de sa performance, en particulier dans le contexte de personnalisation de masse durable.

Ainsi, la simulation se doit d'imiter le comportement de l'entreprise et sa structure. Par comportement, on entend la façon de gérer les commandes et la production dans le temps. La structure est celle décrite par le modèle SMC-E qui spécifie les objets nécessaires à la modélisation et l'évaluation.

3.2. Choix de l'approche de simulation

Deux approches largement utilisées pour simuler les systèmes de production et la chaîne logistique sont la simulation à événements discrets et la simulation à base d'agents. Dans une simulation à événements discrets (SED), l'expérience des individus est modélisée au fil du temps en fonction des événements qui se produisent et les conséquences de ces événements

(Caro et al., 2010.). La SED est utilisée pour simuler des systèmes de production avec différents niveaux de détails. Elle a également été appliquée à différents secteurs et contextes (Caro et al., 2010). Arena (Rockwell Automation, 2012), FlexSim (Flexsim Software Products, Inc., 2012) et AnyLogic (AnyLogic, 2012) sont des exemples de logiciels de SED.

De l'autre côté, les systèmes multi-agents sont de plus en plus utilisés pour approcher des problèmes industriels divers. Un agent peut être défini comme une entité, théorique, physique ou virtuelle, capable d'agir sur elle-même et sur l'environnement dans lequel elle évolue et de communiquer avec d'autres agents. Son comportement est la conséquence de ses observations, des connaissances et des interactions avec d'autres agents (Labarthe et al., 2007).

Les systèmes multi-agents (SMA) ont été étroitement liés à la modélisation et la simulation de la chaîne logistique. Walsh (2001) a proposé un système multi-agents pour aider à la conception des chaînes logistiques. Il a défini des protocoles du marché permettant d'assurer une conception optimale de la chaîne logistique en gérant les conflits de ressources entre acteurs. Garavelli (2003) et Chen et Chen (2010) ont fait un pas de plus en utilisant les systèmes multi-agents pour analyser la flexibilité de systèmes de production et de chaînes logistiques. Renna et Argoneto (2010) ont couplé la négociation et la planification de la production par l'utilisation de systèmes multi-agents.

L'efficacité de l'approche basée sur les agents est prouvée par les applications multiples notamment pour modéliser et simuler la chaîne logistique en prenant en compte sa nature distribuée et son comportement dans le temps. L'autonomie des agents et leurs comportements prédéfinis permettent ainsi de faciliter la modélisation du comportement de l'entreprise et la chaîne logistique.

Le choix s'est porté sur cette approche pour simuler le comportement de l'entreprise, en particulier dans le contexte de personnalisation de masse durable. La prochaine section s'intéresse à l'évaluation des outils de simulation en se basant sur un ensemble de critères tirés de la littérature et du contexte d'étude.

3.3. Choix de l'outil de simulation

Dans cette section nous nous basons sur les travaux de Jansen-Vullers et Netjes (2006) pour définir les critères de sélection de l'outil de simulation. Jansen-Vullers et Netjes ont proposé trois critères qu'ils considèrent importants pour évaluer les outils de simulation, à savoir : capacités de modélisation, capacités de simulation et capacités d'analyse des sorties. Les

capacités de modélisation réfèrent à la façon dont un processus métier peut être modélisé. Cela inclut l'analyse d'intégrité du modèle, la flexibilité du modèle et le niveau de détail. La capacité de simulation résume la nature de la simulation (ex. simulation à base d'agent, etc.), la gestion des aspects du temps et du coût et les distributions statistiques.

Nous allons adapter cette évaluation à usage général à notre contexte en retenant les deux premiers critères utilisés par Jansen-Vullers et Netjes (2006) tout en déclinant leurs définitions. Le troisième critère ne sera pas considéré vu que l'analyse des sorties de simulation sera faite en dehors de l'outil de simulation lui-même, cela va être détaillé dans le prochain chapitre. Pour nous ce qui est important en termes de capacités de modélisation c'est : 1) la facilité de modélisation (2) et la conformité au modèle SMC-E. En ce qui concerne les capacités de simulation, nous retenons la nature de la simulation comme critère. En effet il est important de vérifier sur quelle approche de simulation repose l'outil vu que le choix de l'approche a été porté sur la simulation à base d'agents.

Par ailleurs, le coût est un critère important même s'il n'est pas accepté en tant que critère « scientifique ». Au niveau industriel, il reste un des premiers critères de prise de décision. L'importance d'un tel critère dépend aussi de la taille de l'entreprise et a plus de poids dans les petites et moyennes entreprises. Un outil de simulation qui fournit des résultats impressionnants à des coûts très élevés risque d'être inutile. Cela dit un outil parfait est celui qui remplit les deux premiers critères (i.e. capacités de modélisation et de simulation) à un moindre coût ce qui est difficile à trouver. Ainsi l'évaluation présentée ci-après sert à définir un compromis. Pour éviter la perte du temps, l'information concernant le coût est remplie seulement si la plupart des critères mentionnés ci-dessus sont satisfaits ou si les données sur le coût sont facilement accessibles.

Les résultats de l'évaluation des outils de simulation sont présentés dans le Tableau 5 qui montre bien que la plupart des outils de simulation remplissent seulement certains critères. Les « + » et « - » représentent respectivement des points forts et faibles de l'outil au regard d'un critère donné. Les points d'interrogation sont utilisés en cas de manque d'information. AnyLogic et JADE satisfont la plupart des critères au regard du besoin identifié précédemment. Cependant le coût reste un atout pour JADE qui est un outil gratuit et de plus en plus utilisé. Ainsi, le choix sera porté sur cet outil qui offre également de la flexibilité pour développer différents niveaux de granularité de l'entreprise allant de l'entreprise elle-même jusqu'aux processus et activités.

Tableau 5: Evaluation des outils de simulation

Outil	Capacités de modélisation		Capacités de simulation				Coût
	Facilité de la modélisation	Conformité au modèle SMC-E	Simulation à événements discrets	Simulation état-transition	Simulation continue	Simulation à base d'agent	
Protos	+	-	-	+	-	-	?
ARIS (Software AG, 2012)	+	-	+	-	-	-	-
FLOWer	+	-	+	-	-	-	?
Arena	+	+/-	+	-	-	-	-
CPN tools (Westergaard, 2012)	-	-	-	+	-	-	+
Vensim (Ventana Systems, 2012)	+	+/-	-	-	+	-	+
TIBCO (TIBCO Software Inc., 2012)	+	+/-	+	-	-	-	-
TopCased (Aerospace Valley, 2013)	+/-	+/-	-	+	-	-	+
AnyLogic	+	+	+	-	+	+	+/-
JADE (Java Agent DEvelopment Framework, 2012)	+	+	-	-	-	+	+
SimJADE	?	+	+/-	-	-	+	?
NetLogo (Wilensky, 2012)	+/-	-	-	-	-	+	+

3.4. Plateforme et modèle de simulation

Après avoir choisi l'approche et l'outil de simulation, nous exposons la plateforme et le modèle de simulation que nous allons utiliser.

3.4.1. Plateforme de simulation

La plateforme de simulation, JADE (Java Agent development Framework), est un cadre logiciel qui facilite le développement d'applications d'agents en conformité avec les spécifications de la « Foundation for Intelligent Physical Agents » (FIPA) qui sont des règles d'interopérabilité des agents (FIPA, 2000). La FIPA est une association internationale d'entreprises et d'organisations (à but non lucratif) partageant leurs efforts afin de produire des spécifications génériques des technologies d'agents (Bellifemine et al., 1999).

3.4.2. Architecture

La plate-forme JADE est conforme aux spécifications FIPA97 et utilise des agents pour sa gestion, à savoir l'Agent Management System (AMS), l'Agent Communication Channel (ACC) et le Directory Facilitator (DF) (Figure 16).

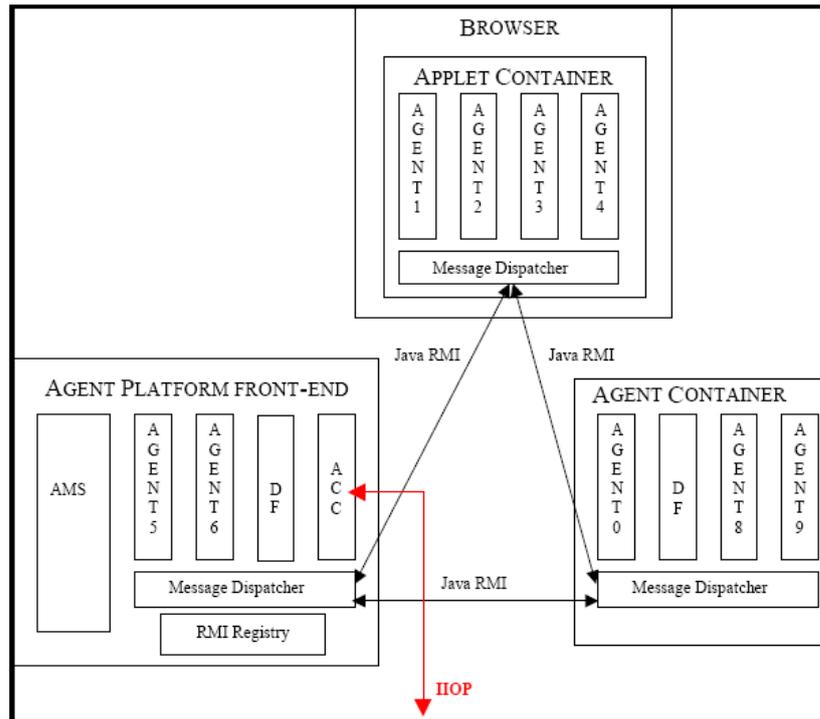


Figure 16: Architecture de la plateforme JADE (Bellifemine et al., 1999)

Le but de JADE est de simplifier le développement tout en assurant la conformité aux normes grâce à un ensemble complet de services système et d'agents :

- AMS : supervise l'enregistrement des agents, leur authentification et leur accès.
- ACC : gère la communication entre les agents.
- DF : fournit un service de pages jaunes à la plateforme.

Ces trois agents sont automatiquement créés et activés lors du lancement de JADE. L'architecture du logiciel est basée sur la coexistence de plusieurs Machines Virtuelles JAVA (VM) et la communication se fait par la méthode RMI (Remote Method Invocat) de JAVA entre machines virtuelles (VMs) différentes. Une plate-forme JADE est alors composée de plusieurs réceptacles (containers) d'agents qui peuvent être distribués ou pas dans un réseau (Bellifemine et al., 1999).

3.4.2.1. Communication entre les agents

La communication entre les agents est effectuée par l'envoi et la réception de messages en langage FIPA ACL (FIPA Agent Communication Language). Chaque agent est équipé d'une boîte de réception de messages auxquels des filtres peuvent être appliqués tels que l'expéditeur. Cela permet de contrôler les messages reçus et de choisir les opérations adéquates selon le protocole et/ou l'expéditeur du message.

FIPA spécifie un ensemble de protocoles d'interaction standards tels que « FIPA-Request », « FIPA-Query », etc. qui peuvent être utilisés en tant que références pour la construction de conversations d'agent. Pour toutes ces conversations, JADE distingue le rôle de l'agent qui commence la conversation (initiateur) du rôle de l'agent qui s'engage dans une conversation commencée par un autre agent (répondeur). Selon la structure de ces protocoles, l'initiateur envoie un message et le répondeur peut ensuite répondre par l'envoi d'un message dont le type dépend des règles de décisions qui y sont implémentées. Les messages de réponses peuvent être de plusieurs types tels que « Reject » et « Accept ». Le Tableau 25 de l'annexe B présente la liste des types de messages échangés entre les agents selon les standards de FIPA (2000).

3.4.2.2. Les comportements prédéfinis dans JADE

Les actions des agents sont implémentées au travers des comportements dits « *Behaviours* ». Ceux-ci sont des files (i.e. threads) d'exécutions logiques qui peuvent être construites de différentes façons donnant lieu à plusieurs modes d'exécution. Les comportements des agents peuvent être initialisés, suspendus et engendrés à des moments donnés (Moratis et al., 2003).

Afin de limiter le nombre de files dans la plateforme, JADE utilise une file par agent au lieu d'en utiliser une par comportement. Un ordonnanceur interne utilise une politique « round robin³ » pour gérer les comportements disponibles dans la file d'attente de l'agent. En d'autres termes les comportements en attente disposent tous de la même probabilité à être exécuté, et aucun n'est prioritaire. Les opérations de chaque comportement sont exécutées via la méthode *action ()*.

Behaviour est la classe racine de la hiérarchie des comportements et est une classe mère de *SimpleBehaviour* et *CompositeBehaviour*. Les classes qui héritent de *SimpleBehaviour* représentent des tâches simples qui peuvent être exécutées un certain nombre de fois spécifié par le développeur. Tandis que celles qui héritent de *CompositeBehaviour* permettent la gestion de comportements multiples selon une politique donnée. Les tâches réelles des agents qui sont exécutées par ce comportement ne sont pas définies dans le comportement lui-même,

³ En informatique, le Round Robin consiste à affecter un délai standard à chaque tâche dans la file d'attente à exécuter par le processeur. Après ce délai la tâche est préemptée et ajoutée à la fin de la file d'attente.

mais à l'intérieur de ses classes filles. La liste des comportements utilisée dans JADE est présentée dans le Tableau 26 de l'annexe B.

3.4.3. Structure du modèle de simulation

Le modèle SMC-E fournit une base pour la modélisation et la simulation, en particulier dans le contexte de personnalisation de masse. Il est toutefois indépendant de la plateforme de simulation d'où le besoin d'identifier des correspondances entre ses objets et ceux de la plateforme choisie afin de pouvoir l'instancier (Tableau 6).

Tableau 6: Correspondance entre SMC-E et la plateforme de simulation

SMC-E	Plateforme de simulation
Chaîne logistique	Groupe d'agents
Entreprise	Agent
Unité organisationnelle	Règle de décision
Logistique	Logistique
Commande	Commande
Client	Agent
Objet d'entreprise	Objet d'entreprise
Produit	Produit
Processus	Processus
Activité	Activité
EntréeActivité	EntréeActivité
SortieActivité	SortieActivité
Événement	Message ACL
Ressource	Ressource
« Feature »	Attribut
Indicateur	Indicateur

Une fois la correspondance établie, le modèle de simulation (SMC-E adapté à la plateforme) peut être instancié par le développement du code décrivant sa structure et les règles de décisions définissant le comportement du système multi-agents (Figure 17).

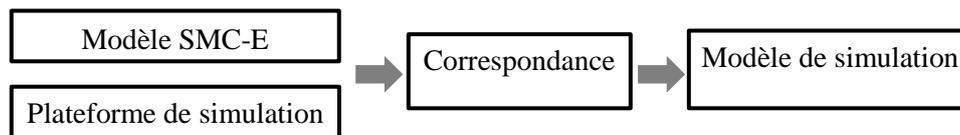


Figure 17: Passage du modèle SMC-E au modèle de simulation

Le modèle de simulation garde la structure du modèle SMC-E qui prend en considération l'aspect dynamique via l'intégration de l'objet « *Evènement* » désigné ici par *Message ACL*. Le comportement dans le temps des agents qui représentent les entreprises dépend des *règles de décisions* qui sont l'équivalent de *l'unité organisationnelle* dans SMC-E. Le modèle de simulation est décrit par le diagramme de classe UML de la Figure 18.

La simulation repose ainsi sur les trois types d'agents : *Client*, *Entreprise* et *Fournisseur*, décrits dans le Tableau 7. Ces agents manipulent des objets (ex. commande) en utilisant des

règles de décision codées en Java et communiquent entre eux en utilisant les messages ACL. Les indicateurs sont associés à ces agents et ils dépendent des propriétés (équivalents aux *attributs* dans SMC-E) des produits, processus et ressources.

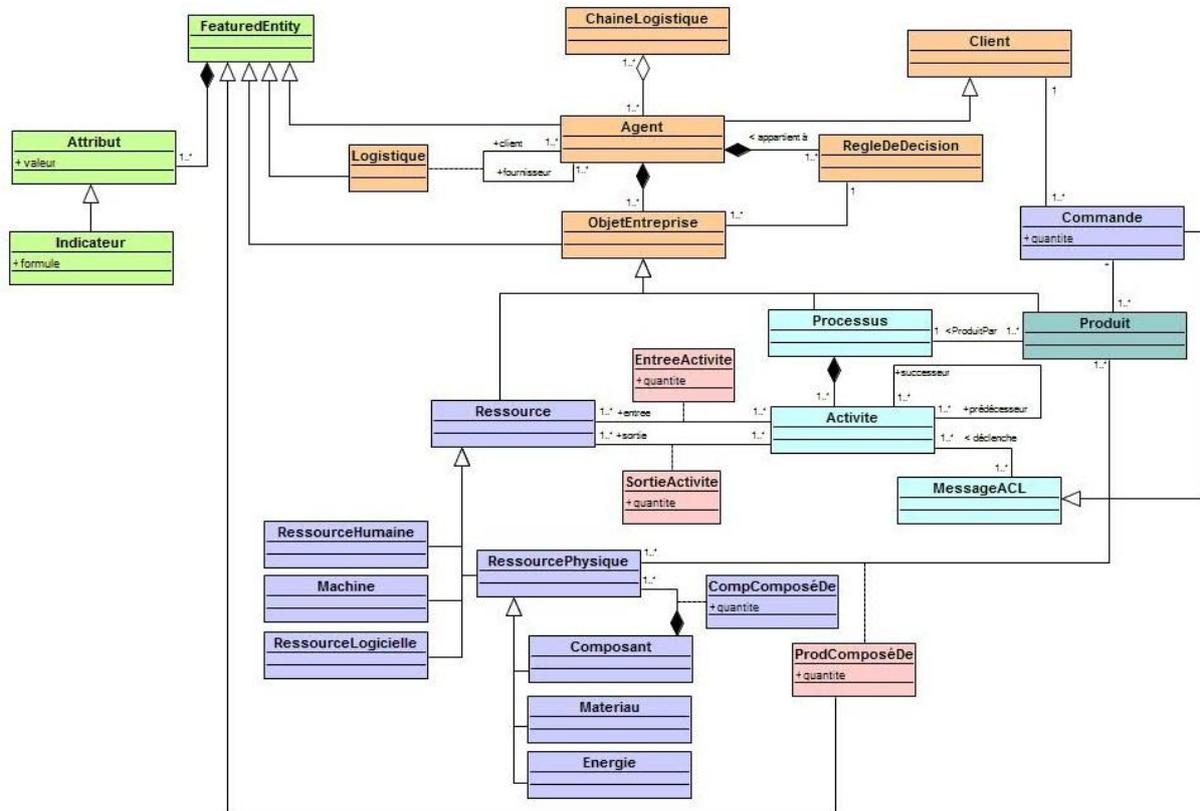


Figure 18: Modèle de simulation

Tableau 7: Description des agents

Agent : Client
<i>Description</i> : joue le rôle des clients et génère des ordres avec des valeurs d'attributs de personnalisation différents.
<i>Responsabilités</i> : génération des commandes avec des attributs de personnalisation, assurée par un comportement de type <i>TickerBehaviour</i>
Agent : Entreprise
<i>Description</i> : représente l'entreprise étudiée.
<i>Responsabilités</i> :
<ul style="list-style-type: none"> - Initialisation des stocks, assurée par la procédure <i>Init</i> - Réception des commandes assurée par <i>OrdersReceiver</i> de type <i>CyclicBehaviour</i> - Traitement des commandes assurée par <i>ProcessorBehaviour</i> de type <i>TickerBehaviour</i>. - Livraison des commandes assurée par <i>DeliveryBehaviour</i> de type <i>CyclicBehaviour</i>.
Agent : Fournisseur
<i>Description</i> : joue le rôle du fournisseur de matière première, composante et/ou activités sous-traitées.
<i>Responsabilités</i> :
<ul style="list-style-type: none"> - Réception et confirmation des commandes de l'agent <i>Entreprise</i>, assurée par un comportement de type <i>CyclicBehaviour</i>.

3.4.4. Comportement du système à simuler

Le comportement typique du système est décrit brièvement par le diagramme de séquence de la Figure 19. Les flèches continues représentent des demandes de la part des agents *initiateurs* (du client ou de l'entreprise) tandis que les flèches interrompues représentent les réponses à ces demandes qui peuvent être des confirmations ou envoi de matières, composants ou produits. Ces réponses proviennent des agents *répondeurs*.

Les conditions de l'exécution des actions (ex. commander de la matière première) sont représentées par du texte entre accolades. Les lignes interrompues représentent les lignes de vie des acteurs (client, entreprise et fournisseur). Les rectangles vides représentent l'activité de ces acteurs.

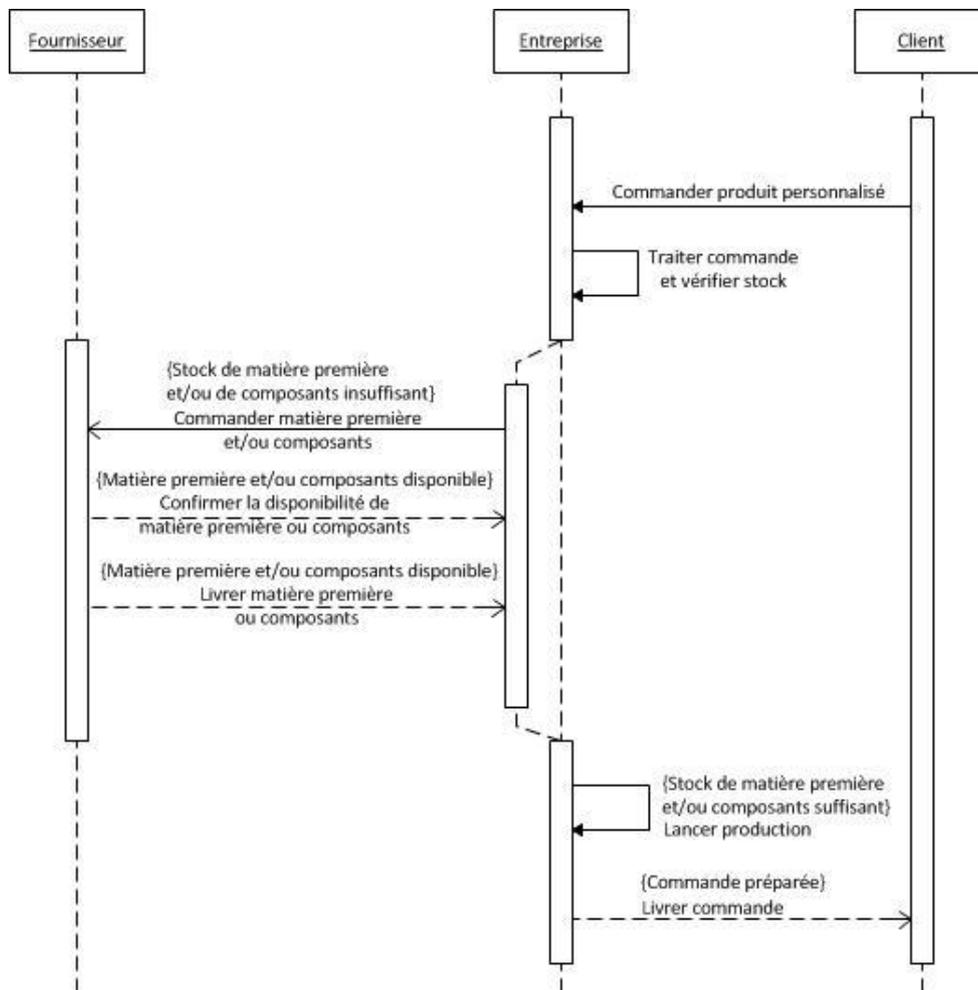


Figure 19: Comportement du système multi-agent

Le processus de traitement d'une commande se déclenche par sa réception de la part du client. A ce niveau l'hypothèse est que *la configuration du produit est faite et la commande est confirmée*. Toutefois, les attributs de personnalisation nécessitent que chaque commande soit

traitée de façon à définir et/ou mettre à jour les charges de production des composants personnalisés. A la réception de la commande du client par l'entreprise, le comportement *OrdersReceiver* est activé pour décortiquer cette commande et définir les besoins en composants et/ou en matière première. Selon la disponibilité des stocks l'entreprise peut commander de la matière première et/ou des composants. Le fournisseur se doit de confirmer la disponibilité de ces derniers préalablement à la livraison. Une fois la matière première et/ou les composants reçus ou si les stocks de l'entreprise sont suffisants, cette dernière peut lancer la production gérée par *ProcessBehaviour*. En parallèle à cela, *DeliveryBehaviour* vérifie régulièrement si des commandes sont prêtes à la livraison et livre au client si c'est le cas.

Par ailleurs, les activités d'achat, de production et de livraison sont modélisées avec des comportements de type *WakerBehaviour*. La charge de production est mise à jour dynamiquement sur la base de la date de disponibilité du système de production en prenant en compte sa charge actuelle, la capacité du processus de production et le délai de production associé au composant à produire.

La charge de production Ch est mise à jour à l'arrivée de chaque commande ; Pour une commande $(c + 1)$ donnée, la charge Ch_{c+1} est la somme du délai calculé à la réception de la commande précédente Ch_c et le temps nécessaire pour satisfaire $(c + 1)$. Ce dernier est le produit de la quantité nécessaire et le délai du processus de production (Eq. 1). La date de disponibilité du système de production $Disp_{c+1}$ calculée à la réception de la commande $(c + 1)$ est calculée selon Eq. 2. $Disp_c$ est la date de disponibilité du système de production calculée à la réception de la commande c . *CurrentTime* est la date au moment de la mise à jour de la date de disponibilité. Dans la simulation, le temps est géré par JADE, donc cette date correspond à l'heure du système d'exploitation.

$$Ch_{c+1} = Ch_c + Q_{c+1} \times Delai_{process} \quad (1)$$

$$Disp_{c+1} = Disp_c + Ch_{c+1} - CurrentTime \quad (2)$$

La communication entre l'entreprise, le client et les fournisseurs est assurée par des messages ACL ayant différents types ; les messages provenant du client sont de type *Request*. Des messages de type *Confirm* sont utilisés par les fournisseurs pour confirmer la disponibilité de la matière première et les composants. Des messages de type *Inform* servent à annoncer la réception de la matière, des composants (reçus par l'entreprise) et du produit final (reçu par le client). Plus de détails sur le mode de fonctionnement de ces trois types d'agents se trouve dans l'annexe C.

Le modèle actuel permet de simuler le comportement de la chaîne logistique en se rapprochant du contexte de la personnalisation de masse. En s'intéressant au côté dynamique de la chaîne logistique, le modèle fournit un complément à la modélisation en vue d'évaluer la performance via les indicateurs de durabilité et de personnalisation de masse.

4. Conclusion

Dans ce chapitre, un modèle conceptuel de l'entreprise proposé pour la personnalisation de masse durable est construit et a fourni les bases pour la construction du modèle de simulation. Ce dernier fait appel aux systèmes multi-agents pour simuler le comportement de l'entreprise, en particulier dans le contexte de la personnalisation de masse durable. Le modèle conceptuel et le modèle de simulation ont permis de répondre aux questions de recherche 2) Comment prendre en compte les inducteurs de performance de durabilité et de personnalisation de masse ? Et 3) Comment intégrer le comportement dans le temps de l'entreprise dans le calcul des indicateurs de performance?

Toutefois un support méthodologique est nécessaire afin de sélectionner et prioriser les indicateurs de performance dans un contexte donné et utiliser au mieux la modélisation et la simulation pour évaluer et améliorer la performance. Cela revient à répondre aux questions de recherche 1) Comment sélectionner des indicateurs de performance pour évaluer la durabilité et/ou la personnalisation de masse ? Et 4) Comment, dans ce contexte, aider une entreprise à trouver des pistes d'amélioration de sa performance ? Ces deux questions sont traitées dans le prochain chapitre.

**Chapitre III: Méthodologie générale pour
l'évaluation et l'amélioration de la
performance des entreprises dans le
contexte de personnalisation de masse
durable**

1. Introduction

Ce chapitre traite la problématique de recherche principale qui se résume dans la question suivante : Comment aider les entreprises, faisant de la personnalisation de masse et visant à assurer un développement durable, à mesurer et améliorer leurs performances ?

Les questions de recherche 2 et 3 ont été traitées dans le chapitre précédent dont les résultats : modèle SMC-E et système multi-agents, sont utilisés dans ce chapitre qui propose une méthodologie générale pour l'évaluation et l'amélioration de la performance. La modélisation offerte par les éditeurs S-MC-S ainsi que le modèle de simulation sont conformes au modèle SMC-E décrit dans le chapitre précédent. La méthodologie proposée est décrite par le diagramme IDEF0 de la Figure 20.

La méthodologie est formée de 2 phases conçues de façon à répondre aux questions de recherche, 1) Comment sélectionner des indicateurs de performance pour évaluer la durabilité et/ou la personnalisation de masse ? Et 4) Comment aider une entreprise à trouver des pistes d'amélioration de sa performance?

Ces deux questions sont traitées dans les sections 2 et 3, respectivement tandis que la section 4 présente un démonstrateur qui a été développé dans le but d'intégrer les outils utilisés par la méthodologie et automatiser certaines de ses étapes.

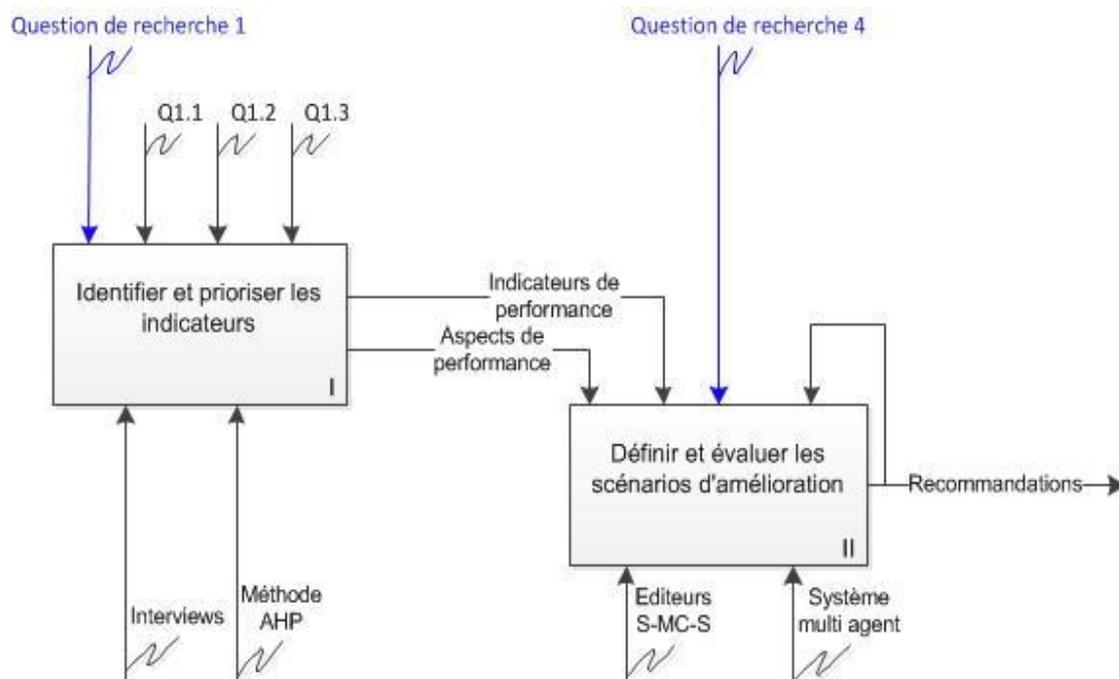


Figure 20: Etapes de la méthodologie proposée

2. Identifier et prioriser les indicateurs

Cette phase traite la première question de recherche en trois étapes décrites par le diagramme IDEF0 de la Figure 21. Afin d'élucider cette première sous-problématique, la question de recherche 1 a été détaillée en trois sous-questions (Figure 20) :

Q1.1 : Quels sont les objectifs de l'entreprise ? Et comment les atteindre ?

Q1.2 : Quelles sont les aspects de performance (i.e. zones de succès) de l'entreprise ?

Q1.3 : Quels sont les indicateurs les plus appropriés aux aspects de performance identifiés ?

Ces sous-questions sont traitées dans les trois prochaines sections représentant chacune une étape de la phase I de la méthodologie générale. Cette phase est basée principalement sur des interviews, de préférence avec le chef ou un cadre de l'entreprise (étape I.1). Ce choix de l'interlocuteur est expliqué par la nécessité de partir des objectifs à l'échelle de l'entreprise pour identifier et prioriser les indicateurs de performance (étape I.3) en passant par l'identification et la priorisation des aspects de performances de l'entreprise (étape I.2).

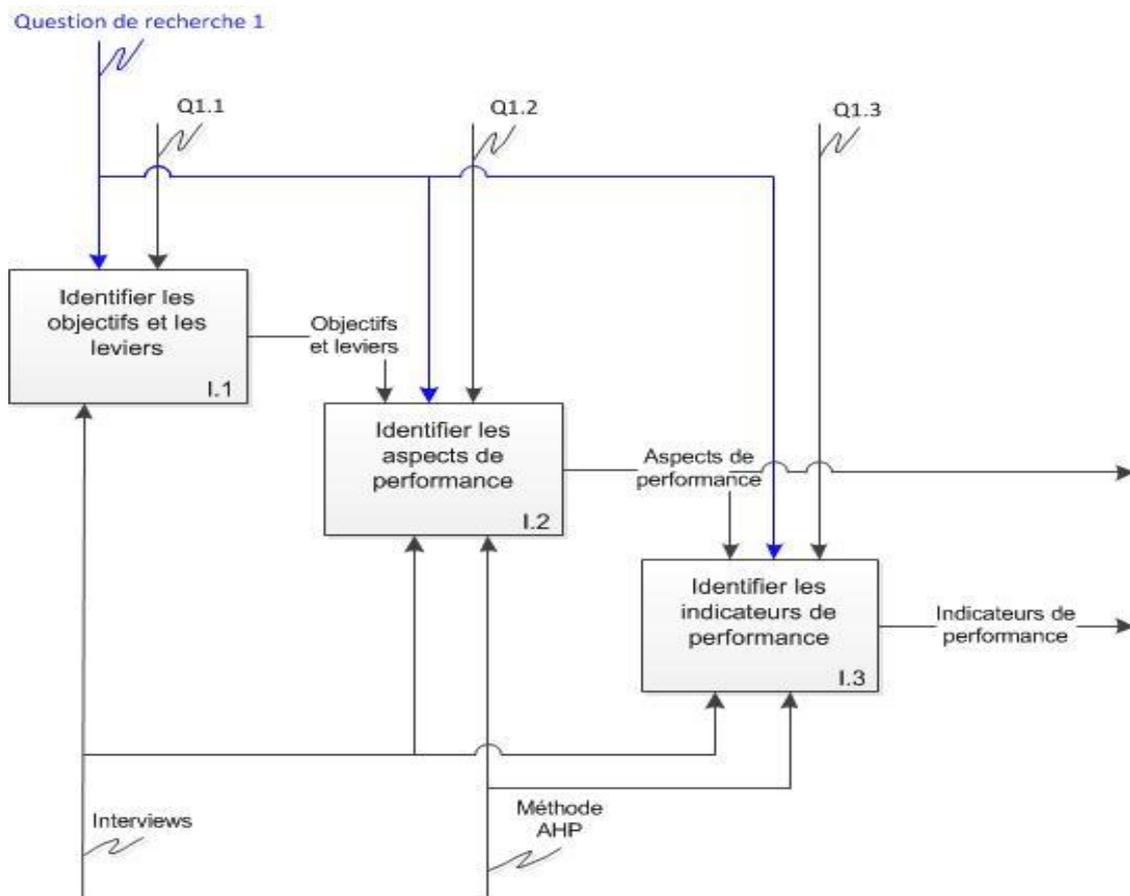


Figure 21: Identifier et prioriser les indicateurs

Comme on se limite principalement aux indicateurs S-MC-S qui ont été sélectionnés et développés suivant un processus rigoureux, l'objectif des interviews est réduit à la priorisation des indicateurs de performance et non pas à l'identification, qui a été réalisée dans le cadre du projet S-MC-S.

Les interviews se déroulent selon trois phases : la première consiste à des questions ouvertes sur les objectifs de l'entreprise (ex. réduction des émissions, coûts, etc.). Les réponses sont traitées par la suite et une courte liste d'objectifs est établie. L'idée derrière cette étape est de stimuler la pensée de l'interlocuteur et l'aider à clarifier les différentes priorités en matière de durabilité économique, environnementale et sociale. Cela est très important pour la suite de l'interview ; ces objectifs seraient les critères implicites à considérer dans les étapes I.2 et I.3.

Ces deux étapes se basent sur des comparaisons par paires des aspects et indicateurs de performance, respectivement. Ensuite les résultats sont traités par l'utilisation de la méthode AHP (Saaty, 2008) afin d'obtenir une liste d'indicateurs avec des poids, qui reflètent leur importance au regard des objectifs de l'entreprise.

2.1. Identifier les objectifs et les leviers

Cette étape permet de répondre à Q1.1. En d'autres termes, le but est de définir les objectifs stratégiques et les décomposer en sous-objectifs afin de décrire clairement la vision de l'entreprise, et d'identifier les leviers qui permettent de les atteindre. Pour une entreprise adoptant la personnalisation de masse et engagée sur la voie du développement durable, un objectif générique est l'amélioration de la performance de personnalisation de masse et de durabilité. Cette étape vise à aider l'interlocuteur à clarifier les enjeux de l'entreprise au regard de la durabilité et de la personnalisation de masse. Ainsi la formulation des objectifs en des points précis facilite la priorisation des zones de succès (i.e. aspects de performance) de l'entreprise, qui fera l'objet de la prochaine étape.

2.2. Identifier les aspects de performance

L'objectif de cette étape est de répondre à Q1.2. Il s'agit à ce niveau d'identifier les aspects de performances les plus pertinents à l'entreprise. Cette étape repose sur des interviews avec des experts de l'entreprise dont l'objectif est de faire une comparaison par paire des aspects de performance identifiés au début. La méthode AHP est utilisée pour définir le poids de chacun

de ces aspects de performance. Ensuite, l'utilisateur peut se contenter, dans un premier temps, des aspects les plus pertinents et choisir de les traiter en priorité.

La matrice P est le premier résultat de la comparaison par paire des aspects de performance entre eux et elle représente leurs importances relatives. Elle est de taille $n \times n$, où n est le nombre d'aspects de performance. Dans cette matrice, α_{ij} représente l'importance relative de l'aspect de performance i par rapport à l'aspect de performance j (Eq. 3). $Vect_{asp}$ est le vecteur des poids relatifs des aspects de performance (Eq. 5). Il est formé par les valeurs A_i calculées selon Eq. 4.

$$P = \begin{pmatrix} \alpha_{11} & \cdots & \alpha_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \alpha_{n1} & \cdots & \alpha_{nn} \end{pmatrix}, \alpha_{ij} \in]0,9] \quad (3)$$

$$A_i = \frac{\sum_{j=1}^n \left(\frac{\alpha_{ij}}{\sum_{i=1}^n \alpha_{ij}} \right)}{n}, i \in N, i \in \{1..n\} \quad (4)$$

$$Vect_{asp} = \begin{pmatrix} A_1 \\ \vdots \\ A_n \end{pmatrix} \quad (5)$$

2.3. Identifier les indicateurs de performance

Cette étape répond à la sous-question Q1.3. Pour chacun des aspects de performance identifiés, il s'agit de prioriser les indicateurs de performance selon leurs pertinences à ces aspects. La méthode AHP est utilisée pour définir le poids de chacun de ces indicateurs.

La matrice Q_k est le premier résultat de la comparaison par paire des indicateurs de performance pour un aspect de performance k . Elle est de taille $m \times m$, où m est le nombre d'indicateurs de performance. Dans cette matrice, $\omega_{ij,k}$ représente l'importance relative de l'indicateur de performance i par rapport à l'indicateur de performance j au regard de l'aspect de performance k (Eq. 6).

Q' est la matrice des poids relatifs des indicateurs de performance (Eq. 8). Chacune de ses colonnes k représente les poids relatifs des indicateurs pour un aspect de performance k . La matrice est formée par les valeurs Ω_{ik} calculées selon Eq. 7. $Vect_{ind}$ est le vecteur des poids relatifs des indicateurs de performance (Eq. 9). Il est obtenu en multipliant Q' par $Vect_{asp}$, qui est calculé à l'étape précédente.

$$Q_k = \begin{pmatrix} \omega_{11,k} & \cdots & \omega_{1m,k} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \omega_{m1,k} & \cdots & \omega_{mm,k} \end{pmatrix}, \omega_{ij,k} \in]0,9], k \in \{1..n\} \quad (6)$$

$$\Omega_{ik} = \frac{\sum_{i=1}^m (\frac{\omega_{ij,k}}{\sum_{i=1}^m \omega_{ij,k}})}{n}, i, k \in \{1..m, 1..n\} \quad (7)$$

$$Q' = \begin{pmatrix} \Omega_{11} & \cdots & \Omega_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \Omega_{m1} & \cdots & \Omega_{mn} \end{pmatrix} \quad (8)$$

$$Vect_{ind} = Q' \times Vect_{asp} = \begin{pmatrix} W_1 \\ \vdots \\ W_n \end{pmatrix} \quad (9)$$

Les étapes I.1, I.2 et I.3 permettent d'obtenir une liste d'indicateurs avec des poids donnés, ce qui permet à l'utilisateur de se focaliser sur les indicateurs les plus importants et lui donne la possibilité d'agréger les indicateurs selon les priorités de l'entreprise, cela fournit un support au cadre et/ou expert au moment de la prise de décision.

3. Définir et évaluer les scénarios d'amélioration

Cette phase permet de répondre à la question de recherche 4 par l'utilisation de la modélisation, la simulation et le diagramme d'influence. La modélisation et la simulation ont fait l'objet du chapitre précédent qui décrit la construction d'un modèle conceptuel d'entreprise dans le contexte de personnalisation de masse durable et le modèle de simulation correspondant. L'objectif est d'évaluer et améliorer la performance liée à une configuration formée par le produit, le processus de production et la chaîne logistique avec prise en compte du contexte de l'entreprise (Figure 22). Cela revient à répondre aux trois questions suivantes:

Q2.1: Quelle est la performance de la configuration actuelle formée par le triplet "produit, processus de production et chaîne logistique"?

Q2.2: Quel(s) est/sont le(s) scénario(s) d'amélioration possible(s)?

Q2.3: Quels sont les écarts entre la performance du/des scénario(s) futur(s) et celle du scénario actuel?

La réponse à Q2.1 est apportée par l'étape II.2 qui consiste à modéliser et évaluer l'état actuel. Q2.2 est traitée dans les étapes II.1 et II.3 qui consistent à leur tour en 1) l'instanciation d'un diagramme d'influence retraçant les liens de causalité entre les indicateurs et les inducteurs de performance moyennant les poids définis dans la phase I de la méthodologie 2) Et la

modélisation et l'évaluation de l'état futur. L'étape II.4, analyse des résultats, permet de répondre à la question Q2.3 et fournit des recommandations au regard des scénarios d'amélioration.

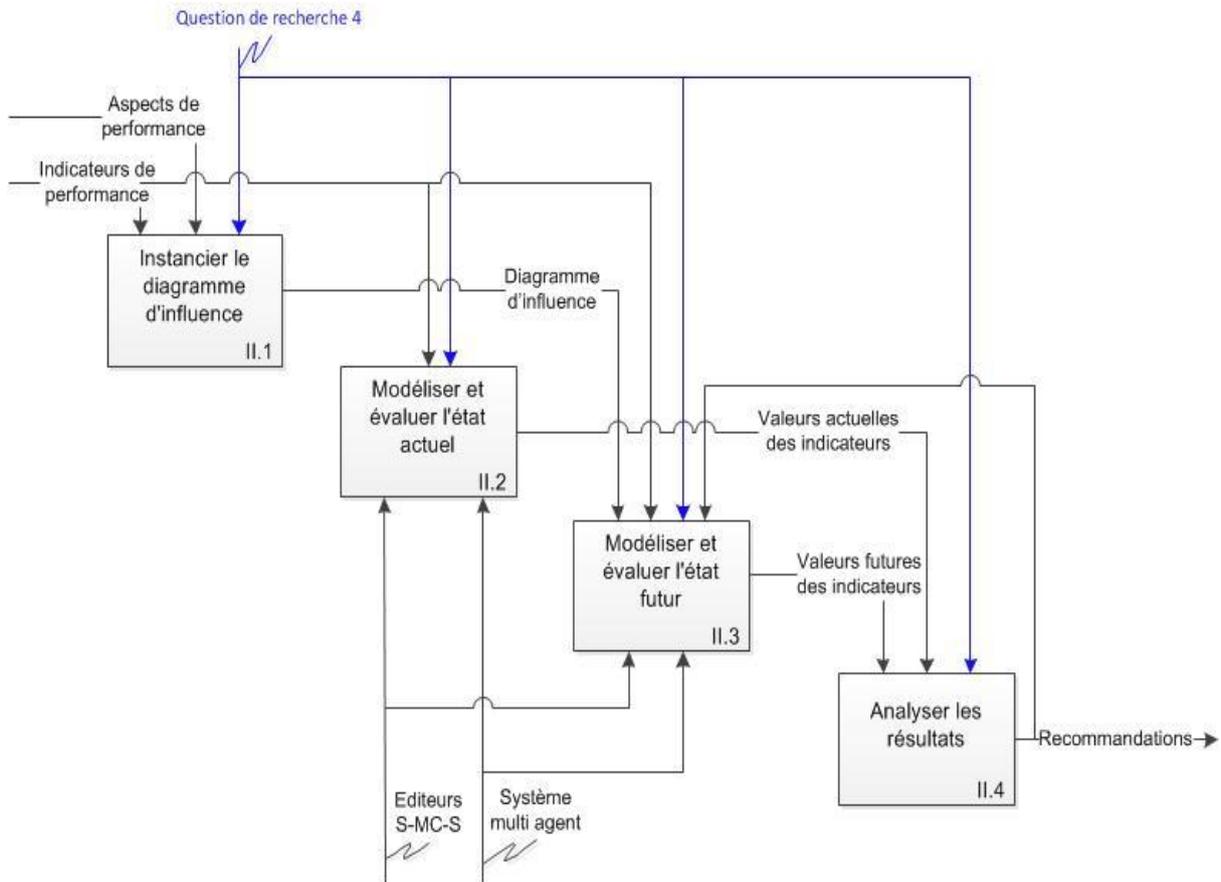


Figure 22: Définir et évaluer les scénarios d'amélioration

3.1. Instancier le diagramme d'influence

Cette étape consiste à visualiser les liens entre indicateurs et inducteurs de performance situés aux niveaux : produit, processus de production et chaîne logistique. Les indicateurs, les inducteurs et les aspects de performance et les liens entre eux forment le diagramme d'influence.

Le développement et/ou l'analyse des formules des indicateurs contribue à l'identification de nouveaux inducteurs de performance. Cela aide à contrôler les valeurs des indicateurs et donner aux utilisateurs la possibilité de les améliorer. Daaboul et al. (2011) ont utilisé un

réseau d'influence pour retracer l'impact de la position du CODP⁴ (Customer Order Decoupling Point) sur la valeur dans le contexte de la personnalisation de masse. Le réseau couvre un large périmètre des facteurs influant la valeur perçue par le client, cependant le fait d'introduire des grandeurs quantifiables avec des paramètres subjectifs rend plus difficile l'utilisation du réseau en pratique.

Dans le cadre de ces travaux, nous proposons un diagramme d'influence qui contient des indicateurs quantitatifs uniquement afin de renforcer son utilité, qui réside dans l'identification des pistes d'amélioration des valeurs des indicateurs.

Le point de départ pour construire le diagramme d'influence est le modèle d'évaluation S-MC-S où des indicateurs de durabilité et de personnalisation ont fait l'objet d'un processus de sélection et de développement rigoureux (Medini et al., 2011). Les définitions, les formules simplifiées ainsi que les unités de mesure de ces indicateurs sont présentées dans l'annexe A.

Les formules des indicateurs de performance ont été développées en se basant sur le cadre d'évaluation S-MC-S présenté sur l'extrait dans la Figure 23 qui croise les activités de conception et les indicateurs avec une perspective cycle de vie.

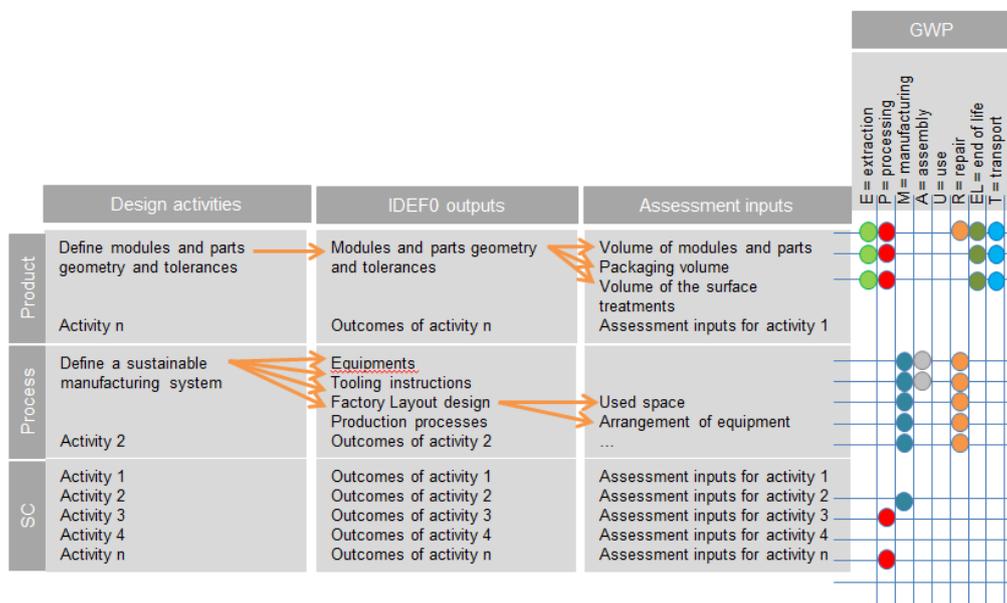


Figure 23: Cadre d'évaluation S-MC-S

Chacun des indicateurs dépend d'un certain nombre d'activités de conception du produit, processus de production et de la chaîne logistique. Cette dépendance se concrétise par les

⁴ Le CODP est le point qui sépare la production sur stock de la production à la commande (Ji et al, 2007)

sorties de ces activités qui forment des entrées aux formules d'indicateurs. Ceci est illustré par l'exemple de l'indicateur *Global Warming Potential* qui dépend entre autres, du volume des composants, de leurs densités, et du type du matériau. Ces données, qui sont définies au moment de la conception, forment des variables d'action permettant d'améliorer cet indicateur.

Pour chacun des indicateurs non seulement le cadre d'évaluation a servi mais aussi des recherches dans des bases de données environnementales et articles scientifiques en la matière. Ces recherches permettent de prendre en compte le maximum d'inducteurs pour un indicateur donné.

Afin de construire le diagramme d'influence, les inducteurs de performance ont été listés en partant des formules des indicateurs pour être groupés ensuite en trois niveaux correspondant aux : produit, processus de production et chaîne logistique. Cela permet d'aider l'utilisateur à repérer de façon plus rapide les inducteurs associés à un indicateur donné. Le croisement entre les inducteurs et les indicateurs est détaillé dans le Tableau 8. Chaque ligne du tableau correspond aux influences des inducteurs sur un indicateur de performance donné.

Toutefois, une représentation sous forme de diagramme d'influence donne plus de support à l'utilisateur en clarifiant les causalités entre les indicateurs et les inducteurs. La Figure 24 représente le diagramme d'influence obtenu en reprenant les relations de causalité indiquées par des croix dans le Tableau 8. Les nœuds correspondants aux inducteurs de performance sont colorés en vert pour le niveau produit, bleu pour le niveau processus de production et violet pour le niveau chaîne logistique.

Une telle représentation permet à l'utilisateur d'identifier pour chaque indicateur les inducteurs ou autres indicateurs influents. Toutefois, le défi majeur dans l'utilisation du diagramme réside dans les dépendances multiples des indicateurs et des inducteurs et les interdépendances de chacun des deux, qui ne sont pas traitées dans la version actuelle du diagramme.

L'instanciation de ce diagramme d'influence consiste à le mettre à jour en introduisant les poids des aspects et indicateurs de performance qui sont la sortie de la phase I de la méthodologie. Cela permet d'identifier les aspects et indicateurs de performance ayant plus de poids.

Le diagramme d'influence générique permet de donner une vision globale sur les différents liens de causalité entre inducteurs et indicateurs de performance et les importances relatives

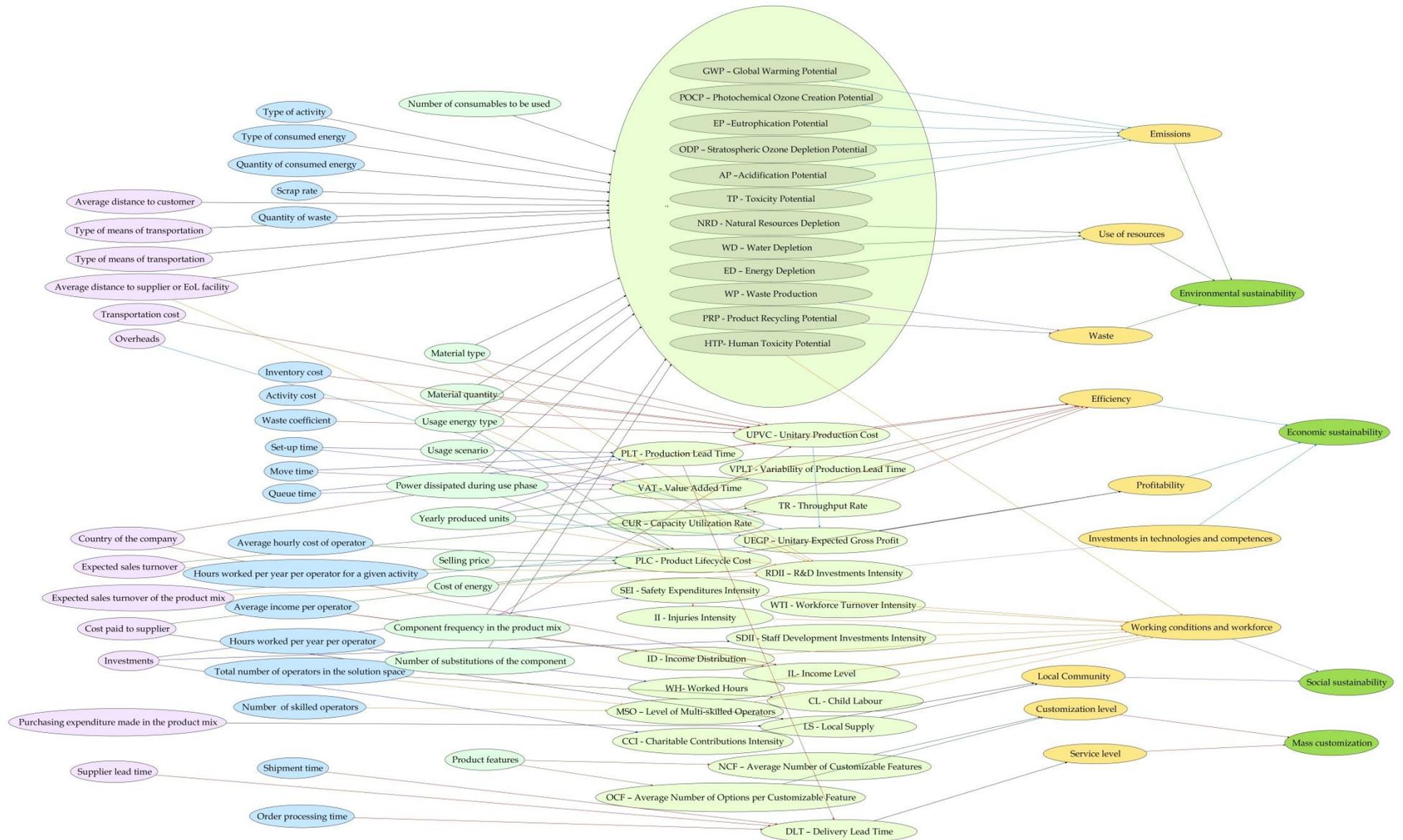


Figure 24: Diagramme d'influence

3.2. Modéliser et évaluer l'état actuel

La définition de l'état actuel passe par la modélisation du produit, des processus de production et de la chaîne logistique impliqués dans sa production, en utilisant les outils S-MC-S. Les avantages de ces outils sont : 1) l'intégration de la modélisation et l'évaluation 2) et la conformité au modèle SMC-E.

La simulation est utilisée pour compléter la modélisation car elle permet d'imiter le comportement de l'entreprise, en particulier dans le contexte de la personnalisation de masse. Les données d'entrée pour la modélisation et la simulation doivent être introduites à cette étape ;

- Produits : composants (ex. type et volume/quantité de matière première, couleur, taille, etc.), stocks, etc. Ces données concernent les variantes du produit à étudier.
- Processus de production: délai, consommation de l'énergie, des matériaux auxiliaires, coût unitaire, etc.
- Chaîne logistique : fournisseurs des composants ou de la matière première (ex. délai fournisseur, coût).
- Commandes clients : fréquence, etc.

Les résultats de l'évaluation sont les valeurs des indicateurs provenant des outils S-MC-S et du système multi-agents.

3.3. Modéliser et évaluer l'état futur

Après avoir évalué l'état actuel, le diagramme d'influence est utilisé pour définir des scénarios d'amélioration. Il permet d'identifier les indicateurs les plus importants au regard du contexte de l'entreprise, et ainsi les zones d'amélioration prioritaires. Le(s) scénario(s) d'amélioration défini(s) se traduit (se)nt par la mise à jour de la modélisation et les paramètres de simulation. Les nouvelles valeurs des indicateurs résultantes de ces mises à jour forment le résultat d'évaluation de l'état futur.

3.4. Analyser les résultats (Ecart)

A ce niveau, il s'agit de récupérer les valeurs des indicateurs sur les états actuel et futur et d'appliquer les poids (définis aux étapes I.2 et I.3) afin de pouvoir analyser les répercussions du scénario sur la performance et fournir des recommandations. Ces valeurs permettent de

calculer un écart qui mesure, le changement ayant lieu en prenant en compte les priorités de l'entreprise. Vu que l'objectif est l'amélioration de la performance, une valeur de référence, "benchmark", est nécessaire. Pour chaque indicateur, la valeur de référence est celle qui correspond à l'état actuel (Eq. 8).

$$Ecart_i = \gamma_i \times \frac{toBe_i - asIs_i}{asIs_i}, \gamma_i \in \{1, -1\} \quad (8)$$

Où :

$toBe_i$ et $asIs_i$ sont les valeurs futures et actuelles de l'indicateur de performance i , respectivement.

γ_i est un opérateur qui vaut 1 si une augmentation de la valeur de l'indicateur i est désirée (ex. profit, investissements, etc.), -1 sinon (ex. émissions, coût, etc.).

L'écart global, calculé selon Eq. 9, donne une information synthétisée à l'utilisateur, en l'occurrence l'industriel, sur la performance de durabilité et de personnalisation de masse. Cela facilite l'interprétation des indicateurs et la prise de décision sur les scénarios d'amélioration.

$$Ecart = \sum_{i=1}^m Ecart_i \times W_i \quad (9)$$

Où :

m est le nombre d'indicateurs de performance.

W_i est le poids de l'indicateur de performance i .

Dans le but d'illustrer ces propositions et montrer comment dérouler la méthodologie sur un cas d'étude, nous avons développé un démonstrateur où sont implémentées les étapes de la méthodologie proposée ainsi que des objets du modèle SMC-E. La prochaine section donne plus de détails sur sa structure et ses différentes interfaces et fonctionnalités.

4. Démonstrateur

Le démonstrateur développé est le résultat d'un premier travail d'implémentation mais qui a montré la possibilité de généraliser le démonstrateur. Les Figures 25 à 28 montrent les interfaces graphiques permettant la mise en œuvre de la méthodologie proposée. La page d'accueil (Figure 25) donne accès aux interfaces : indicateurs de performance, simulation et diagramme d'influence. Le développement fait pour créer ces interfaces n'est pas présenté vu qu'il s'agit soit de la conception de l'interface graphique elle-même soit d'un simple codage des formules de la méthode AHP. Toutefois, les détails du code Java des agents se trouve dans l'annexe C.



Figure 25: Page d'accueil du démonstrateur

La première interface, *Performance*, (Figure 26) permet de dérouler les étapes de la phase I de la méthodologie proposée allant de la définition des objectifs jusqu'à la priorisation des indicateurs de performance. La deuxième interface (Figure 27) sert à saisir les données d'entrée de la simulation sur le produit, les processus de production, la chaîne logistique et la demande.

Cette étape consiste à prioriser les aspects de performance de l'entreprise dits "Zones de succès" en se basant sur des comparaisons par paire de ces derniers

Comparaisons par paire des aspects de performance

	Emissions	Utilis. Res.	Pertes	Efficacité	Rentabilité	Invest.	Cond. Tr.	Com. loc.	Niv. Perso.	Niv. Service
Emissions	1	1/3	1/5	1/7	1/3	1/5	1	1/5	1/7	
Utilis. Res.		5	1/7	3	5	1/5	5	1/5	5	
Pertes			1/3	1/7	1	1/5	1/5	1/5	1/7	
Efficacité				1	5	5	5	1	1	
Rentabilité					1	5	1/3	5	5	
Invest.						1	3	5	1	
Cond. Tr.							1	5	1	
Com. loc.								1	1/7	
Niv. Perso.									1	
Niv. Service										

Buttons: Valider, Quitter

Figure 26: Priorisation des indicateurs et chargement de leurs valeurs

Les résultats de simulation peuvent être visualisés (en temps réel) via l'interface de la Figure 28. Ces résultats forment une partie des indicateurs de performance tandis que l'autre partie est calculée au travers des outils S-MC-S. Les valeurs des indicateurs sont chargées et sauvegardées via l'interface *Performance*.

The screenshot shows the 'Saisi des données' window with the following components:

- Données de simulation** (Simulation Data) window title.
- Four tabs: **Données produits** (selected), **Données processus**, **Données fournisseurs**, and **Données demande**.
- Nomenclature et variantes** (BOM) tree view:
 - Placard 6000
 - Poignée
 - Charnière et plaque
 - Panneau avant
 - Carcasse
 - Ep 400
 - Ep 500
 - Ep 275
 - Ep 550
 - Ep 450
 - Ep 600
 - Vis
 - Panneau arrière
 - Etagère
 - Epingle étagère
 - Epingle carcasse
- Composants** table:

Composants	Quantité
Poignée	1
Charnière et plaque	2
Panneau avant	1
Carcasse	1
Vis	16
Panneaux arrière	1
Etagère	1
Epingle étagère	4
Epingle carcasse	8
- Buttons: **Valider**, **Simuler**, and **Quitter**.

Figure 27: Saisie et validation des données d'entrée de la simulation

The screenshot shows the 'Résultats en temps réel' window with the following components:

- Résultats de la simulation** (Simulation Results) window title.
- Données sur les ventes** (Sales Data) section:

Variante	Pourcentage
Variante 400	4.0
Variante 275	0.0
Variante 500	4.0
Variante 550	36.0
Variante 450	0.0
Variante 600	56.0

 Chiffre d'affaire (€): 68300.0
- Indicateurs de performance** (Performance Indicators) section:

Coût total (€)	24756.227
Coût moyen (€)	990.2491
Délai de production (heures)	1.45
Délai moyen de livraison (jours)	9.8932
- Sauvegarde** (Save) section:
 - As-Is situation
 - To-Be situation
 - File path input: W:\SimASIS
 - File path input: W:\SimTOBE
- Buttons: **Enregistrer** and **Quitter**.

Figure 28: Interface graphique des résultats de la simulation

5. Conclusion

Dans ce chapitre, une méthodologie générale pour l'évaluation et l'amélioration de la performance d'entreprises, en particulier dans le contexte de personnalisation de masse durable, a été présentée. Elle permet de mettre en cohérence l'ensemble des outils proposés (modèle conceptuel, modèle de simulation, diagramme d'influence). Cette méthodologie, couplée avec les outils permet de répondre aux questions de recherche évoquées au début de ce manuscrit.

Au niveau industriel, elle permet de fournir un support à l'utilisateur qui est potentiellement le concepteur et/ou le chef d'entreprise adoptant la personnalisation de masse durable. Cela est illustré par un cas d'étude dans le secteur des cuisines personnalisées, décrit dans le prochain chapitre.

Chapitre IV: Illustration par un cas d'étude dans le secteur de cuisines

1. Introduction

Ce chapitre illustre les propositions décrites dans les chapitres 2 et 3 par un cas d'étude dans le secteur des cuisines personnalisées. Des données générales sur l'entreprise et sa situation sont présentées dans la section 2. Pour des raisons de confidentialité, les noms de l'entreprise et de ses fournisseurs et certaines autres données ne seront pas présentés. Les sections 3 et 4 illustrent respectivement les phases I et II de la méthodologie proposée.

2. Situation de l'entreprise et données générales

L'entreprise faisant l'objet de l'étude est une PME qui produit des cuisines de luxe commercialisées via des revendeurs à travers la Suisse. L'entreprise tente de répondre au mieux aux besoins individuels des clients tout en assurant de bonnes conditions de travail aux employés et en réduisant l'impact sur l'environnement.

Déjà engagée dans la personnalisation, la PME est intéressée par la personnalisation de masse durable afin de répondre aux attentes des clients et assurer un développement durable.

Actuellement, l'entreprise adopte une stratégie de production à la commande pour satisfaire les quelques 1500 commandes annuelles ce qui permet de diversifier l'offre des cuisines. Elle fournit également bon nombre d'options pour la couleur et le type de matériaux des panneaux utilisés pour produire les placards de cuisines. Outre la gamme des couleurs et la liste de matériaux disponibles, la PME offre aux clients la possibilité de redimensionner les placards des cuisines afin de répondre au mieux à leurs besoins. Cela forme un avantage concurrentiel mais induit en même temps une complexité supplémentaire à gérer.

3. Identifier et prioriser les indicateurs

3.1. Identifier les objectifs et les leviers

Cette section résulte des quelques interviews avec le manager et de l'analyse des rapports faisant un diagnostic de l'état actuel de l'entreprise (Le Duigou et al., 2010). Les objectifs et les leviers sont présentés dans le Tableau 9. Le passage des objectifs aux leviers se fait par un effort conjoint de l'interviewé et l'interviewer. Ce dernier apporte son expertise en matière de durabilité et de personnalisation de masse. Par ailleurs, l'expérience de l'interviewé et sa

connaissance du contexte de l'entreprise permet de réajuster la liste des leviers afin de l'adapter plus à l'entreprise.

Tableau 9: Objectifs et leviers

Objectifs	Sous-objectifs	Leviers
Renforcer la personnalisation de masse	Aider le client dans le choix (mieux et plus rapidement)	Améliorer l'interopérabilité entre les applications informatiques
		Renforcer la coordination entre les revendeurs, les concepteurs et le personnel de la production
	Réduire les coûts	Evaluer des solutions proposées au client au regard du délai, coûts, et aspects environnementaux.
Réduire les délais de livraison	Réduire le temps de traitement des commandes	Gérer les approvisionnements de façon à réduire les frais entraînés par les commandes à faibles quantités
	Réduire le délai de production	Renforcer l'interopérabilité entre les applications informatiques
		Gérer les stocks de façon à éviter autant que possible les ruptures de stock
		Réorganiser l'atelier de production
Améliorer la flexibilité	Mieux gérer la conception et production ad-hoc	Automatiser la production
Préserver l'environnement	Réduire les pertes en optimisant l'utilisation des ressources (ex. panneaux,	Ecoconception
	Réduire les émissions des gaz à effet de serre.	Ecoconception
Garder les bonnes conditions de travail	Simplifier les tâches aux opérateurs et leur offrir plus de confort	Réorganiser l'atelier de production

Les objectifs principaux sont l'amélioration de la personnalisation de masse, la réduction des délais, l'amélioration de la flexibilité tout en limitant les pertes et les émissions et en assurant de bonnes conditions de travail.

La décomposition en sous-objectifs facilite le passage du niveau stratégique au niveau tactique où sont définis les leviers. En ce qui concerne la personnalisation de masse, les sous-objectifs sont l'accompagnement du client lors de la personnalisation de la cuisine afin de l'aider à mieux choisir (i.e. plus vite et avec plus d'efficacité) et la réduction des coûts. Le premier sous-objectif est tributaire d'une meilleure coordination entre les revendeurs, les concepteurs et le personnel de production ainsi qu'une meilleure interopérabilité entre les applications informatiques. L'évaluation des solutions proposées au client permet également d'aider ce dernier à mieux choisir en prenant en compte les critères de durabilité en plus de la personnalisation. Un levier important qui permettrait la réduction des coûts est la gestion des approvisionnements de façon à réduire les frais supplémentaires entraînés par la taille faible des quantités commandées. En effet la taille minimale des lots d'achat des panneaux utilisés

dans la production des placards est de 24 alors que chacun de ces derniers ne nécessite pas plus que 4 panneaux et que le type de matériau du panneau diffère d'un placard à l'autre (selon les commandes).

Un enjeu majeur pour l'entreprise est la réduction du délai de livraison composé par le délai de traitement des commandes et le délai de production (qui comprend le délai des fournisseurs). L'interopérabilité entre les applications informatiques contribue à la réduction du temps de traitement des commandes. Le délai de production peut être réduit si les ruptures de stock sont réduites voire éliminées. Ainsi, en l'absence de matière première dans l'usine, le délai de 4 semaines en moyenne, peut être doublé. Le délai de production peut également être réduit via la réorganisation de l'atelier de production et l'introduction de nouvelles machines automatisées. Cela permet également d'offrir plus de confort aux employés.

Par ailleurs, l'automatisation du système de production par l'introduction de machines à commande numérique contribue à une meilleure gestion de la conception et surtout la production ad hoc ce qui renforce la flexibilité. Finalement, en vue d'assurer un développement durable, l'entreprise vise à réduire les pertes et l'utilisation des ressources ainsi que les émissions, cela peut être assuré par l'écoconception.

3.2. Identifier les aspects et indicateurs de performance

Les aspects de performance ont été priorisés suite à des comparaisons par paire faites par l'interlocuteur durant l'interview. Ces comparaisons prennent en considération les objectifs de l'entreprise et concrétisent ses priorités (voir Tableaux 31 et 32, annexe E). Le traitement des résultats par l'application de la méthode AHP donne lieu au Tableau 10 dont les colonnes 2 jusqu'à 11 représentent la matrice des importances relatives des aspects de performance et la dernière colonne à droite représente le vecteur de leurs poids relatifs $Vect_{asp}$.

La matrice des poids relatifs des indicateurs de performance en fonction des aspects de performance Q' est représentée par les colonnes 2 jusqu'à 11 du Tableau 11. La dernière colonne à droite représente le vecteur des poids relatifs des indicateurs $Vect_{ind}$. Les comparaisons par paires des indicateurs au regard des aspects de performance, qui ont donné lieu au Tableau 11, sont présentés dans les Tableaux 33 à 40 de l'annexe E.

Tableau 10: Aspects de performance

		Durabilité environnementale			Durabilité économique			Durabilité sociale		Personnalisation de masse		<i>Vect_{asp}</i>
		EM- Emissions	UR- Utilisation des ressources	P- Pertes	EFF- Efficacité	RENT- Rentabilité	INV- Investissements dans les technologies et les compétences	CTR- Conditions de travail	COML- Communauté locale	NP- Niveau de personnalisation	NS- Niveau du service	
Durabilité environnementale	EM- Emissions	0.03	0.05	0.01	0.04	0.02	0.02	0.02	0.02	0.01	0.01	0.02
	UR- Utilisation des ressources	0.03	0.05	0.13	0.03	0.33	0.25	0.02	0.12	0.01	0.34	0.13
	P- Pertes	0.08	0.01	0.03	0.06	0.02	0.05	0.02	0.00	0.01	0.01	0.03
Durabilité économique	EFF- Efficacité	0.13	0.35	0.08	0.19	0.11	0.25	0.41	0.12	0.07	0.07	0.18
	RENT- Rentabilité	0.18	0.02	0.18	0.19	0.11	0.25	0.03	0.12	0.34	0.34	0.18
	INV- Investissements dans les technologies et les compétences	0.08	0.01	0.03	0.04	0.02	0.05	0.25	0.12	0.07	0.07	0.07
Durabilité sociale	CTR- Conditions de travail	0.13	0.25	0.13	0.04	0.33	0.02	0.08	0.12	0.07	0.07	0.12
	COML- Communauté locale	0.03	0.01	0.13	0.04	0.02	0.01	0.02	0.02	0.01	0.01	0.03
Personnalisation de masse	NP- Niveau de personnalisation	0.13	0.25	0.13	0.19	0.02	0.05	0.08	0.17	0.07	0.01	0.11
	NS- Niveau du service	0.18	0.01	0.18	0.19	0.02	0.05	0.08	0.17	0.34	0.07	0.13

La Figure 29 représente les poids cumulés de chacune des dimensions de durabilité ainsi que la personnalisation de masse. La dimension économique reste prioritaire avec 40% des poids. Les objectifs en termes de durabilité environnementale sont traduits par 24% des poids. La personnalisation de masse et les aspects sociaux représentent respectivement un quart et un peu plus d'un dixième des poids.

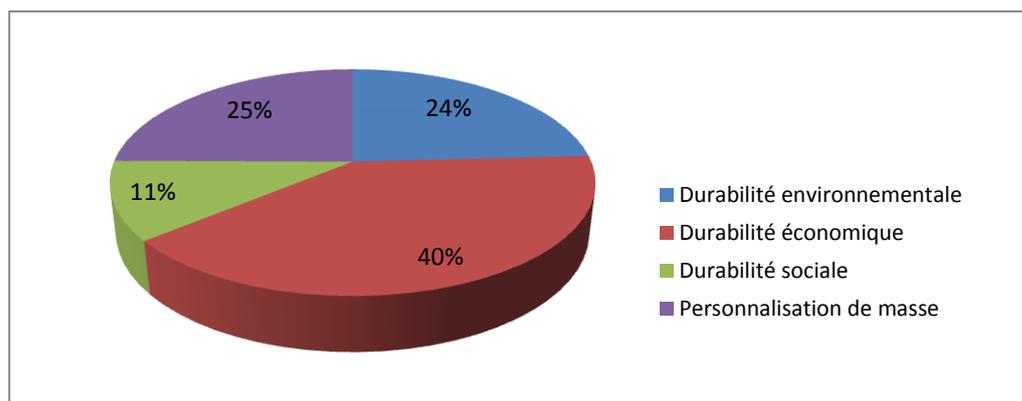


Figure 29: Importance de la durabilité et la personnalisation de masse

Les résultats obtenus à l'issue de cette première phase concrétisent les objectifs de l'entreprise en des valeurs numériques permettant de pondérer et agréger les indicateurs qui seront évalués durant la deuxième phase.

Tableau 11: Poids relatifs des indicateurs de performance en fonction des aspects de performance

		Matrice Q'										$Vect_{ind}$
		EM	UR	P	EFF	RENT	INV	CTR	COML	NP	NS	
Durabilité environnementale	GWP	10.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.0022
	POCP	6.08	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.0013
	EP	14.55	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.0032
	ODP	6.08	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.0013
	AP	7.70	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.0017
	FAETP	11.11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.0024
	FSETP	11.11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.0024
	MAETP	11.11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.0024
	MSETP	11.11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.0024
	TETP	11.11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.0024
	NRD	0.00	10.22	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.0133
	WD	0.00	68.64	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.0896
	ED	0.00	21.14	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.0276
	WP	0.00	0.00	90.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.0259
PRP	0.00	0.00	10.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.0029	
Durabilité économique	UPVC	0.00	0.00	0.00	28.98	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.0515
	PLT	0.00	0.00	0.00	13.37	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.0237
	VPLT	0.00	0.00	0.00	15.66	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.0278
	VAT	0.00	0.00	0.00	13.37	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.0237
	UEGP	0.00	0.00	0.00	0.00	83.33	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.1466
	PLC	0.00	0.00	0.00	0.00	16.67	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.0293
	TR	0.00	0.00	0.00	9.94	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.0177
	CUR	0.00	0.00	0.00	18.69	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.0332
RDII	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.0729	
Durabilité sociale	II	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	7.10	0.00	0.00	0.00	0.0087
	SEI	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.81	0.00	0.00	0.00	0.0059
	WTI	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.81	0.00	0.00	0.00	0.0059
	MSO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.64	0.00	0.00	0.00	0.0057
	SDII	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.64	0.00	0.00	0.00	0.0057
	ID	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.81	0.00	0.00	0.00	0.0059
	IL	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.81	0.00	0.00	0.00	0.0059
	WH	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.81	0.00	0.00	0.00	0.0059
	CL	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	30.21	0.00	0.00	0.00	0.0372
	LS	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	50.00	0.00	0.00	0.0147
	CCI	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	50.00	0.00	0.00	0.0147
HTP	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	29.36	0.00	0.00	0.00	0.0362	
PM*	NCF	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	50.00	0.00	0.0551
	OCF	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	50.00	0.00	0.0551
	DLT	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100	0.00	0.1294

*Personnalisation de Masse

4. Définir et évaluer les scénarios d'amélioration

4.1. Instancier le diagramme d'influence

Les poids des aspects et indicateurs de performance sont représentés sur les arcs du diagramme d'influence relatif au cas d'étude décrit par la Figure 30. A droite sont représentés les objectifs définis à l'étape I.1. Un tel diagramme offre un support visuel qui rappelle les priorités de l'entreprise et aide à identifier les zones d'amélioration critiques. Il sera utilisé afin d'identifier des alternatives d'amélioration à l'étape II.3.

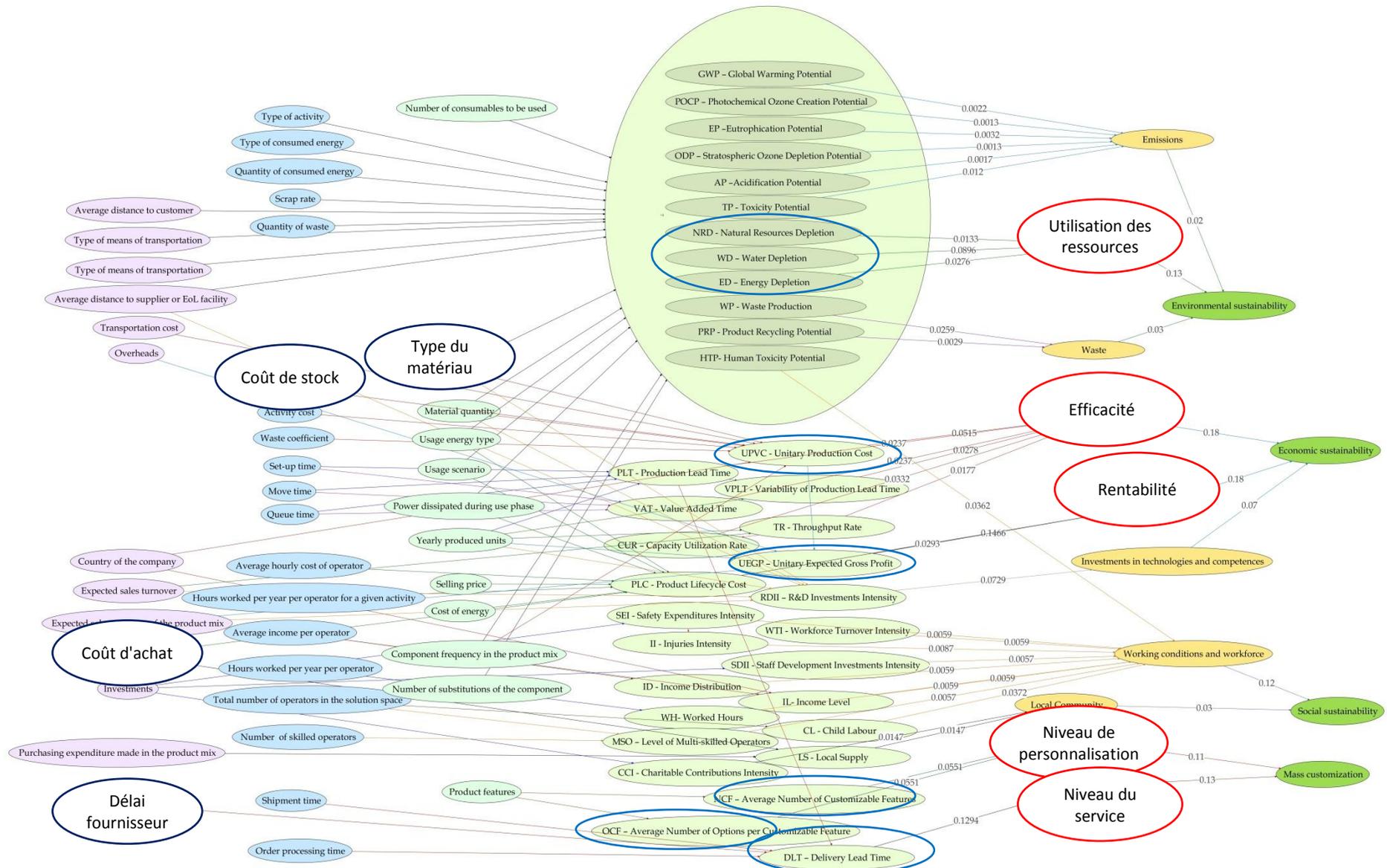


Figure 30: Instance du diagramme d'influence

4.2. Modéliser et évaluer l'état actuel

4.2.1. Données recueillies

4.2.2. Données sur le produit

Le produit considéré est un placard de cuisine personnalisable, il est présenté par la Figure 31.

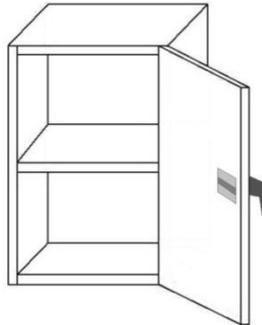


Figure 31: Produit considéré: placard

Le Tableau 27 de l'annexe D représente les données sur le placard, notamment le type et le volume des matériaux de ses composants et leurs fréquences dans la gamme des produits. La nomenclature du placard est présentée dans la Figure 32.

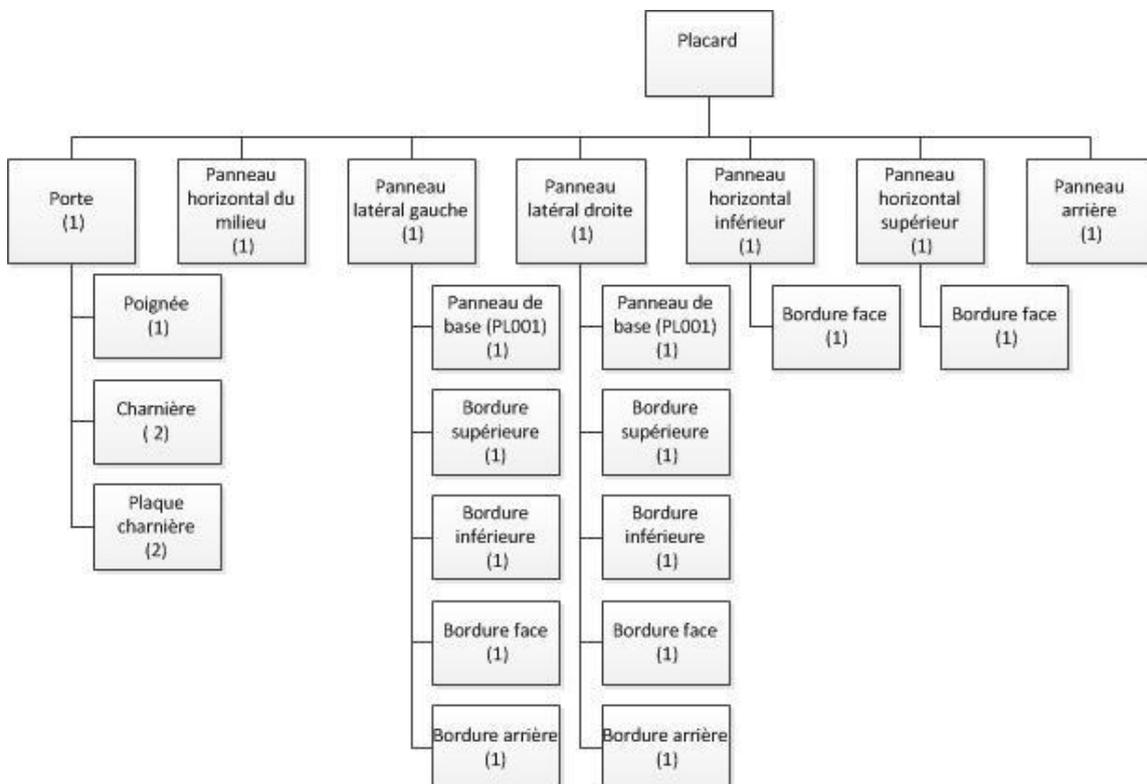


Figure 32: Nomenclature du placard

4.2.3. Données sur le système de production

Le Tableau 28 de l'annexe D représente les données de production du placard. Les cinq activités principales sont le découpage, le collage de la bordure, le perçage, l'assemblage de la porte et l'emballage du placard avant sa livraison. Pour chacune de ces activités les données temporelles, de coût et de pertes sont indiquées. Les opérateurs intervenant dans ces activités sont tous qualifiés, ce qui renforce la flexibilité du système de production.

Le temps d'installation est indiqué pour la seule activité de découpage car la plupart des activités à part l'assemblage et l'emballage sont assurées par une machine à commande numérique récemment installée et à laquelle sont transmis les paramètres de collage.

4.2.4. Données sur la chaîne logistique

La Figure 33 décrit, de façon succincte, la chaîne logistique de la PME considérée. Les flèches interrompues et continues représentent respectivement les flux informationnels et physiques.

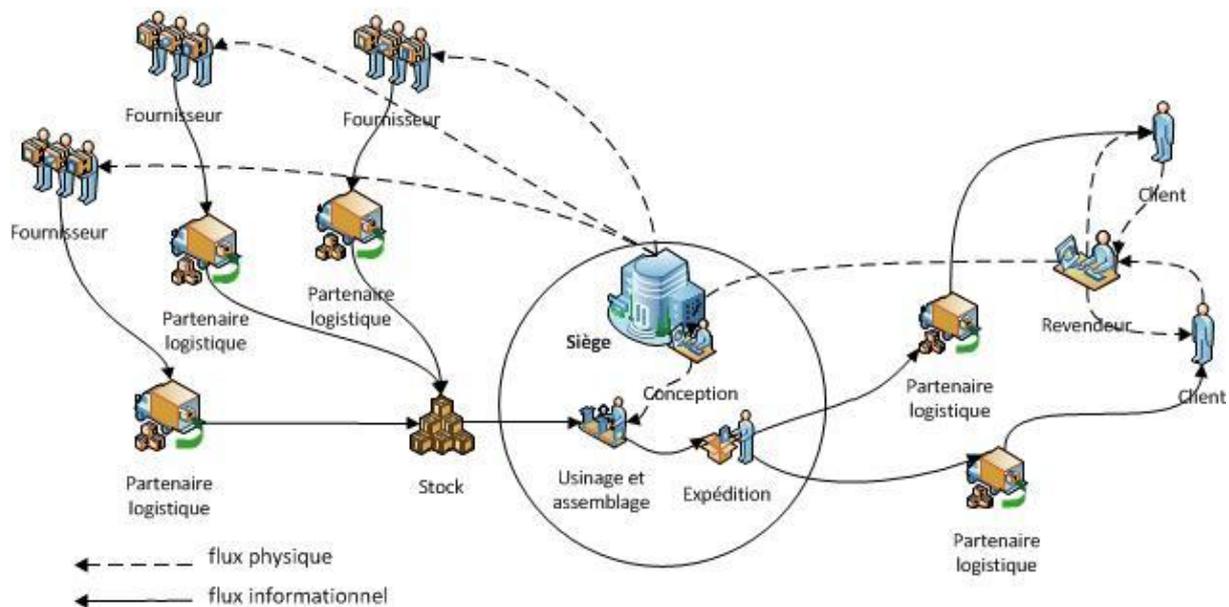


Figure 33: Chaîne logistique du cas d'étude

Le Tableau 30 de l'annexe D représente des données sur les fournisseurs et les achats relatifs au placard de cuisine considéré. Pour chaque fournisseur sont indiqués le délai moyen, la distance, le moyen de transport ainsi que les composants offerts. La part du fournisseur dans les achats d'un composant donné est également présentée (dernière colonne du tableau).

4.2.6. Modélisation

La Figure 35 représente la nomenclature du placard de cuisine. Pour chacun des composants le type et le volume du matériau qui le constitue ont été renseignés. Un attribut de personnalisation (i.e. *Feature*) est utilisé pour modéliser toutes les variantes de la poignée. Les processus de production qui ont été modélisés sont présentés dans le Tableau 29 de l'annexe D. Non seulement les processus de production du placard de cuisine ont été pris en considération, mais aussi ceux de la production de ses composants. Pour chacun de ces processus les entrées et sorties sont définies à partir des données récupérées de l'entreprise et des modèles d'autres produits créés à l'aide des éditeurs S-MC-S.

Un autre avantage de ces éditeurs est la liaison avec une base de données environnementale pour faciliter le calcul de l'impact environnemental de la solution modélisée. Afin de caractériser le processus, un type standard est sélectionné parmi une liste disponible dans la base de données.

Une unité fonctionnelle est également définie pour chaque processus, celle-ci désigne la masse du composant produit par le processus et nécessaire à la production d'un placard (cf. Tableau 29, annexe D).

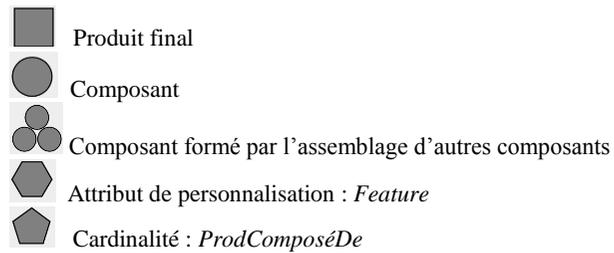
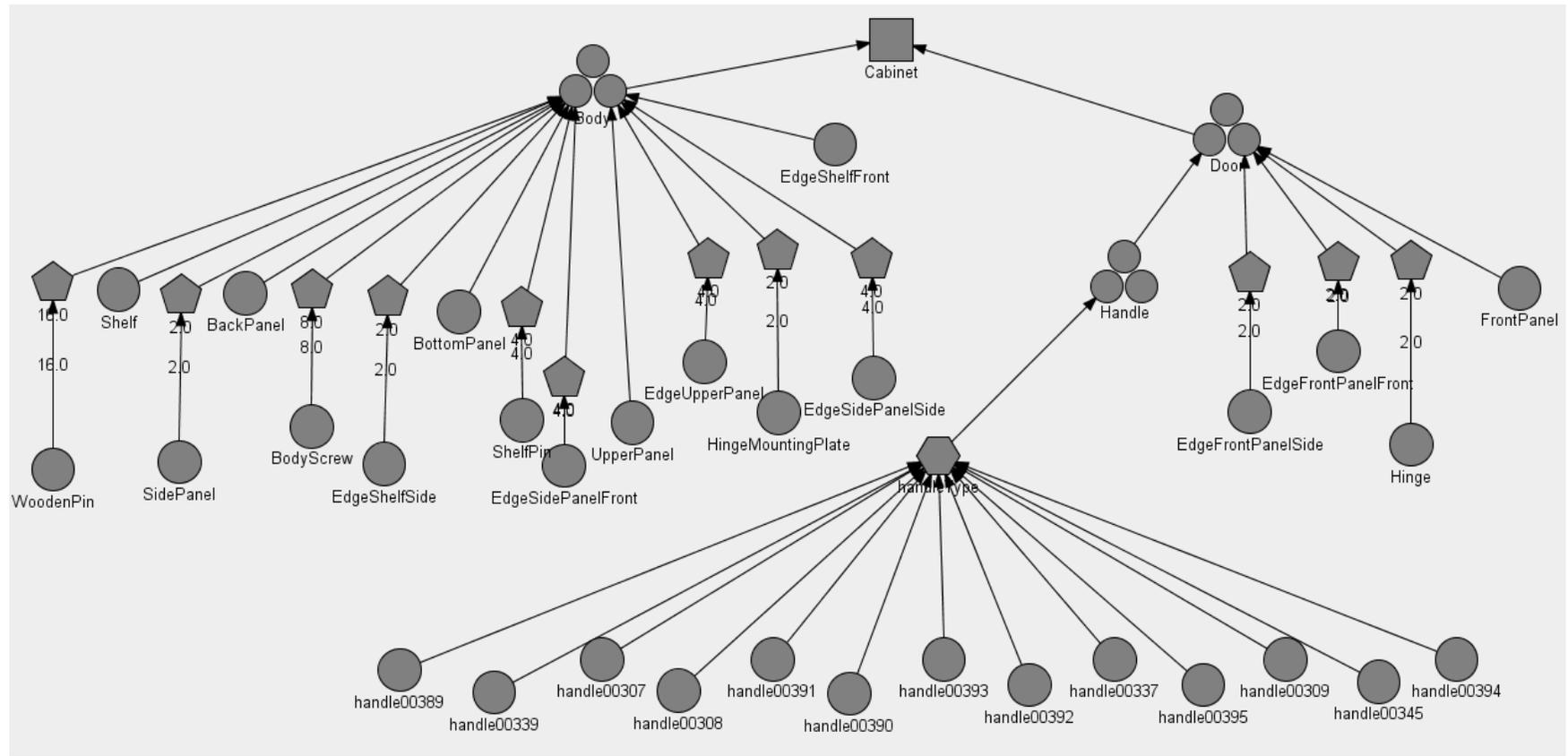


Figure 35: Modélisation de la nomenclature du produit

Les données du Tableau 30 de l'annexe D ont permis la modélisation de la chaîne logistique relative au produit considéré, présentée dans la Figure 36. Dans cette figure, on distingue; 1) les fournisseurs *BL, EG, KR, BO, EI, FA, H, P, et R*, 2) l'entreprise (*myCompany*) et 3) les trois marchés *SG, SF et T*. Les liens entre les différents blocs du modèle représentent les flux physiques définis par la ressource ou le produit transporté, le type du moyen de transport, le coût unitaire, et la fréquence.

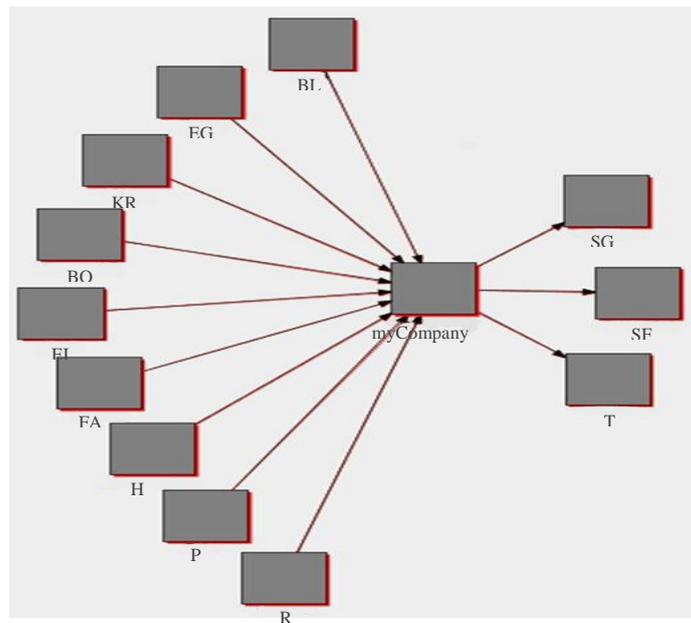


Figure 36: Modélisation de la chaîne logistique du cas d'étude

Même si la modélisation ne permet pas de calculer directement les indicateurs NCF (Nombre moyen de fonctions personnalisables) et OCF (Nombre moyen d'options par fonction personnalisable), elle fournit les premiers éléments permettant d'évaluer ces deux indicateurs. D'après la modélisation du niveau produit, on identifie :

- Trois aspects esthétiques (E) du placard personnalisables : couleur (A1), matériaux du corps (A2) et matériaux de la poignée (A3).
- Deux aspects à la fois fonctionnels et d'adéquation (F) personnalisables : largeur (F1) et hauteur des panneaux (F2).

Ainsi, les coordonnées du vecteur NCF sont : 3, 2 et 2. Par ailleurs, le calcul de l'indicateur OCF détaillé dans le Tableau 13.

Tableau 13: Indicateur OCF

Aspects personnalisable	Type	Nombre d'option	OCF _{Type}
A1	E	10	18.33
A2	E	2	
A3	E	3	
F1	F	5	5
F2	F	5	

Les résultats de la modélisation de l'état actuel (As-Is) sont présentés dans le Tableau 14. Les définitions des indicateurs présentés dans ce tableau sont détaillées dans l'annexe A. Leur sélection ainsi que le développement de leurs formules ont été présentés dans la section 3 du chapitre III.

Tableau 14: Résultats de la modélisation de l'état actuel

Indicateur	Poids	Valeurs As-Is	Unité
GWP	0.0022	30.42	KgCO2
POCP	0.0013	0.007	gC2H4
EP	0.0032	0.023	gPO4
ODP	0.0013	3.24E-6	gCFC-11
AP	0.0017	0.12	kgSO2
FAETP	0.0024	5.31	Kg1.4-DCB
FSETP	0.0024	11.64	Kg1.4-DCB
MAETP	0.0024	1861.010	Kg1.4-DCB
MSETP	0.0024	1100.62	Kg1.4-DCB
TETP	0.0024	0.025	Kg1.4-DCB
NRD	0.0133	0.25	KgSb
WD	0.0896	0.200	m3
ED	0.0276	1693.18	MJ
WP	0.0259	2.79	Kg
PRP	0.0029	87.89	%
PLT	0.0237	1.45	heure
RDII	0.0729	8.49	€
II	0.0087	5.79 E-5	#
SEI	0.0059	0.078	€
WTI	0.0059	6.61E-5	#
MSO	0.0057	60.0	%
SDII	0.0057	0.68	€
ID	0.0059	2.12	#
IL	0.0059	0.45	#
WH	0.0059	18.14	heure
CL	0.0372	0.0	%
CCI	0.0147	0.0	€
HTP	0.0362	22.033	Kg1.4-DCB
NCF	0.0551	(3,2,2)	#
OCF	0.0551	(18.33, 5,5)	#

4.2.7. Simulation

Une partie des données de simulation est estimée vu l'indisponibilité de données précises notamment sur le temps entre l'expédition et la réception de la commande par le client et les quantités minimales à commander chez les fournisseurs. Des précisions sur la nature de ces données sont présentées dans le Tableau 15. L'estimation de certaines données telles que le stock de sécurité, les quantités minimales à commander auprès des fournisseurs, etc. n'entrave pas l'objet de l'étude du cas, à savoir démontrer l'utilité et le résultat de l'utilisation de la méthodologie proposée pour évaluer et améliorer la performance.

Tableau 15: Données de simulation

	Données	Type
<i>Produit</i>	Nomenclature	Réelles
<i>Processus de production</i>	Délai production	Réelles
	Délai livraison	Réelles/Estimées
	Données du stock	Estimées
<i>Chaîne logistique</i>	Données fournisseurs	Réelles/Estimées
<i>Demande</i>	Fréquence demande	Réelles
	Fréquence variantes	Réelles

La simulation à cette étape vise à évaluer l'état actuel de l'entreprise notamment les aspects dynamiques à travers les indicateurs DLT (Delivery Lead Time), UEGP (Unitary Gross Profit) et UVPC (Unitary Variable Production Cost). Elle permet également d'avoir des informations sur les ventes en termes de chiffre d'affaires et de variantes.

La demande est simulée par l'utilisation d'un comportement de type *TickerBehaviour* qui prend en entrée la fréquence moyenne des commandes. Ce comportement implémente un générateur aléatoire de commandes avec différentes valeurs des attributs de personnalisation (ex. dimensions, etc.). L'agent *Client* est donc un initiateur (i.e. envoi de la commande) et l'agent *Entreprise* est le répondeur (i.e. préparation et livraison de la commande) (cf. section 3.4.2.1).

Les résultats de simulation de l'état actuel sont présentés dans le Tableau 16. Vu leur aspect stochastique, 30 simulations ont été lancées afin d'avoir les valeurs moyennes ainsi que les intervalles de confiance. Ces valeurs sont obtenues pour un risque d'erreur de 5% pour tous les indicateurs.

Tableau 16: Résultats de la simulation de l'état actuel

Indicateur	Poids	Valeurs As-Is	Unité
UVPC	0.0022	676±12	€
UEGP	0.1466	1989±13	€
DLT	0.0032	5.3±0.1	jour
CA	-	436213±2729	€
EP400	-	5.65±0.77	%
EP275	-	6.09±0,55	%
EP500	-	5.37±0.53	%
EP550	-	39.55±1.15	%
EP450	-	4.89±0.60	%
EP600	-	38.44±1.32	%

4.3. Modéliser et évaluer l'état futur

4.3.1. Scénarios

Au regard des priorités accordées aux différents indicateurs de performance, et en se basant sur le diagramme d'influence, il convient de cibler dans un premier temps les aspects de

performance (i.e. zones de succès) suivants pour améliorer la performance : Efficacité, Rentabilité, Niveau du service, Niveau de personnalisation, et Utilisation des ressources vu leurs poids importants (voir Figure 30).

Dans le contexte de cette illustration on ne va pas s'intéresser à la conception du produit, mais on va se focaliser sur le type de matériau, ainsi que sur les stocks et les quantités à commander chez les fournisseurs en tant que variables d'action permettant d'améliorer ces indicateurs.

Au niveau du stock, la réduction du stock de sécurité peut entraîner des délais supplémentaires pour commander de la matière première mais réduit le coût de possession. Tandis que l'augmentation d'un tel stock permet de satisfaire plus facilement certaines commandes mais entraîne une augmentation du coût de possession du stock. Il en découle les scénarios d'amélioration présentés dans le Tableau 17.

Tableau 17: Scénarios

Plans d'actions	Scénario1	Scénario2
Utiliser un matériau plus durable pour les panneaux du placard, en l'occurrence l' « Eurodekor » déjà disponible chez l'un des fournisseurs du cas d'étude.	X	X
Augmenter les achats du matériau durable de 100% chez leur fournisseur en réduisant les achats chez l'autre fournisseur du même article, de 25%.	X	X
Doubler les stocks de sécurité.	X	
Diviser les stocks de sécurité par deux.		X

Les hypothèses qui conditionnent la modélisation et la simulation sont les suivantes :

- H1 : on suppose que les commandes ont été déjà confirmées.
- H2 : on ne prend pas en considération les demandes singulières qui nécessitent un travail de personnalisation pure.

4.3.2. Modélisation

Au niveau de la modélisation il convient juste de changer le type de matériaux. Les valeurs des indicateurs correspondant aux scénarios 1 et 2 sont données par le Tableau 18.

4.3.3. Simulation

Les résultats de simulation des scénarios 1 et 2 sont présentés dans le Tableau 19. 30 simulations ont été également lancées pour chacun de ces scénarios.

Tableau 18: Résultats de la modélisation de l'état futur

Indicateur	Poids	Scénario 1 (%)		Scénario 2		Unité de mesure des indicateurs
		Valeurs	Ecart (%)	Valeurs	Ecart (%)	
GWP	0.0022	19,88	-34.65	19,88	-34.65	KgCO2
POCP	0.0013	0,0064	-8.57	0,0064	-8.57	gC2H4
EP	0.0032	0,027	17.39	0,027	17.39	gPO4
ODP	0.0013	2,80E-06	-13.58	2,80E-06	-13.58	gCFC-11
AP	0.0017	0,12	0.00	0,12	0.00	kgSO2
FAETP	0.0024	5,058	-4.75	5,058	-4.75	Kg1.4-DCB
FSETP	0.0024	11,18	-3.95	11,18	-3.95	Kg1.4-DCB
MAETP	0.0024	1723,13	-7.41	1723,13	-7.41	Kg1.4-DCB
MSETP	0.0024	1017,71	-7.53	1017,71	-7.53	Kg1.4-DCB
TETP	0.0024	0,023	-8.00	0,023	-8.00	Kg1.4-DCB
NRD	0.0133	0,198	-20.80	0,198	-20.80	KgSb
WD	0.0896	0,177	-11.50	0,177	-11.50	m3
ED	0.0276	1389,93	-17.91	1389,93	-17.91	MJ
WP	0.0259	2,6	-6.81	2,6	-6.81	Kg
PRP	0.0029	86,23	-1.89	86,23	-1.89	%
PLT	0.0237	1,45	0.00	1,45	0.00	heure
RDII	0.0729	8,474	-0.19	8,474	-0.19	€
II	0.0087	5,79E-05	0.00	5,79E-05	0.00	#
SEI	0.0059	0,078	0.00	0,078	0.00	€
WTI	0.0059	6,58E-05	-0.51	6,58E-05	-0.51	#
MSO	0.0057	60	0.00	60	0.00	%
SDII	0.0057	0,669	-1.62	0,669	-1.62	€
ID	0.0059	2,095	-1.18	2,095	-1.18	#
IL	0.0059	0,417	-7.33	0,417	-7.33	#
WH	0.0059	18,05	-0.50	18,05	-0.50	heure
CL	0.0372	0	0.00	0	0.00	%
CCI	0.0147	0	0.00	0	0.00	€
HTP	0.0362	20,27	-8.00	20,27	-8.00	Kg1.4-DCB
NCF	0.0551	(3,2,2)	0.00	(3,2,2)	0.00	#
OCF	0.0551	(18,33, 5,5)	0.00	(18,33, 5,5)	0.00	#

Tableau 19: Résultats de la simulation de l'état futur

Indicateur	Poids	Valeurs scénario 1		Valeurs scénario 2		Unité de mesure des indicateurs
		Valeurs	Ecart (%)	Valeurs	Ecart (%)	
UVPC	0.0022	1018.75±12.34	+50.70	445.12±69	-34.15	€
UEGP	0.1466	1658.83±12.82	-16.60	2227±70	+11.97	€
DLT	0.0032	4.93±0.05	-6.98	5.58±0.10	+5.28	jour
CA	-	436803±3961	+0.14	419690±7106	-3.79	€
EP400	-	5.33±0.58	-5.66	5.23±0.69	-7.43	%
EP275	-	4.44±0.44	-27.09	5.20±0.51	-14.61	%
EP500	-	5.06±0.58	-5.77	4.89±0.68	-8.94	%
EP550	-	39.60±1.13	+0.13	39.92±1.41	+0.94	%
EP450	-	4.79±0.55	-2.04	5.17±0.76	+5.73	%
EP600	-	40.81±1.08	+6.17	39.62±1.51	+3.07	%

4.4. Analyser les résultats

Le scénario 1 entraîne une augmentation d'environ 50 % du coût (UVPC) ainsi qu'une réduction de 16.60 % du profit (UEGP) mais réduit le délai de livraison d'environ 7%. Tandis que le scénario 2 permet de faire des économies qui s'élèvent à 34 % du coût (UVPC) ce qui impacte positivement le profit qui augmente d'environ 12 %. Toutefois le scénario 2 entraîne une augmentation de 6.6 % du délai de livraison.

Les deux scénarios ont un impact positif sur les indicateurs environnementaux et un peu moins sur les indicateurs sociaux. L'utilisation du nouveau matériau et la nouvelle répartition des achats entre les fournisseurs permet une réduction d'environ 35% et 21% des émissions des gaz à effet de serre (GWP) et de l'utilisation des ressources (NRD), respectivement. La consommation d'énergie est également réduite de près de 18%. Les indicateurs sociaux n'ont quasiment pas subi de changement vu que les actions entreprises ciblent surtout les dimensions environnementale et économique de durabilité. Toutefois, l'introduction du matériau durable dans la construction du placard de la cuisine entraîne une réduction de 8% de l'indicateur HTP ce qui a impacté positivement la durabilité sociale.

Examinons maintenant l'impact des scénarios avec prise en compte des poids calculés dans la phase I. Le Tableau 20 montre les valeurs des écarts globaux et selon les quatre dimensions (i.e. environnementale, économique, sociale et personnalisation de masse) qui résultent des deux scénarios d'amélioration évalués.

Tableau 20: Ecart global

Types d'écart	Valeurs	
	Scénario1 (%)	Scénario2 (%)
Durabilité économique	-2.9071	+1.9661
Durabilité environnementale	+2.1821	+2.1821
Durabilité sociale	+0.8641	+0.8641
Personnalisation de masse	+0.0420	-0.0297
<i>Ecart global</i>	+0.1811	+4.9826

Les valeurs des écarts globaux contiennent les contributions pondérées de tous les indicateurs ce qui est à l'origine de leurs valeurs faibles. Les écarts globaux correspondants aux deux scénarios sont calculés selon l'équation 10 qui donne +0.1811 et +4.9826 pour le scénario 1 et scénario 2, respectivement.

$$Ecart_{global} = \sum_{i=1}^{33} \gamma_i \times \frac{toBe_i - asIs_i}{asIs_i} \times W_i, \gamma_i \in \{1, -1\} \quad (10)$$

Dans les deux scénarios, la durabilité environnementale est améliorée d'environ 2.2 % grâce à la substitution du matériau des panneaux par un nouveau qui est plus durable et la nouvelle répartition des achats entre les fournisseurs. L'amélioration de la durabilité sociale, de près de 0.9% dans les deux scénarios, est due à la baisse de la valeur de l'indicateur HTP induite par l'introduction du nouveau matériau. La durabilité économique baisse d'environ 3% dans le scénario 1 car l'augmentation des stocks de sécurité entraîne des coûts de possession supplémentaires, qui selon la simulation, l'emportent sur la baisse des coûts d'approvisionnement. A l'encontre des attentes, la réduction des stocks de sécurité dans le scénario 2 a positivement impacté la durabilité économique qui s'est améliorée d'environ 2%. Cela est expliqué par une légère hausse de DLT compensée par la baisse d'UVPC ainsi que l'augmentation d'UEGP. DLT en tant qu'indicateur du niveau du service, impacte positivement la personnalisation de masse dans le scénario 1 (+0.0420%) mais entraîne une légère dégradation de celle-ci dans le scénario 2 (-0.0297%).

Les valeurs faibles des écarts sont aussi dues au nombre important d'indicateurs utilisés pour l'évaluation de la performance. Il en résulte que même si les valeurs des indicateurs donnés ont été beaucoup améliorées, les valeurs stables des autres indicateurs réduisent l'écart correspondant.

Toutefois, il est toujours possible de tester plus de scénarios à partir des résultats de ces évaluations qui ont permis de montrer le sens d'évolution des écarts en modifiant des variables d'action données. Cela permettrait de faire des analyses plus poussées des corrélations entre la personnalisation de masse et la diversité en particulier, et les indicateurs de durabilité.

5. Conclusion

Ce chapitre illustre la méthodologie proposée par un cas d'étude dans le secteur des cuisines personnalisées. Cette illustration a montré l'utilité de la méthodologie notamment pour agréger les indicateurs, assez hétérogènes, et faciliter leur interprétation. Le démonstrateur a permis de mettre en cohérence les outils utilisés : modélisation, simulation et indicateurs de performance. Il a également permis d'identifier des zones d'amélioration notamment la flexibilité des indicateurs et du diagramme d'influence. Ainsi, il serait plus judicieux d'enrichir la liste des indicateurs ainsi que le diagramme d'influence par plus d'indicateurs et d'inducteurs de performance afin de renforcer leur applicabilité.

Les résultats poussent à aller de l'avant vers l'analyse des synergies entre la personnalisation de masse et la durabilité et chercher éventuellement les compromis dans des contextes donnés.

Conclusion générale

Ce nouveau concept, la personnalisation de masse durable, a suscité beaucoup d'attention à la fois dans le milieu académique et industriel vu la conjoncture économique actuelle marquée par des demandes personnalisées et une tendance à assurer un développement durable.

Dans le cadre des travaux de thèse nous nous sommes intéressés à l'évaluation de la performance des entreprises afin d'améliorer la durabilité des produits tout en gardant une offre assez variée (Figure 37).

Pour traiter une telle problématique on a dû la diviser en quatre sous-problématiques qui se résument dans les quatre questions de recherche suivantes :

- 1) Comment sélectionner des indicateurs de performance pour évaluer la durabilité et/ou la personnalisation de masse ?
- 2) Comment prendre en compte les inducteurs de performance de durabilité et de personnalisation de masse ?
- 3) Comment intégrer le comportement dans le temps de l'entreprise dans le calcul des indicateurs de performance?
- 4) Comment, dans ce contexte, aider une entreprise à trouver des pistes d'amélioration de sa performance?

Afin de répondre à la première question de recherche nous avons proposé une méthode à trois étapes allant de la définition des objectifs jusqu'à la priorisation des indicateurs de performance et faisant appel à la méthode AHP.

Nous avons fait appel à la modélisation d'entreprise pour tenter de répondre à la deuxième question de recherche. Plus concrètement nous avons construit le modèle SMC-E qui groupe les différents objets d'entreprises nécessaires à l'évaluation de la performance, dans le contexte particulier de personnalisation de masse durable. La modélisation, conformément à SMC-E, est assurée par les éditeurs développés dans le cadre du projet S-MC-S.

Afin de répondre à la troisième question de recherche nous avons proposé d'utiliser la simulation à base d'agents. Le modèle de simulation développé permet de calculer avec plus de fiabilité les indicateurs liés au coût et au délai et fournit des informations supplémentaires sur les ventes prévisionnelles, toujours avec prise en compte du contexte particulier de personnalisation de masse.

Une méthode basée sur la modélisation et la simulation et un diagramme d'influence a permis de traiter la dernière question de recherche. La modélisation et la simulation sont les outils

mentionnés précédemment tandis que le diagramme d'influence retrace les liens entre aspects, indicateurs de performance et inducteurs de performance.

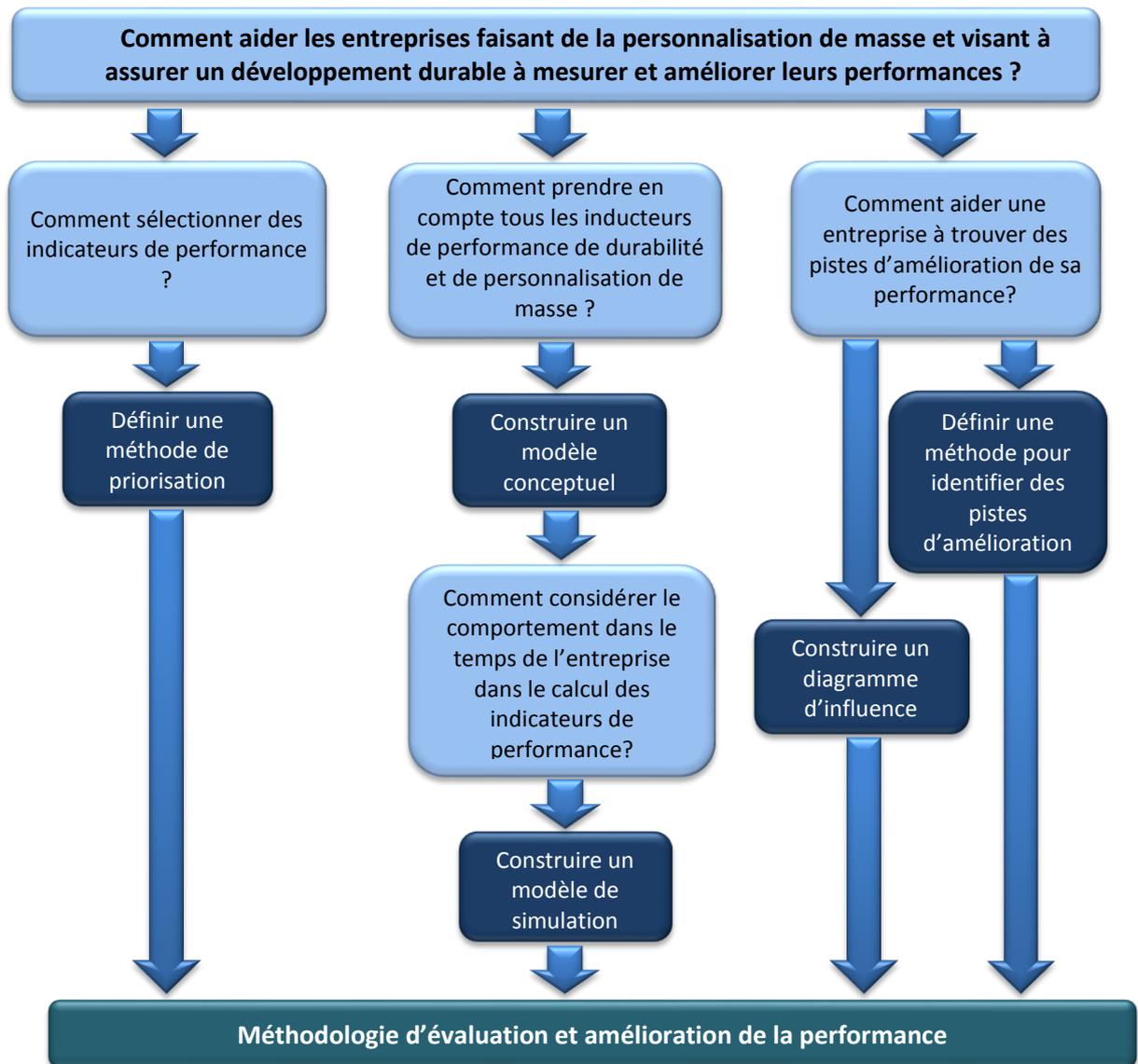


Figure 37: Méthodologie et résultats de recherche

Le démonstrateur développé a permis de mettre l'ensemble en cohérence en intégrant les outils utilisés par la méthodologie proposée. L'application à un cas d'étude a montré l'intérêt d'agréger les indicateurs et l'utilité de la modélisation et la simulation ainsi que le diagramme d'influence.

L'apport de la méthodologie réside dans :

- **L'intégration de l'évaluation de la performance de façon générale, la durabilité et la personnalisation de masse :** Chacun de ces axes a été souvent traité séparément, le développement des indicateurs couvrant les trois dimensions de durabilité, dans le

cadre du projet européen S-MC-S, a permis de faire une avancée considérable vers cette intégration. Cela forme la motivation principale de l'adoption de ces indicateurs en tant que référence dans la méthodologie proposée. Le **diagramme d'influence** construit sur la base de ces indicateurs reprend aussi les inducteurs de performance, ou encore variables d'action, impactant ces indicateurs. Cela permet d'identifier de possibles impacts mutuels entre les indicateurs de durabilité et de personnalisation.

- **L'agrégation des indicateurs de performance en partant d'une vision stratégique de l'entreprise :** cette agrégation basée sur des pondérations, permet à l'entreprise de s'approprier les indicateurs environnementaux, sociaux, économiques et de personnalisation de masse (i.e. phase I de la méthodologie). En effet, il est souvent difficile de convaincre un industriel d'utiliser un référentiel d'indicateurs donné pour l'évaluation et l'amélioration de la performance. Celle-ci offre à l'utilisateur la possibilité de décliner un référentiel générique à un contexte particulier via les poids des indicateurs.
- **L'utilisation de la modélisation et la simulation pour l'évaluation de la performance dans le contexte de personnalisation de masse durable :** même si ces outils ont été déjà utilisés dans le passé, leur adaptation au contexte de la diversité et la durabilité était nécessaire afin de rendre possible l'évaluation. Le modèle SMC-E spécifie le type d'éléments à retenir pour la modélisation et la simulation. Au niveau de l'implémentation, les éditeurs S-MC-S ont montré une efficacité quant à la modélisation du produit, processus de production et chaîne logistique en vue d'une évaluation de leur durabilité. Cette modélisation est complétée par la simulation à base d'agents qui tente de se rapprocher du contexte réel de l'entreprise : demande variée, valeurs d'attributs personnalisables, politiques d'approvisionnement, etc. Les résultats de la modélisation et de la simulation sont les valeurs des indicateurs de performance.

Finalement, on peut conclure que la personnalisation de masse peut être un moteur de développement durable, mais nécessite toujours l'évaluation des solutions conçues afin d'améliorer ou encore optimiser leurs performances au regard des trois dimensions de la durabilité.

L'approche proposée montre l'intérêt de coupler la modélisation et la simulation avec l'évaluation de performance. Modélisation et simulation prennent en considération le contexte de personnalisation de masse durable et ont permis d'évaluer la performance de

durabilité d'une solution personnalisée. Toutefois, des pistes d'amélioration et de recherche restent à creuser :

- **Collecte des données** : la collecte des données reste un défi notamment avec la multitude d'aspects liés à la durabilité et au contexte de diversité. D'une part, la durabilité avec ses trois dimensions se mesure par des indicateurs hétérogènes (ex. accidents, investissement, quantité de CO₂, etc.) qui nécessitent à leur tour de grandes quantités de données hétérogènes. D'autre part, la diversité a des implications pour le produit (ex. nomenclatures, etc.), processus de production (ex. reconfiguration) et chaîne logistique (ex. fournisseurs de composants donnés, etc.). Ces implications se traduisent par la quantité de données à gérer dans le contexte de personnalisation de masse. Ces défis nécessitent la structuration de données de façon à systématiser leur capitalisation de façon permanente pour assurer l'évaluation de la performance et la gestion de la complexité.
- **Diagramme d'influence** : le diagramme d'influence peut être enrichi par l'application à différents secteurs ce qui permet de renforcer sa flexibilité via l'ajout/suppression d'indicateurs. Des améliorations peuvent également être apportées à l'étape de l'instanciation du diagramme d'influence via la définition de "blocs" : des groupes d'indicateurs et inducteurs de performance qui dépendent du secteur d'activité de l'entreprise. Cela permet à l'utilisateur de prioriser plus efficacement les indicateurs vu qu'il ne dispose plus d'une liste générique d'indicateurs, mais des blocs plus ou moins pertinents au contexte de l'entreprise.
- **Plateforme d'évaluation et amélioration par la modélisation et la simulation** : certaines données d'entrée (ex. nomenclature, liste des fournisseurs, etc.) peuvent être éditées mais seulement en modifiant le code. Il serait plus judicieux de donner la possibilité à l'utilisateur d'évaluer facilement différentes configurations du produit, processus de production, et chaîne logistique. L'application à d'autres cas d'études permettrait également d'enrichir le démonstrateur et de revoir éventuellement le modèle conceptuel SMC-E pour renforcer son applicabilité.

Bibliographie

Valorisation scientifique

Publications dans des revues d'audience internationale à comité de lecture

- Medini, K., Le Duigou, J., Da Cunha, C., Bernard, A., et Voorhorst, F., 2013. Mass customisation and sustainable development, are they compatible paradigms? *International Journal of Mass Customisation*, en cours de review.
- Harik, R., El Hachem, W., Medini, K., et Bernard, A., 2013. Defining a performance measurement approach towards a holistic sustainability index, *International Journal of Production Research*, en cours de review.
- Medini, K., Da Cunha, C., et Bernard, A., 2013. Measuring Performance of Sustainable Mass Customizing Enterprises, *International Journal of Operations and Production Management*, en cours de révision.

Communications à des congrès internationaux à comité de sélection et actes publiés

- Medini, K., Da Cunha, C., et Bernard, A., 2011a. Enterprise modelling requirements for a sustainability multi-level assessment, In Proc. of the 21st International Conference on Production Research, Stuttgart, Germany.
- Medini, K., Da Cunha, C., et Bernard, A., 2011b. Towards an Integrated Mass Customization and Sustainability Assessment Framework, In Proc. of the 2011 World Conference on Mass Customization, Personalization, and Co-Creation, San Francisco, USA.
- Medini, K., Da Cunha, C., et Bernard, A., 2012a. Sustainable Mass Customized Enterprise: Key Concepts, Enablers and Assessment Techniques, In Proc. of the 14th IFAC Symposium on Information Control Problems in Manufacturing, Bucharest, Romania.
- Medini, K., Da Cunha, C., et Bernard, A., 2012b. An Enterprise Meta Model for the assessment and improvement of sustainability and mass customization performance, In Proc. of the 9th International Conference on Modeling, Optimization & SIMulation, Bordeaux, France.
- Medini, K., Da Cunha, C., et Bernard, A., 2012c. A Method for Developing Sustainability and Mass Customization Indicators, In Proc. of the International Workshop on Green Supply Chain, Arras, France.
- Medini, K., Da Cunha, C., et Bernard, A., 2012d. A Sustainability and Mass Customization Assessment Framework, In Proc. of the The ASME 2012 11th Biennial Conference on Engineering Systems Design and Analysis, Nantes, France.
- Medini, K., Da Cunha, C., et Bernard, A., 2013a. Méthodologie pour l'évaluation de la performance d'entreprises dans le contexte de la personnalisation de masse durable, 10ème Congrès International de Génie Industriel, La Rochelle, France.

Colloques sans actes ou avec actes à diffusion restreinte

- Medini, K., Da Cunha, C., et Bernard, A., 2013b. Modelling sustainable mass customizing supply networks for performance evaluation, Milano Mass Customization Workshop, Milan, Italie.

Medini, K., Da Cunha, C., et Bernard, A., 2013c. Evaluation et amélioration de la performance d'entreprises dans le contexte de personnalisation de masse durable, Colloque de Recherche de l'Intergroupe des Écoles Centrales, 24-27 juin 2013, Nantes, France.

Bibliographie externe

- Ageron, B., Gunasekaran, A., et Spalanzani, A., 2012. Sustainable supply management: An empirical study, *International Journal of Production Economics*, 140(1), 168-182.
- AnyLogic, 2012. Overview, [En ligne]. <http://www.anylogic.com/overview> (Page consultée Septembre 2012).
- Bellifemine, F., Poggi, A., et Rimassa, G., 1999. JADE – A FIPA-compliant agent framework, In *Proc. of the Practical Applications of Intelligent Agents and Multi Agent Technology*, London, UK.
- Bellifemine, F., Caire, G., Trucco, T., Rimassa, G., 2010. JADE programmer's guide, [En ligne]. <http://jade.tilab.com/doc/programmersguide.pdf> (Page consultée Mai 2013).
- Ben Salem, R., Grangel, G., et Bourey, J.P., 2007. A comparison of model transformation tools: Application for Transforming GRAI Extended Actigrams into UML Activity Diagrams, *Computers in Industry*, 59(7), 682-693.
- Bennour, M., 2004. Contribution à la Modélisation et à l'Affectation des Ressources Humaines dans les Processus, Thèse de Doctorat, Université Montpellier II, France.
- Bettoni, A., Corti, D., Fontana, A., Zebardast, M., et Pedrazzoli, P., 2013. Sustainable Mass Customization Assessment, in: Carneiro L.M., Jasinski T., Zolghadri M., Pedrazzoli P.(Ed.), *Intelligent Non-hierarchical Manufacturing Networks*, John Wiley & Sons, Inc., 249-276.
- Blecker, T., Abdelkafi, N., Kaluza, B., et Kreutler, G., 2004. A framework for understanding the interdependencies between mass customization and complexity', In *Proc. of the 2nd International Conference on Business Economics, Management and Marketing*, Athens, Greece.
- Blecker, T., Abdelkafi, N., Kaluza, B., et Friedrich, G., 2006. Controlling variety-induced complexity in mass customisation: a key metrics-based approach, *International Journal of Mass Customization*, 1(2/3), 272 – 298.
- Bourguignon, A., 2000. Performance et contrôle de gestion. In E. Economica (Ed.), *Encyclopédie de Comptabilité, Contrôle de gestion et Audit* (pp. 931-941). Ed. Economica.
- Brewer, P., et Speh, T., 2001. Adapting the balanced scorecard to supply chain management, *Supply Chain Management Review*, 5(2), 48–56.
- Brown H. S., de Jong M., et Lessidrenska T., 2009. The rise of the Global Reporting Initiative: a case of institutional entrepreneurship, *Environmental Politics*, 18(2), 182-200.
- Canetta, L., Pedrazzoli, P., Sorlini, M., Bettoni, A., Corti, D., et Boër, C.R., 2011. Customization and Manufacturing Sustainability – General considerations and footwear investigation, In *Proc. of the 2011 World Conference on Mass Customization, Personalization, and Co-Creation*, San Francisco, USA.
- Caro, J.J., Möller, J., et Getsios, D., 2010. Discrete Event Simulation: The Preferred Technique for Health Economic Evaluations?, *Value in Health*, 8(1), 1056-1060.

- Castellano, E., et Dolado, J., 2010. Product-processes-supply chain structures alignment for mass customization scenarios: A literature review, In Proc. of the 4th International Conference on Industrial Engineering and Industrial Management, San Sebastián, Spain.
- Centre des Sciences de l'Environnement (CML) et University of Technology (TUD/TB), Fuels and Raw Material Bureau (Bureau B&G), University of Amsterdam (UVA), IVAM-Environmental Research (IVAM-ER), Netherlands Organization for Applied Scientific Research (TNO), 2001. Life Cycle Assessment: An operational guide to the ISO standards - Part 1: LCA in Perspective [online]. Available from: <http://cml.leiden.edu/research/industrialecology/researchprojects/finished/newdutch-lca-guide.html>.
- Chan, F., et Qi, H., 2003. Feasibility of performance measurement system for supply chain: a process-based approach and measures, *Integrated Manufacturing Systems*, 14 (3), 179–190.
- Chapurlat, V., 2007. Vérification et validation de modèles de systèmes complexes: application à la Modélisation d'Entreprise, Habilitation à Diriger des Recherches, Université Montpellier II.
- Chen, K.Y., et Chen, C.J., 2010. Applying multi-agent technique in multi-section flexible manufacturing system, *Expert Systems with Applications*, 37(11), 7310–7318.
- Chinosi, M., et Trombetta, A., 2012. BPMN: An introduction to the standard, *Computer Standards & Interfaces*, 34(1), 124-134.
- Corti, D., Taisch, M., Pourabdollahian, G., Bettoni, A., Pedrazzoli, P., et Canetta, L., 2011. Proposal of a Reference Framework to Integrate Sustainability and Mass Customization in a Production Paradigm, In Proc. of the 2011 World Conference on Mass Customization, Personalization, and Co-Creation, San Francisco, USA.
- Da Silveira, G., Borestein, D. et Fogliatto, F.S., 2001. Customisation de masse literature review and research directions, *International Journal of Production Economics*, 72(1), 1-13.
- Daaboul, J., Bernard, A. et Laroche, F., 2009. Implementing Mass Customization: Literature Review, In Proc. of the 5th World Conference on Mass Customization and Personalization, Helsinki, Finlande.
- Daaboul, J., Bernard, A., et Laroche, F., 2010. Extended value network modeling and simulation for mass customization implementation, *Journal of Intelligent Manufacturing*, 23(6), 2427-2439.
- Daaboul, J., 2011. Modélisation et simulation de réseaux de valeur pour l'aide à la décision stratégique du passage de la production de masse à la customisation de masse, Thèse de Doctorat, École Centrale de Nantes, France.
- Daaboul, J., Da Cunha, C., Bernard, A, et Laroche, F. (2011) Design for mass customization: Product variety vs. process variety. *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, 60(1), 169-174.
- Doumeingts, G., 1985. How to decentralize decisions through GRAI model in production management, *Computers in Industry*, 6(6), 501-514.
- Dowlatsahi S., 2000. Developing a theory of reverse logistics, *Interfaces*, 30(3), 143–154.
- Dreyer, L., 2009. Inclusion of Social Aspects in Life Cycle Assessment of Products, Thèse de Doctorat, Technical University of Denmark, Danemark.

- Dreyer, L. K., Hauschild, M. Z., et Schierbeck, J., 2010a. Characterisation of social impacts in LCA. Part 1: Development of indicators for labour rights, *International Journal of Life Cycle Assessment*, 15(3), 247-259.
- Dreyer, L. K., Hauschild, M. Z., et Schierbeck, J., 2010b. Characterisation of social impacts in LCA. Part 2: implementation in six company case studies, *International Journal of Life Cycle Assessment*, 15(4), 385-402.
- Duray, R., Ward, P.T., Milligan, G.W., et Berry, W.L., 2000. Approaches to mass customization: configurations and empirical validation, *Journal of Operations Management*, 18(6), 605-625.
- El Mahmedi, A., Addouche, S.A., et Dafaoui, E.M., 2005. Identification des relations entre inducteurs et indicateurs de performance des processus d'entreprise. In Proc. of Conférence Internationale de Conception & Production Intégrées – Casablanca, Morocco.
- Eynard, B., 1999. Modélisation du produit et des activités de conception, contribution à la conduite et à la traçabilité des processus de conception, Thèse de Doctorat, Université de Bordeaux.
- Federal Information Processing Standard (FIPS), 1993. Integration Definition for Function modeling, Federal Information Processing Standard.
- FIPA, 2000, FIPA Communicative Act Library Specification, [En ligne]. <http://jmvidal.cse.sc.edu/library/XC00037H.pdf> (Page consultée Mai 2013).
- Fixson, S. K., 2005. Product architecture assessment: A tool to link product, process, and supply chain design decisions, *Journal of Operations Management*, 23(3-4), 345-369.
- Fogliatto, F., Da Silveira, G., et Borenstein, D., 2012. The mass customization decade: An updated review of the literature, *International Journal of Production Economics*, 138(1), 14-25.
- Folan, P., et Browne, J., 2005. A review of performance measurement: Towards performance management, *Computers in Industry*, 56(7), 663-680.
- Fortuin, L., 1988. Performance indicators—Why where and how?, *European Journal of Operational Research*, 34(1), 1- 9.
- Fowler, M., et Scott, K., 2003. UML Distilled: A Brief Guide to the Standard Object Modeling Language (3rd Edition). Addison-Wesley Professional.
- Fox, M.S., et Gruninger, M., 1997. On Ontologies and Enterprise Modelling, *International Conference on Enterprise Integration Modelling Technology 97*, Springer-Verlag.
- Garavelli, A.C., 2003. Flexibility configurations for the supply chain management, *International Journal of Production Economics*, 85(2), 141-153.
- Ghalayini, A.M., Noble, J.S., et Crowe, T.J., 1997. An integrated dynamic performance measurement system for improving manufacturing competitiveness, *International Journal of Production Economics*, 48(3), 207-225.
- Gimenez, C., Sierra, V., et Rodon, J., 2012. Sustainable operations: Their impact on the triple bottom line, *International Journal of Production Economics*, 140(1), 149-159.
- Global Reporting Initiative, 2002. Sustainability reporting guidelines, Global Reporting Initiative, Boston, USA.

- Gunasekaran, A., et Spalanzani, A., 2011. Sustainability of manufacturing and services: Investigations for research and applications, *International Journal of Production Economics*, 47(1), 99-111.
- Institut International du Développement Durable (IISD), 1992. Business strategies for sustainable development, IISD, Canada.
- Iosif, A.M., Hanrot, F., et Ablitzer, D., 2008. Process integrated modelling for steelmaking Life Cycle Inventory analysis, *Environmental Impact Assessment Review*, 28 (7), 429-438.
- Ishii, K., Juengel, C., et Eubanks, C., 1995, Design for product variety: key to product line structuring, In Proc. of the ASME 9th International Conference on Design Theory and Methodology (Boston, MA), DE. 83(2), 499–506.
- Jansen-Vullers, M.H., et Netjes, M., 2006. Business process simulation – a tool survey, In Proc. of the Seventh Workshop on the Practical Use of Coloured Petri Nets and CPN Tools, Aarhus, Denmark.
- Jayal, A.D., Badurdeen, F., Dillon, O.W., et Jawahir. Jr.I.S., 2010. Sustainable manufacturing: Modelling and optimization challenges at the product, process and system levels, *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology*, 2(3), 144-152.
- Ji, J., Qi, L., et Gu, Q., 2007. Study on CODP Position of Process Industry Implemented Mass Customization, *Systems engineering - Theory and practice* 12, 152–157.
- Jiao, J., et Tseng, M. M., 2000. Understanding product family for mass customization by developing commonality indices, *Journal of Engineering Design*, 11(3), 225-243.
- Jiao, J. et Tseng, M. M., 2004. Customizability analysis in design for mass customization, *Computer-Aided Design*, 36(8), 745-757.
- Jiao, J., Huang, G. G. Q., et Tseng, M. M., 2004. Concurrent enterprising for mass customization, *Concurrent Engineering: Research and Application*, 12(2), 83–88.
- Jiao, J., Simpson, T.W., et Siddique, Z., 2007a. Product family design and platform-based product development: a state-of-the-art review, *International Journal of Intelligent Manufacturing*, 18(1), 5-29.
- Jiao, J., Zhang, L., et Pokharel, S., 2007b. Process Platform Planning for Variety Coordination From Design to Production in Mass Customization Manufacturing, *IEEE Transactions on Engineering Management*, 54(1), 112-129.
- Jorgensen, A., Le Bocq, A., Nazarkina, L., et Hauschild, M., 2008. Methodologies for social life cycle assessment, *International Journal of Life Cycle Assessment*, 13(2), 96-103.
- Kaplan, R., et Norton, D., 1996. Linking the balanced scorecard to strategy, *California Management Review*, 39 (1), 53–79.
- Kleindorfer P. R., Singhal K., et Van Wassenhove L. N., 2005. Sustainable Operations Management, *Production and Operations Management*, 14(4), 482-492.
- Krikke, H., Bloemhof-Ruwaard J., et Van Wassenhove L. N., 2003. Concurrent design of closed loop supply chains: A production and return network for refrigerators, *International Journal of Production Research*, 41(6) 3689-3719.
- Kruse, S. A., Flysjö A., Kasperczyk N., et Scholz A. J., 2008. Socioeconomic indicators as a complement to life cycle assessment—an application to salmon production systems, *International Journal of Life Cycle Assessment*, 14(1), 8-18.

- Labarthe, O., Espinasse, B., Ferrarini, A., et Montreuil, B., 2007. Toward a methodological framework for agent-based modelling and simulation of supply chains in a mass customization context, *Simulation Modelling Practice and Theory*, 15(2), 113-136.
- Labrousse, M., 2004, Proposition d'un Modèle Conceptuel Unifié pour la Gestion Dynamique des Connaissances d'entreprise, Thèse de Doctorat, École Centrale de Nantes.
- Labrousse, M., et Bernard, A., 2008. FBS-PPRE, an Enterprise Based Knowledge Life Cycle Model, *Methods and Tools for Effective Knowledge Life-Cycle-Management*, 285-305.
- Labuschagne, C., Brent A. C., et van Erck R. P. G., 2004. Assessing the sustainability performances of industries, *Journal of Cleaner Production*, 13(4), 373-385.
- Le Duigou, J., 2010. Cadre de modélisation pour les systèmes PLM en entreprise étendue, Thèse de Doctorat, École Centrale de Nantes, France.
- Le Duigou, J., Medini, K., Sabe, R., Bombelli, F., Tori, A., 2010. S-MC-S D1.4 Industrial scenarios definition, Commission Européenne.
- Lee, Y.H., Cho, M.K., et Kim, Y.P., 2002. A Discrete-Continuous Combined Modeling Approach for Supply Chain Simulation, *Simulation*, 78(5), 321-329.
- Lohman, C., Fortuin, L., et Wouters, M., 2004. Designing a performance measurement system: A case study, *European Journal of Operational Research*, 156(2), 267-286.
- 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, École Centrale de Nantes.
- MacCarthy, B., Brabazon, P.G., et Bramham, J., 2003. Fundamental modes of operation for mass customization, *International Journal of Production Economics*, 85(3), 289-304.
- Medini, K., Bettoni, A., Fontana, A., Corti D., et Zebardast, M., 2011. S-MC-S - D3.1 Assessment Model, European Commission, 507p.
- Medini, K., et Bourey, J.P., 2012. SCOR-based enterprise architecture methodology, *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 25(7), 594-607.
- Mentzer, J.T., DeWitt, W., Keebler, J.S., Min, S., Nix, N.W., Smith, C.D., et Zacharia, Z.G., 2001. Defining supply chain management, *Journal of Business Logistics*, 22 (2), 1-25.
- Moratis, P., Petraki, E., et Spanoudakis, N. I., 2003. Engineering JADE agents with the Gaia methodology, In Proc. of the NODE 2003 agent-related conference on Agent technologies, infrastructures, tools, and applications for E-services, Springer-Verlag, pp. 77-91
- Murata, T., 1989. Petri nets: properties, analysis and applications, In Proc. of IEEE, Chicago, 541-580.
- Nations Unies, 2001. Indicators of Sustainable Development: Guidelines and methodologies, United Nations, USA.
- Neely, A.D., Gregory, M., et Platts, K., 1995. Performance measurement system design: a literature review and research agenda, *International Journal of Operations and Production Management* 15 (4), 80-116.
- OMG, 2011. Business process model and notation (BPMN 2.0), formal/2011-01-03, OMG, online, accessible from: <http://www.omg.org/spec/BPMN/2.0>.
- Piller, F. T., 2004. Mass Customization: Reflections on the state of the Concept, *International Journal of Flexible Manufacturing Systems*, 16(4), 313-334.

- Pine, B. J., 1993. *Mass Customization: The New Frontier in Business Competition*. Harvard Business School Press, Boston.
- Pine, B.J., Victor, B., et Boynton, A.C., 1993. Making mass customization work, *Harvard Business Review*, 108-119.
- Programme de l'Environnement des Nations Unies (UNEP), 2009. *Guidelines for Social Life Cycle Assessment of Products*, UNEP, Belgium.
- Ravelomanantsoa, 2009. *Contribution à la définition d'un cadre générique pour la définition, l'implantation et l'exploitation de la performance : Application à la méthode ECOGRAI*, Thèse de Doctorat, Université de Bordeaux.
- Rebitzer, G., Ekvall T., Frischknecht R., Hunkeler D., Norris G., Rydberg T., et al., 2004. Life cycle assessment part 1: framework, goal and scope definition, inventory analysis, and applications, *Environment International*, 30(5), 701-720.
- Renna, P., et Argoneto P., 2010. Production planning and automated negotiation for SMEs: An agent based e-procurement application. *International Journal of Production Economics*, 127(1),73-84.
- Saaty, T. L., 2008. Decision making with the analytic hierarchy process. *International Journal Services Sciences*, 1(1), 83-98.
- Shen, H., Wall, B., Zaremba, M., Chen, Y., et Browne, J., 2004. Integration of business modelling methods for enterprise information system analysis and user requirements gathering, *Computers in Industry*, (3), 307-323.
- S-MC-S consortium, 2011. *S-MC-S - D0.1 M18 Progress Report*, European Commission.
- Spangenberg, J. H., et Bonniot O., 1998. *Sustainability Indicators- A Compass towards Sustainability*, Wupperval Institute for Climate, Environment, Energy, Germany.
- Supply Chain Council, 2010. *Supply Chain Operations References Version 10.0*, Supply Chain Council.
- Tseng, M., Jiao, J.M., et Merchant, E., 1996. Design for Mass Customization, *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, 45(1), 153-156.
- Ulrich, K., 1995. The role of product architecture in the manufacturing firm. *Research Policy*, 24(3), 419-440.
- Vernadat, F., 1999. *Techniques de modélisation en entreprise: applications aux processus opérationnels*, Economica, ISBN 2-7178-3853-8.
- Vernadat, F., 2002, UEMML: Towards a unified enterprise modelling language, *International Journal of Production Research*, 40(17), 4309-432.
- von Hippel, E., 2001. Perspective: User Toolkits for Innovation. *Journal of Product Innovation Management*, 18(4), 247-257.
- Walsh, E.W., 2001. *Market Protocols for Decentralized Supply Chain Formation*, Thèse de Doctorat, Université de Michigan, USA.
- Welborn, C., 2009. Customization Index: Evaluating the Flexibility of Operations in a Mass Customization Environment, *The IUP Journal of Operations Management*, 8 (2), 6-13.
- White, S.A., 2004. Process modeling notations and workflow patterns, in: L. Fischer (Ed.), *Workflow Handbook*, Future Strategies Inc., Lighthouse Point, FL, USA, 115-126.

- Yang, S. L. et Li, T. F., 2002. Agility evaluation of mass customization product manufacturing. *Journal of Materials Processing Technology*, 129(1-3), 640-644.
- Zachman, J. A., 1987. A Framework for Information Systems Architecture, *IBM Systems Journal*, 26 (3), 276-292.

Logiciels

- Aerospace Valley, 2013. TOPCASED Toolkit In OPen source for Critical Applications and SystEms Development Tool User Guide Template V1.1, [En ligne]<http://www.topcased.org/index.php?documentsSynthesis=y&Itemid=59> (Page consultée Octobre 2013).
- Flexsim Software Products, Inc., 2012. Logiciel de Simulation FlexSim - Vue d'ensemble, [En ligne]. <http://www.flexsim.com/fr/flexsim/> (Page consultée Septembre 2012).
- Java Agent DEvelopment Framework, 2012. Technical Description, [En ligne], <http://jade.tilab.com/index.html> (Page consultée Septembre 2012).
- Rockwell Automation, 2012. Value-driven solutions to solve industry challenges, [En ligne]. http://www.arenasimulation.com/Arena_Home.aspx (Page consultée Septembre 2012).
- Software AG, 2012. ARIS Platform, [En ligne]. http://www.softwareag.com/corporate/products/aris_platform/default.asp (Page consultée Septembre 2012).
- TIBCO Software Inc., 2012. TIBCO Business Studio, [En ligne]. https://docs.tibco.com/pub/activematrix_bpm/1.3.1_july_2012/doc/pdf/TIB_bstudio-bpm_implementation.pdf (Page consultée Septembre 2012).
- Ventana Systems, 2012. Inc., Vensim Software, [En ligne]. <http://vensim.com/vensim-software/> (Page consultée Septembre 2012).
- Westergaard, M., 2012. Documentation, [En ligne]. <http://cpntools.org/documentation/start> (Page consultée Septembre 2012).
- Wilensky, U., 2012. NetLogo, [En ligne]. <http://ccl.northwestern.edu/netlogo/index.shtml> (Page consultée Septembre 2012).

Annexe A : Indicateurs de durabilité et de de personnalisation de masse

Les définitions des acronymes utilisés dans le tableau 21 sont les suivantes :

- i : phase du cycle du vie du produit, $i \in \{extraction, traitement\ du\ matériau, usinage, transport, utilisation, fin\ de\ vie\}$.
- k : le matériau du produit et/ou composant.
- Q_{ik} : quantité du produit composée du matériau k pendant la phase i .
- C_{ik} : coût de matière de Q_{ik} .
- WH_a : nombre d'heures travaillées dans l'activité a .
- HW_i : coût horaire des opérateurs pendant la phase i .
- Q_{ea} et C_{ea} : respectivement, quantité et coût d'énergie utilisées pendant l'activité a .
- SPT_p et EPT_p : respectivement, dates de début et de fin de la production du produit p et N est la production annuelle.
- PT_{ka} , QT_{ka} , MT_{ka} et ST_a : respectivement, temps de fabrication, d'attente, de transfert et d'installation relatifs à l'activité a et au matériau k .
- T : période de temps et P_p production du produit p pendant la période T .
- TR_{perf} : valeur particulière de TR prise dans les conditions suivantes: pas de pertes et pas de défaillance des machines.
- P , OH et CA : respectivement, prix de vente, frais généraux et chiffre d'affaires prévisionnel.
- C_c , C_e et C_f : respectivement, coûts de consommables, d'énergie et de fin de vie du produit.
- Inv : montant des investissements en recherche et développement et CA_p est le chiffre d'affaires prévisionnel du produit p .

Tableau 21: Définitions et formules simplifiées des indicateurs économiques

Indicateurs	Définitions	Formules simplifiées	Unités de mesure
UVPC - Unitary Variable Production Cost	UVPC mesure les coûts directs (déduction faite des frais généraux et des impôts) liées à la fabrication d'une unité de produit.	$UVPC = \sum_i \sum_k \sum_a \sum_e Q_{ik} \times C_{ik} + WH_a \times HW_i + Q_{ea} \times C_{ea}$	€
PLT - Production Lead Time	PLT mesure le temps total nécessaire à la production d'un article; les temps de préparation de commande, d'attente, d'installation, d'exécution, de transfert, d'inspection, et de rangement.	$PLT = \sum_p \frac{(EPT_p - SPT_p)}{N}$	h
VPLT - Variability of Production Lead Time	VPLT mesure combien les délais de production diffèrent de la valeur moyenne.	$VPLT = \frac{\sigma}{\mu}$ Tel que : $\sigma = \sqrt{\frac{\sum_p (PLT_p - \mu)^2}{N}}$ et $\mu = \frac{\sum_p PLT_p}{N}$	#
VAT - Value Added Time	VAT mesure le pourcentage du délai des opérations qui augmentent la valeur du produit du délai total de production.	$VAT = 100 \times \sum_k \sum_a \frac{PT_{ka}}{PT_{ka} + QT_{ka} + MT_{ka} + ST_a}$	%
TR - Throughput Rate	TR mesure le nombre d'articles qui peuvent être traités en une période donnée par le système de production.	$TR = \frac{P_p}{T}$	h ⁻¹
CUR- Capacity utilization rate	CUR mesure la capacité du système de production de réagir à des événements imprévus, sans perdre de son efficacité.	$CUR = 100 \times \frac{TR}{TR_{perf}}$	%
UEGP- Unitary Expected Gross Profit	UEGP mesure la différence entre les revenus obtenus par les ventes de produits par an (calculé sur un volume prévu et une gamme de produits) et les coûts connexes, avant déduction des frais généraux, salaires, impôts et paiements d'intérêts.	$UEGP = P - (UVPC + \frac{P}{CA} \times \frac{OH}{N})$	€
PLC - Product Lifecycle Cost	PLC mesure le coût total que le client doit payer au cours du cycle de vie des produits (prix, utilisation, entretien, réparation et fin de vie).	$PLC = P + C_c + C_e + C_f$	€
RDII - R&D Investments Intensity	RDII mesure les investissements de la société en recherche et développement en les allouant à l'espace des solutions.	$RDII = Inv \times \frac{CA_p}{CA}$	€

Les définitions des acronymes utilisés dans le tableau 22 sont les suivantes :

- i : phase du cycle du vie du produit, $i \in \{extraction, traitement\ du\ matériau, usinage, transport, utilisation, fin\ de\ vie\}$.
- j : composant du produit et k matériau du composant.
- Q_{jk} : quantité du matériau k dans le composant j .
- $GWP_{ik}, POCP_{ik}, WEP_{ik}, ODP_{ik}, AP_{ik}, FAETP_{ik}, FSETP_{ik}, MAETP_{ik}, MSETP_{ik}, TETP_{ik}, NRD_{ik}, WD_{ik}, ED_{ik}, WP_{ik}$ et PRP_{ik} : facteurs de caractérisation qui mesurent l'impact unitaire de la partie du produit composée du matériau k pendant la phase i .

Tableau 22: Définitions et formules simplifiées des indicateurs environnementaux

Indicateurs	Définitions	Formules simplifiées	Unités de mesure
GWP – Global Warming Potential	GWP mesure la contribution du GWP au réchauffement climatique causé par les émissions de gaz à effet de serre dans l'atmosphère.	$GWP = \sum_i \sum_j \sum_k Q_{jk} \times GWP_{ik}$	kg eq. CO ₂
POCP – Photochemical Ozone Creation Potential	PCOP calcule le potentiel de création d'ozone troposphérique causée par la libération de ces gaz qui deviendront oxydants dans la basse atmosphère sous l'action du rayonnement solaire.	$POCP = \sum_i \sum_j \sum_k Q_{jk} \times POCP_{ik}$	g eq. C ₂ H ₄
WEP – Water Eutrophication Potential	WEP mesure la contribution à l'eutrophisation de l'eau (enrichissement en éléments nutritifs) des lacs et des eaux marines causées par le rejet de substances polluantes dans l'eau.	$WEP = \sum_i \sum_j \sum_k Q_{jk} \times WEP_{ik}$	g eq. PO ₄ ³⁻
ODP – Stratospheric Ozone Depletion Potential	ODP mesure la contribution à l'appauvrissement de la couche d'ozone stratosphérique causé par les émissions de gaz.	$ODP = \sum_i \sum_j \sum_k Q_{jk} \times ODP_{ik}$	g eq. CFC-11
AP – Air Acidification Potential	AP mesure la contribution à l'acidification de l'air causée par les émissions de gaz dans l'atmosphère.	$AP = \sum_i \sum_j \sum_k Q_{jk} \times AP_{ik}$	g eq. H ⁺
FAETP - Fresh Water Aquatic Eco-Toxicity Potential	FAETP mesure l'impact relatif des substances toxiques sur le milieu aquatique d'eau douce à cause des émissions dans l'air, l'eau douce, l'eau de mer et le sol.	$FAETP = \sum_i \sum_j \sum_k Q_{jk} \times FAETP_{ik}$	kg eq. 1,4-DCB

FSETP- Fresh Water Sediment Eco-Toxicity Potential	FSETP mesure l'impact relatif des substances toxiques sur le milieu aquatique d'eau douce à cause des émissions dans l'air, l'eau douce, l'eau de mer et le sol.	$FSETP = \sum_i \sum_j \sum_k Q_{jk} \times FSETP_{ik}$	kg eq. 1,4-DCB
MAETP- Marine Aquatic Eco-Toxicity Potential	MAETP mesure l'impact relatif des substances toxiques sur le milieu aquatique marin à cause des émissions dans l'air, l'eau douce, l'eau de mer et le sol.	$MAETP = \sum_i \sum_j \sum_k Q_{jk} \times MAETP_{ik}$	kg eq. 1,4-DCB
MSETP- Marine Sediment Eco-Toxicity Potential	MSETP mesure l'impact relatif des substances toxiques sur les sédiments marins à cause des émissions dans l'air, l'eau douce, l'eau de mer et le sol.	$MSETP = \sum_i \sum_j \sum_k Q_{jk} \times GWP_{ik}$	kg eq. 1,4-DCB
TETP - Terrestrial Eco-Toxicity Potential	TETP mesure l'impact relatif des substances toxiques sur l'environnement terrestre à cause des émissions dans l'air, l'eau douce, l'eau de mer et le sol.	$TETP = \sum_i \sum_j \sum_k Q_{jk} \times TETP_{ik}$	kg eq. 1,4-DCB
NRD - Natural Resources Depletion	NRD mesure l'épuisement des ressources naturelles abiotiques non renouvelables.	$NRD = \sum_i \sum_j \sum_k Q_{jk} \times NRD_{ik}$	kg antimony eq.
WD - Water Depletion	WD mesure l'eau de toute qualité (potable, industrielle, etc.) consommée au cours du cycle de vie du produit. L'eau utilisée dans un processus en boucle fermée n'est pas prise en compte.	$GWP = \sum_i \sum_j \sum_k Q_{jk} \times GWP_{ik}$	m ³
ED - Energy Depletion	ED mesure l'énergie consommée pendant le cycle de vie du produit.	$ED = \sum_i \sum_j \sum_k Q_{jk} \times ED_{ik}$	kwh
WP - Waste Production	WP calcule la quantité de déchets produits pendant le cycle de vie du produit.	$WP = \sum_i \sum_j \sum_k Q_{jk} \times WP_{ik}$	kg
PRP - Product Recycling Potential	PRP calcule le pourcentage en poids du produit qui pourrait être recyclé en utilisant les meilleures techniques actuelles de recyclage.	$PRP = \sum_i \sum_j \sum_k Q_{jk} \times PRP_{ik}$	%

Les définitions des acronymes utilisés dans le tableau 23 sont les suivantes :

- II_p : nombre annuel d'accidents de travail dans l'entreprise et chez ses fournisseurs tout au long du cycle de vie du produit p .
- SEI_p : montant des investissements pour renforcer les mesures de sécurité tout au long du cycle de vie du produit p .
- WTI_p : nombre d'employés quittant l'entreprise et ses fournisseurs tout au long du cycle de vie du produit p .
- MSO_p : nombre d'employés qualifiés dans l'entreprise et chez ses fournisseurs, intervenant dans la production du produit p .
- SDI_p : montant des investissements pour le développement du personnel dans l'entreprise et chez ses fournisseurs pour la production du produit p .
- IB_p et IT_p : respectivement montants des 10% des salaires les plus faibles et les plus élevés dans l'entreprise et chez ses fournisseurs, impliqués dans la production du produit p .
- IL_p : valeur moyenne du niveau de salaire des employés de l'entreprise et de ses fournisseurs, impliqués dans la production du produit p .
- WH_p : nombre moyen d'heures travaillées par semaine par les employés de l'entreprise et de ses fournisseurs, impliqués dans la production du produit p .
- CL_p : pourcentage des enfants parmi les employés de l'entreprise et de ses fournisseurs, impliqués dans la production du produit p .
- CL_p : pourcentage des achats faits chez des fournisseurs locaux pour la production du produit p .
- CCI_p : montant des dons de charité faits par l'entreprise et ses fournisseurs, impliqués dans la production du produit p .
- i : phase du cycle du vie du produit, $i \in \{extraction, traitement\ du\ matériau, usinage, transport, utilisation, fin\ de\ vie\}$.
- j : composant du produit et k matériau de ce composant.
- Q_{jk} : quantité de du matériau k dans le composant j .
- HTP_{ik} : facteur de caractérisation qui mesure l'impact unitaire de la partie du produit composée du matériau k pendant la phase i .

Tableau 23: Définitions et formules simplifiées des indicateurs sociaux

Indicateur	Définition	Formule simplifiée	Unité de mesure
II - Injuries Intensity	II mesure le nombre d'accidents annuels liés au travail, les maladies et les décès survenus dans la société en les allouant à l'espace des solutions.	$II = II_p$	#
SEI - Safety Expenditures Intensity	SEI mesure les dépenses de l'entreprise pour renforcer les mesures de sécurité en les allouant à l'espace solution.	$SEI = SEI_p$	€
WTI - Workforce Turnover Intensity	WTI mesure le nombre des salariés quittant l'entreprise en les allouant à l'espace des solutions.	$WTI = WTI_p$	#
MSO - Multi Skilled Operators	MSO mesure le pourcentage des travailleurs qualifiés dans l'espace des solutions.	$MSO = MSO_p$	%
SDI - Staff Development Investments	SDI mesure le pourcentage des investissements de l'entreprise pour le développement du personnel au sein de l'espace des solutions.	$SDI = SDI_p$	%
ID - Income Distribution	ID mesure l'équité de la distribution des salaires des employés dans l'espace des solutions.	$ID = \frac{IB_p}{IT_p}$	#
IL- Income Level	IL mesure le revenu annuel moyen par employé divisé par le revenu moyen par personne dans le pays où l'entreprise est située.	$IL = IL_p$	#
WH- Worked Hours	WH mesure le nombre d'heures travaillées par employé par semaine.	$WH = WH_p$	Heure
CL - Child Labour	CL mesure le pourcentage des fournisseurs dans l'espace des solutions embauchant des enfants.	$CL = CL_p$	%
LS - Local Supply	LS mesure le pourcentage des dépenses faites pour acheter des articles auprès des fournisseurs locaux.	$WH = LS_p$	%
CCI- Charitable Contribution Intensity	CCI mesure les dépenses dans des œuvres caritatives.	$CCI = CCI_p$	€
HTP - Human Toxicity Potential	HTP mesure l'impact relatif des substances toxiques sur les êtres humains liés aux émissions dans l'air, l'eau douce, l'eau de mer et la terre agricole et industrielle.	$HTP = \sum_i \sum_j \sum_k Q_{jk} \times HTP_{ik}$	kg eq. 1,4- DCB

Les définitions des acronymes utilisés dans le tableau 24 sont les suivantes :

- i : phase du cycle du vie du produit, $i \in \{extraction, traitement\ du\ matériau, usinage, transport, utilisation, fin\ de\ vie\}$.
- k : matériau du produit et/ou composant.
- Q_{ik} : quantité du produit composée du matériau k pendant la phase i .
- C_{ik} : coût de Q_{ik} .
- WH_a : nombre d'heures travaillées dans l'activité a .
- HW_i : coût horaire des opérateurs pendant la phase i .
- Q_{ea} et C_{ea} : respectivement, la quantité et le coût d'énergie utilisée pendant l'activité a .
- SPT_p et EPT_p : respectivement la date de début et de fin de la production du produit p et N production annuelle.
- PT_{ka} , QT_{ka} , MT_{ka} et ST_a : respectivement, temps de fabrication, d'attente, de transfert et d'installation relatifs à l'activité a et au matériau k .
- T : période de temps et P_p production du produit p pendant la période T .
- TR_{perf} : valeur particulière de TR prise dans les conditions suivantes: pas de pertes et pas de défaillance des machines.
- NCF_p : nombre moyen de fonctions personnalisables dans le produit p .
- OCF_a , OCF_f et OCF_{ft} : respectivement, nombre moyens d'options par aspect de personnalisation esthétique, fonctionnel et d'adéquation.
- ACF_r , FCF_r et $FTCF_r$: respectivement, nombre d'options de personnalisation esthétiques, fonctionnelle et d'adéquation dans la classe r , $r \in \{1,2,3,4,5\}$.
- OPT , PLT et SLT : respectivement, délais moyens de traitement de la commande, de production et d'expédition du produit p .
- MSO_p : nombre d'employés qualifiés dans l'entreprise et chez ses fournisseurs, intervenant dans le production d produit p .

Tableau 24: Définitions et formules simplifiées des indicateurs de personnalisation de masse

Indicateurs	Définitions	Formules simplifiées	Unités de mesure
UVPC - Unitary Variable Production Cost	UVPC mesure les coûts directs (déduction faite des frais généraux et des impôts) liées à la fabrication d'une unité de produit.	$UVPC = \sum_i \sum_k \sum_a \sum_e Q_{ik} \times C_{ik} + WH_a \times HW_i + Q_{ea}$	€
PLT - Production Lead Time	PLT mesure le temps total nécessaire à la production d'un article; les temps de préparation de commande, d'attente, d'installation, d'exécution, de transfert, d'inspection, et de rangement.	$PLT = \sum_p \frac{(EPT_p - SPT_p)}{N}$	h
VPLT - Variability of Production Lead Time	VPLT mesure combien les délais de production diffèrent de la valeur moyenne.	$VPLT = \frac{\sigma}{\mu}$ Tel que : $\sigma = \sqrt{\frac{\sum_p (PLT_p - \mu)^2}{N}}$ et $\mu = \frac{\sum_p PLT_p}{N}$	#
VAT - Value Added Time	VAT mesure le pourcentage du délai des opérations qui augmentent la valeur du produit du délai total de production.	$VAT = 100 \times \sum_k \sum_a \frac{PT_{ka}}{PT_{ka} + QT_{ka} + MT_{ka} + ST_a}$	%
TR - Throughput Rate	TR mesure le nombre d'articles qui peuvent être traités en une période donnée par le système de production.	$TR = \frac{P_p}{T}$	h ⁻¹
CUR- Capacity utilization rate	CUR mesure la capacité du système de production de réagir à des événements imprévus, sans perdre de son efficacité.	$CUR = 100 \times \frac{TR}{TR_{perf}}$	%
NCF – Average Number of Customizable Features	Nombre moyen de fonctions personnalisables.	$NCF = NCF_p$	#
OCF- average number of Options per Customizable Feature	Nombre moyen d'options par fonction personnalisable.	Vecteur OCF de coordonnées : (OCF _a , OCF _f et OCF _{ft}) tels que : $OCF_a = \frac{\sum_r ACF_r \times r}{ACF}$ $OCF_f = \frac{\sum_r FCF_r \times r}{FCF}$ $OCF_{ft} = \frac{\sum_r FTCF_r \times r}{FTCF}$	#
DLT – Delivery Lead Time	Délai de livraison	$DLT = OPT_p + PLT_p + SLT_p$	h
MSO – Level of Multi-skilled Operators	MSO mesure le pourcentage des travailleurs qualifiés dans l'espace des solutions.	$MSO = MSO_p$	%

Annexe B : Messages ACL et comportements dans JADE

Tableau 25: Les types de messages selon FIPA ACL (FIPA, 2000)

Type	Définition
Accept Proposal	Accepter une proposition.
Agree	Approuver une demande.
Cancel	Annuler une demande.
Cfp	Lancer un appel à propositions.
Confirm	Confirmer l'exactitude du contenu.
Disconfirm	Confirmer la fausseté du contenu.
Failure	Annoncer l'échec d'une action.
Inform	Annoncer une information.
Inform-if	Demander si une information est vraie ou pas.
Inform-ref	Demander la valeur d'une expression.
Not-understood	Annoncer la non-compréhension du contenu.
Propagate	Demander de propager un message.
Propose	Répondre à un Cfp.
Proxy	Demander la sélection d'un agent et l'envoi d'un message.
Query-if	Demander si une proposition est vraie.
Query-ref	Demander la valeur d'une expression.
Refuse	Refuser une action donnée en indiquant la raison.
Reject-proposal	Refuser une proposition durant la négociation.
Request	Demander la réalisation d'une action donnée.
Request-when	Demander la réalisation d'une action donnée quand une proposition est vraie.
Request-whenever	Demander la réalisation d'une action donnée à chaque fois qu'une proposition est vraie.
Subscribe	Demander une notification de la référence d'un objet à chaque fois qu'elle change.

Tableau 26: Les comportements dans JADE (Bellifemine et al., 2010)

Comportement	Définition
SimpleBehaviour	Représente des comportements simples.
OneShotBehaviour	Représente des comportements simples qui doivent être exécutés une seule fois.
CyclicBehaviour	Représente des comportements simples qui doivent être exécutés continuellement.
WakerBehaviour	Implémente une seule tâche qui doit être exécutée après un délai donné.
TickerBehaviour	Implémente une tâche cyclique qui doit être exécutée de façon périodique.
CompositeBehaviour	Modélise des comportements constitués d'autres comportements dits « enfants ».
SequentialBehaviour	C'est une <i>CompositeBehaviour</i> qui exécute ses sous-comportements de façon séquentielle et se termine lorsque tous les sous-comportements sont exécutés.
ParallelBehaviour	C'est une <i>CompositeBehaviour</i> qui exécute ses sous-comportements de façon parallèle et se termine lorsqu'une condition donnée liée à un de ses sous-comportements est vérifiée.
FSMBehaviour	C'est une <i>CompositeBehaviour</i> qui exécute ses sous-comportements selon une des machines à états finis définies par l'utilisateur.

Annexe C : Code Java des agents

Le code Java des trois agents de types: Client, Entreprise et Fournisseur est présenté ci-après. Les commentaires, utilisés pour faciliter la compréhension du code, sont surlignés. Certaines parties du code ne sont pas détaillées et sont représentées par des pointillés. Aussi, les déclarations de variables et les importations de packages ne sont pas présentées.

Agent Client

```
public class CustomerAgent extends Agent {
    protected void setup () {
        ParallelBehaviour customerBehaviour=new ParallelBehaviour();
        addBehaviour(customerBehaviour);

        //Générateur de commandes
        customerBehaviour.addSubBehaviour(new TickerBehaviour(this, (long)demanddata.freq6000)
        {
            public void onTick()
            {
                currentTime=System.currentTimeMillis();

                //Générateur des variantes
                VariantGenerator variantGenerator = new VariantGenerator(demanddata);

                //Construction de la nomenclature niveau 1
                grpcharniere[0]=new
                Component("Charnière",variantGenerator.qCharPl,1,defaultComplList,defaultMatList,true);
                ⋮
                carcasse [1]=new Component ("Bordures carcasse",
                variantGenerator.qBordCarc,1,defaultComplList,defaultMatList,true);

                //Construction de la nomenclature niveau 0
                product[0]=new Component ("Poignée", productdata.qPoignee,1, defaultComplList,
                defaultMatList, true);
                ⋮
                product[8]=new Component ("Epingle carcasse", productdata.qEpinCarc, 1, defaultComplList,
                defaultMatList, true);

                //Construction de la commande
                cOrder newOrder= new cOrder("00"+num,product,1,Receptiondate,false,false,
                variantGenerator.variante);

                //Envoi de la commande à l'entreprise
                ACLMessage order=new ACLMessage(ACLMessage.REQUEST);
                try{
                    order.setContentObject(newOrder);
                }
                catch(IOException e){
                    System.out.println("-----ERROR: "+e+" -----");
                }
                order.addReceiver(new AID("Podium", AID.ISLOCALNAME));
                send(order);

                //Fermeture de la plateforme de simulation
                if (duration>=tmpSimulation*800) {
                    myAgent.doSuspend();
                }
            }
        }
    }
};

//Réception des messages de confirmation des commandes
customerBehaviour.addSubBehaviour(new CyclicBehaviour (this){
    public void action(){
        ACLMessage orderDelivered=receive(MessageTemplate.MatchPerformative(ACLMessage.INFORM));
        if(orderDelivered!=null){
            try{
```



```

operations.addSubBehaviour(new InventoryControllerBehaviour());
seq.addSubBehaviour(new Init());
seq.addSubBehaviour(operations);
addBehaviour(seq);
}

//Comportement initialisation
class Init extends OneShotBehaviour {
    public void action() {
        Interface.main(null);

        //Initialisation de la date de disponibilité
        Man_avDate=(double)System.currentTimeMillis()+1000;

        //Initialisation du niveau de stock
        inventory.put("Poignée",processdata.invPoignee);
        :
        inventory.put("Epingle carcasse",processdata.invEpinCarc);

        //Initialisation des encours d'achats
        inProgress.put("Poignée",0.0);
        :
        inProgress.put("Epingle carcasse",0.0);

        //Initialisation des stocks de sécurité
        safetyStock.put("Poignée",processdata.ssPoignee);
        :
        safetyStock.put("Epingle carcasse",processdata.ssEpinCarc);

        //Initialisation de la taille minimale de lot acheté
        minLotSize.put("Poignée",processdata.lotPoignee);
        :
        minLotSize.put("Epingle carcasse",processdata.lotEpinCarc);

        //Initialisation de la taille de lot d'achat
        LotSize.put("Poignée",processdata.lotSPoignee);
        :
        LotSize.put("Epingle carcasse",processdata.lotSEpinCarc);

        //Initialisation du stock moyen
        averageInventory.put("Poignée",processdata.invPoignee);
        :
        averageInventory.put("Epingle carcasse",processdata.invEpinCarc);
    }
}

//Comportement réception des commandes
public class OrdersReceiver extends CyclicBehaviour {
    public void action() {
        ACLMessage msg=receive(MessageTemplate.MatchPerformative(ACLMessage.REQUEST));

        //Vérification du contenu non vide du message reçu
        if (msg!=null){

            //Récupération du contenu du message dans la file des commandes
            cOrder newOrder;
            try {
                newOrder = (cOrder)msg.getContentObject();
                c_orderQueue[count]=newOrder;
                count=count+1;
            } catch (UnreadableException e) {
                e.printStackTrace();
            }

            //Méthode BLock() pour éviter les boucles d'exécution infinies
            block();
        }
    }
}

//Comportement traitement des commandes
public class ProcessorBehaviour extends CyclicBehaviour {
    public void action (){

```

```

//Parcours de la file des commandes
for (int i=1;i<coQSize;i++){

    //Vérification du contenu non vide de la file
    if (c_orderQueue[i]!=null){

        //Vérification que la commande n'a pas été livrée
        if (!c_orderQueue[i].done){

            //Lancement des ordres d'achat et production
            PurchasingBehaviour(c_orderQueue[i],nc);
            ProductionBehaviour(myAgent);
        }
    }
}

//Méthode Block() pour éviter les boucles d'exécution infinies
block();
}

}

//Comportement production
public void ProductionBehaviour (Agent a){
    mprocess(a);
}

//Comportement livraison
public class DeliveryBehaviour extends CyclicBehaviour {
    public void action (){
        for (int i=1;i<coQSize;i++){
            if (c_orderQueue[i]!=null){

                //Vérification que la commande n'a pas été déjà livrée
                if (!c_orderQueue[i].done){
                    cOrder b= Delivery(c_orderQueue[i],myAgent);
                    averageCost.productionCost=averageCost.productionCost+43.9;
                }
            }
        }

        //Méthode Block() pour éviter les boucles d'exécution infinies
        block();
    }
}

//Fonction livraison
public cOrder Delivery (final cOrder a, Agent c){
    final cOrder local=a;
    if (a.done==false){
        boolean orderIsReady=true;
        for (int l=0;l<nc;l++){
            if (a.item[l].ready==false){
                orderIsReady=false;
            }
        }

        //Vérification que la commande est prête pour la livraison
        if (orderIsReady==true) {
            System.out.println("\n***** Order: "+a.ID+" is ready for delivery *****\n");

            //Mise à jours du stock
            for (int j=0;j<nc;j++){
                inventory.put(a.item[j].ID, ((double)inventory.get(a.item[j].ID)-
                a.item[j].reqQuantity));
            }

            //Exécution de la livraison
            addBehaviour(new WakerBehaviour(c, (long)deliveryLT){
                public void onWake(){

                    //Mise à jours du coût de livraison
                    averageCost.deliveryCost=averageCost.deliveryCost+209.00;
                }
            });
        }
    }
}

```

```

        //Mise à jours des données de ventes
        :
        //Affichage des résultats dans l'interface graphique des résultats
        :
        //Confirmation de la livraison de la commande via un Message ACL
        ACLMessage deliveryConfirm=new ACLMessage(ACLMessage.INFORM);
        deliveryConfirm.addReceiver(new AID("Customer",AID.ISLOCALNAME ));
        try{
            deliveryConfirm.setContentObject(local);
        }
        catch(IOException e){
            System.out.println("-----ERROR: "+e+" -----");
        }
        send(deliveryConfirm);

        //Calcul du coût total
        :

        //Calcul du coût unitaire
        :
    }
    });

    //Mise à jours du statut de la commande après sa livraison
    a.done=true;
}
}
return (a);
}

//Procédure de nettoyage de la file des commandes
public void cleanOrderQueue(cOrder[] a) {
    int i=1;
    int k=0;
    for (i=1;i<coQSize;i++) {
        if (a[i]!=null){
            if (a[i].done){
                for (int j=i;j<coQSize-1;j++){
                    a[j]=a[j+1];
                }
                a[coQSize-k-1]=null;
                k=k+1;
            }
        }
    }
}

//Mise à jours du niveau moyen de stock
public class InventoryControllerBehaviour extends CyclicBehaviour {
    public void action () {
        averageInventory.put("Poignée",((Double)averageInventory.get("Poignée")+((Double)inventory.get("Poignée"))/2);
        :
        averageInventory.put("Epingle carcasse",((Double)averageInventory.get("Epingle carcasse")+((Double)inventory.get("Epingle carcasse"))/2);

        AverageInventory averageInventoryInit=new AverageInventory
        ((Double)averageInventory.get("Poignée")
        :
        (Double)averageInventory.get("Epingle carcasse"));
        averageCost.inventoryCost=averageCost.inventoryCost+
        tauxPossessionInit.pPoignee*averageInventoryInit.aPoignee*supplyCostInit.cPoignee+
        :
        +tauxPossessionInit.pEpinCarc*averageInventoryInit.aEpinCarc*supplyCostInit.cEpinCarc;

        block();
    }
}

//Procédure qui gère la planification et l'exécution des activités d'achat et de production
public void PurchasingBehaviour(final cOrder a, final int nc){
    for (int l=0;l<nc;l++){
        if (a.item[l].purchased){

```

```

//Détermination du besoin et des quantités disponibles
double unitOf=(Double)unit.get(a.item[1].ID);
double min_PurchaseQuantity=(Double)minLotSize.get(a.item[1].ID);
minPurchaseQuantity =unitOf*min_PurchaseQuantity;
purchaseLotSize=(Double)LotSize.get(a.item[1].ID);
double avQ= (Double) inProgress.get(a.item[1].ID)+(Double)inventory.get(a.item[1].ID)-
(Double)safetyStock.get(a.item[1].ID);
double reqQ=a.quantity*a.item[1].reqQuantity;

//Définition de la quantité du composant à acheter selon le stock disponible
if(avQ<reqQ){
    double purchasingQuantity=0;
    if ((reqQ-avQ)<minPurchaseQuantity){
        purchasingQuantity=minPurchaseQuantity;
    }
    else {
        purchasingQuantity=((1+(reqQ-avQ))/purchaseLotSize)*
        purchaseLotSize*(Double)unit.get(a.item[1].ID);
    }

    //Préparation de l'ordre d'achat des composants
    iOrder po= new iOrder(a.item[1].ID, a.ID, a.item[1].ID, purchasingQuantity);

    //Approvisionnement en composants
    sprocess(po,a.item[1],this);
}
if(avQ>=reqQ) {
    a.item[1].ready=true;
}
}
else {
    //Composant à fabriquer
    for (int j=0;j<a.item[1].numComp;j++){
        double unitOf=(Double)unit.get(a.item[1].comp[j].ID);
        double min_PurchaseQuantity=(Double)minLotSize.get(a.item[1].comp[j].ID);
        minPurchaseQuantity=unitOf*min_PurchaseQuantity;
        purchaseLotSize=(Double)LotSize.get(a.item[1].comp[j].ID);
        avQ[j]= (Double)inProgress.get(a.item[1].comp[j].ID)+
        (Double)inventory.get(a.item[1].comp[j].ID)-
        (Double)safetyStock.get(a.item[1].comp[j].ID);
        reqQ[j]= a.quantity*a.item[1].reqQuantity*a.item[1].comp[j].reqQuantity;
        if(avQ[j]<reqQ[j]){
            //Matière première et/ou composants non disponible

            //Calcul de la quantité à commander
            double purchasingQuantity= 0;
            if ((reqQ[j]-avQ[j])<minPurchaseQuantity){
                purchasingQuantity=minPurchaseQuantity;
            }
            else {
                purchasingQuantity=((1+(reqQ[j]-avQ[j]))/purchaseLotSize)*
                purchaseLotSize*(Double)unit.get(a.item[1].comp[j].ID);
            }

            //Commande de la quantité calculée
            iOrder po= new iOrder(a.item[1].ID, a.ID, a.item[1].ID, purchasingQuantity);
            sprocess(po,a.item[1].comp[j],this);
        }
        else a.item[1].comp[j].ready=true;
    }
}
}

//Ordre d'achat ou de production
public class iOrder{
    public String ID,oID;
    public String item;
    public double quantity;
    public boolean done=false;
    public iOrder(String a, String b, String c, double d){
        ID=a;

```



```

public void sprocess (final iOrder a, final Component b, Agent c){

//Sélection du fournisseur
String supplier=supplierSelector(b.ID,b,a.quantity);

//Commande de la matière première et/ou composant chez le fournisseur
ACLMessage order=new ACLMessage(ACLMessage.QUERY_REF);
order.setContent(a.ID);
order.addReceiver(new AID(supplier,AID.ISLOCALNAME));
order.setConversationId(a.ID);
send(order);

//Mise à jour des encours d'achat
InProgress.put(b.ID, (double)InProgress.get(b.ID)+a.quantity);
addBehaviour(new SimpleBehaviour(){
    public void action(){
        ACLMessage orderReception=
            receive(MessageTemplate.and(MessageTemplate.MatchConversationId(a.ID),
                MessageTemplate.MatchPerformative(ACLMessage.CONFIRM)));
        if (orderReception!=null){
            addBehaviour(new WakerBehaviour(myAgent,(long)supplierLT){
                public void onWake(){
                    System.out.println("***** I have received material from my supplier *****");
                    if (b.purchased){
                        b.ready=true;
                    }
                }
            });

// Mise à jour du stock
inventory.put(b.ID, (double) inventory.get(b.ID)+a.quantity);

// Mise à jour des encours d'achat
InProgress.put(b.ID, (double)InProgress.get(b.ID)- a.quantity);
        }
    });
}
done();
}
@Override
public boolean done() {
    return true;
}
});
}

//Procédure de sélection du fournisseur
public String supplierSelector(String item, Component b, double c){
    String supp="";
    if (item.equals("Poignée")){
        supp="SuppH";
        supplierLT=SuppH.sLT;
        averageCost.purchasingCost=averageCost.purchasingCost+((HandleCostGenerator(100)*c));
    }
    :
    else if (item.equals("Vis")){
        supp="SuppBO";
        supplierLT=SuppBO.sLT;
        averageCost.purchasingCost=averageCost.purchasingCost+
            ((supplyCostInit.cVis*c)/(Double)unit.get(item));
    }
    return (supp);
}

//Fonction pour calculer le délai de production
public double LT(process a, iOrder b){
    double LT;
    LT=a.pLT;
    return (LT);
}

//Fonction pour calculer la date de disponibilité du système de production
public double avDate(double avDate, double LT){
    if (System.currentTimeMillis()<avDate){
        avDate=avDate+LT-System.currentTimeMillis();
        System.out.println();
    }
}

```

```

        avDate=LT;
        return(avDate);
    }

    //Génération des valeurs de coût de la poignée, selon la variante
    public double HandleCostGenerator(int max){
        :
        return (cost);
    }

    //Fonction pour générer des valeurs aléatoires
    public int refGenerator(int max){
        Random randomFunction=new Random();
        return (randomFunction.nextInt(max));
    }

    //Classe processus
    public class process {
        public String pID;
        public double pLT;
        public double cap;
        public process(String a, double b, double c){
            pID=a;
            pLT=b;
            cap=c;
        }
    }

    //Classe produit
    public class Product {
        public Component[] components;
        public String variant,productfamily;
        public Product (Component [] c){
            super ();
        }
    }

    //Classe matériau
    public class Material {
        public double unitCost, quantity, stock;
        public boolean input, unintended;
        public Material (double a, double b){
            unitCost=a;
            stock=b;
        }
    }
}

```

Agent Fournisseur

```

public class SupplierAgent extends Agent {
    protected void setup () {

        addBehaviour( new CyclicBehaviour(this)
        {
            public void action()
            {
                //Réception des commandes, et confirmation
                ACLMessage msg=receive(MessageTemplate.MatchPerformative(ACLMessage.QUERY_REF));
                if (msg!=null) {
                    ACLMessage confirm= msg.createReply();
                    confirm.setContent(msg.getContent());
                    confirm.setPerformative(ACLMessage.CONFIRM);
                    send(confirm);
                    block();
                }
            }
        });
    }
}

```

Annexe D : Données collectées sur le cas d'étude

Tableau 27: Données sur le produit

<i>Composant</i>	<i>Variante</i>	<i>Quantité (kg)</i>	<i>Fréquence dans la gamme de produits (%)</i>	<i>Type de matériau</i>
<i>Poignée</i>	00307	0,0970	1,70%	Zamak
	00308	0,0970	0,60%	Zamak
	00309	0,0970	2,50%	Zamak
	00337	0,0969	11,90%	Acier au chrome
	00339	0,0451	4,80%	Aluminium
	00345	0,1163	29,90%	Acier au chrome
	00389	0,0969	23,70%	Acier au chrome
	00390	0,0970	7,00%	Zamak
	00391	0,0970	3,70%	Zamak
	00392	0,0970	8,20%	Zamak
	00393	0,0970	0,70%	Zamak
	00394	0,0970	4,10%	Zamak
00395	0,0970	1,30%	Zamak	
<i>Charnière</i>	Charnière	0,1534	100,00%	Acier
<i>Plaque de montage de la charnière</i>	Plaque de montage de la charnière	0,0558	100,00%	Acier, ABS
<i>Bordures</i>	Bordures 400	0,3518	5%	Polypropylène, ABS
	Bordures 275	0,3330	5%	
	Bordures 500	0,3686	5%	
	Bordures 550	0,3759	40%	
	Bordures 450	0,3610	5%	
	Bordures 600	0,3857	40%	
<i>Vis</i>	Vis pour poignée	0,0682	100,00%	Acier
<i>Panneau avant</i>	Panneau avant 400	3,9900	5%	Eurodekor
	Panneau avant 275	2,7300	5%	
	Panneau avant 500	4,9700	5%	
	Panneau avant 550	5,5300	40%	
	Panneau avant 450	4,4800	5%	
	Panneau avant 600	6,0200	40%	
<i>Panneaux carcasse</i>	Panneaux carcasse 400	16,4500	5%	Fibres de bois, Eurodekor
	Panneaux carcasse 275	19,9500	5%	
	Panneaux carcasse 500	14,1400	5%	
	Panneaux carcasse 550	18,2700	40%	
	Panneaux carcasse 450	17,4300	5%	
	Panneaux carcasse 600	20,0900	40%	
<i>Panneau arrière</i>	Panneau arrière 550	0,1870	5%	Fibres de bois, mélamine
	Panneau arrière 275	0,1290	5%	
	Panneau arrière 500	0,2340	5%	
	Panneau arrière 550	0,2570	40%	
	Panneau arrière 450	0,2110	5%	
	Panneau arrière 600	0,2810	40%	
<i>Etagère</i>	Etagère 400	2,1518	5%	Eurodekor
	Etagère 275	1,4168	5%	
	Etagère 500	2,7398	5%	
	Etagère 550	3,0338	40%	
	Etagère 450	2,4458	5%	
	Etagère 600	3,3278	5%	
<i>Epingle pour étagère</i>	Epingle pour étagère	0,0076	100%	Aluminium
<i>Epingle pour la carcasse</i>	Epingle pour la carcasse	0,0157	100%	Bois de sciage

Tableau 28: Données de production du placard

Activité	Temps d'installation (minutes)	Délai (minutes)	Taille de lot	Coût de l'électricité (€)	Coût horaire de l'opérateur (€)	Opérateur qualifié ?	Taux de rebus	Coefficient de Perte
Découpage	5	30	-	1.61	38,25	Oui	0	10%
Bordure	-	30	16	1.61	38,25	Oui	0	4%
Perçage	-	24	30	0.85	38,25	Oui	0	0
Assemblage	-	2	-	0.85	38,25	Oui	0	0
Emballage	-	1	-	-	34,00	Oui	0	0

Tableau 29: Liste des processus modélisés

Processus	Description	Unité fonctionnelle (kg)
BackPanelMnf	Production du panneau arrière, partie en fibre, épaisseur 550	0.9795
	Production du panneau arrière, partie en mélamine, épaisseur 550	0.2608
	Production du panneau arrière, partie en fibre, épaisseur 600	1.0687
	Production du panneau arrière, partie en mélamine, épaisseur 600	0.2848
BoardForBodyMnf	Production des panneaux pour la carcasse	16.0773
BoardForFrontMnf	Production du panneau pour la face	5.4148
CabinetMnf	Production du placard	-
CabinetUse	Utilisation du placard	-
EdgeFrontPanelFrontExtraction	Extraction de la matière première des bordures, épaisseur 550	0.0200
	Extraction de la matière première des bordures, épaisseur 600	0.0220
EdgeFrontPanelSideExtraction	Extraction de la matière première des bordures	0.0280
EdgeShelfFrontExtraction	Extraction de la matière première des bordures, épaisseur 550	0.0080
	Extraction de la matière première des bordures, épaisseur 600	0.0090
EdgeShelfSideExtraction	Extraction de la matière première des bordures	0.0080
EdgeSidePanelFrontExtraction	Extraction de la matière première des bordures	0.0120
EdgeSidePanelSideExtraction	Extraction de la matière première des bordures	0.0040
EdgeUpperPanelExtraction	Extraction de la matière première des bordures, épaisseur 550	0.0010
	Extraction de la matière première des bordures, épaisseur 600	0.0090
HandleMnf	Production de la poignée 00307	0,0970
	Production de la poignée 00308	0,0970
	Production de la poignée 00309	0,0970
	Production de la poignée 00337	0,0969
	Production de la poignée 00339	0,0451
	Production de la poignée 00345	0,1163
	Production de la poignée 00389	0,0969
	Production de la poignée 00390	0,0970
	Production de la poignée 00391	0,0970
	Production de la poignée 00392	0,0970
	Production de la poignée 00393	0,0970
	Production de la poignée 00394	0,0970
Production de la poignée 00395	0,0970	
HingeMnf	Production des charnières	0,1534
HingeMountingPlateMnf	Production des plaques de montage des charnières	0,0558
ScrewMnf	Production des vis	0,0682
ShlefMnf	Production de l'étagère	2,2934
ShlefPinMnf	Production des épingles de l'étagère	0,0076
WoddenPinMnf	Production des épingles de la carcasse	0,0157

Tableau 30: Données sur les fournisseurs

Fournisseur	Délai moyen (jours)	Distance de l'entreprise (km)	Moyen de transport	Offre du fournisseur	
				Composant/matière première	Part du fournisseur
BL	20	203	Camion	Charnière Plaque de montage de la charnière	100%
EG	20	423	Camion	Panneau pour porte	80%
				Panneaux pour carcasse	80%
				Etagère	80%
KR	20	172	Camion	Panneau pour porte	20%
				Panneaux pour carcasse	20%
				Etagère	20%
BO	20	662	Camion	Vis	100%
EI	20	-	Camion	Epingle pour carcasse	100%
FA	20	224	Camion	Panneau arrière	100%
H	20	251	Camion	Poignée	100 %
				Epingle pour étagère	100%
P	20	655	Camion	Bordure étagère, face	100%
				Bordure étagère, côté	100%
				Bordure panneau du côté, face	100%
				Bordure panneau du côté, haut	100%
				Bordure du panneau latéral du haut, face	100%
R	20	503	Camion	Bordure du panneau avant, côté	100%
				Bordure du panneau avant, face	100%

Tableau 32: Comparaison des aspects de performance

Matrice P										
	EM	UR	P	EFF	RENT	INV	CTR	COML	NP	NS
EM	1.00	1.00	0.33	0.20	0.14	0.33	0.20	1.00	0.20	0.14
UR	1.00	1.00	5.00	0.14	3.00	5.00	0.20	5.00	0.20	5.00
P	3.00	0.20	1.00	0.33	0.14	1.00	0.20	0.20	0.20	0.14
EFF	5.00	7.00	3.00	1.00	1.00	5.00	5.00	5.00	1.00	1.00
RENT	7.00	0.33	7.00	1.00	1.00	5.00	0.33	5.00	5.00	5.00
INV	3.00	0.20	1.00	0.20	0.20	1.00	3.00	5.00	1.00	1.00
CTR	5.00	5.00	5.00	0.20	3.00	0.33	1.00	5.00	1.00	1.00
COML	1.00	0.20	5.00	0.20	0.20	0.20	0.20	1.00	0.14	0.14
NP	5.00	5.00	5.00	1.00	0.20	1.00	1.00	7.00	1.00	0.20
NS	7.00	0.20	7.00	1.00	0.20	1.00	1.00	7.00	5.00	1.00

Tableau 33: Comparaison des indicateurs selon leur importance au regard des émissions

Emissions	GWP	POCP	EP	ODP	AP	FAETP	FSETP	MAETP	MSETP	TETP
GWP	1.00	7.00	0.33	7.00	1.00	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20
POCP	0.14	1.00	1.00	1.00	1.00	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20
EP	3.00	1.00	1.00	1.00	1.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00
ODP	0.14	1.00	1.00	1.00	1.00	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20
AP	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
FAETP	5.00	5.00	0.20	5.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
FSETP	5.00	5.00	0.20	5.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
MAETP	5.00	5.00	0.20	5.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
MSETP	5.00	5.00	0.20	5.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
TETP	5.00	5.00	0.20	5.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

Tableau 34: Comparaison des indicateurs selon leur importance au regard de l'utilisation des ressources

Utilisation des ressources	NRD	WD	ED
NRD	1.00	0.20	0.33
WD	5.00	1.00	5.00
ED	3.00	0.20	1.00

Tableau 35: Comparaison des indicateurs selon leur importance au regard des pertes

Pertes	WP	PRP
WP	1.00	9.00
PRP	0.11	1.00

Tableau 36: Comparaison des indicateurs selon leur importance au regard de l'efficacité

Efficacité	UPVC	PLT	VPLT	VAT	TR	CUR
UPVC	1.00	7.00	3.00	7.00	1.00	0.20
PLT	0.14	1.00	5.00	1.00	1.00	1.00
VPLT	0.33	0.20	1.00	0.20	3.00	3.00
VAT	0.14	1.00	5.00	1.00	1.00	1.00
TR	1.00	1.00	0.33	1.00	1.00	1.00
CUR	5.00	1.00	0.33	1.00	1.00	1.00

Tableau 37: Comparaison des indicateurs selon leur importance au regard de la rentabilité

Rentabilité	UEGP	PLC
UEGP	1.00	5.00
PLC	0.20	1.00

Tableau 38: Comparaison des indicateurs selon leur importance au regard des conditions de travail

Conditions de travail	II	SEI	WTI	MSO	SDII	ID	IL	WH	CL	HTP
II	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.14	1.00
SEI	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.14	0.20
WTI	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.14	0.20
MSO	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.14	0.14
SDII	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.14	0.14
ID	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.14	0.20
IL	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.14	0.20
WH	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.14	0.20
CL	7.00	7.00	7.00	7.00	7.00	7.00	7.00	7.00	1.00	0.20
HTP	1.00	5.00	5.00	7.00	7.00	5.00	5.00	5.00	5.00	1.00

Tableau 39: Comparaison des indicateurs selon leur importance au regard de la communauté locale

Communauté locale	LS	CCI
LS	1.00	1.00
CCI	1.00	1.00

Tableau 40: Comparaison des indicateurs selon leur importance au regard du niveau de personnalisation

Niveau de personnalisation	NCF	OCF
NCF	1.00	1.00
OCF	1.00	1.00

EVALUATION DE LA PERFORMANCE D'ENTREPRISES DANS LE CONTEXTE DE LA PERSONNALISATION DE MASSE DURABLE

Résumé

La diversité de la demande et l'émergence de niches de marchés, accompagnées par la mobilisation des gouvernements et de la société en vue d'un développement durable font de la personnalisation de masse durable une stratégie prometteuse. Selon quoi, les entreprises sont amenées à répondre aux besoins des individus à grande échelle, tout en assurant un développement durable. Cela requiert une évaluation continue de la performance de l'entreprise afin de s'assurer du progrès vers la personnalisation de masse durable.

Ce travail s'intéresse à l'évaluation de la performance des entreprises adoptant une stratégie de personnalisation de masse et engagées sur la voie du développement durable en tentant de répondre à la question : Comment aider les entreprises faisant de la personnalisation de masse et visant à assurer un développement durable à mesurer et améliorer leurs performances ?

Afin de traiter cette problématique, nous avons proposé un modèle conceptuel qui groupe les objets d'entreprise influant sur la performance en termes de durabilité et de personnalisation de masse. Un tel modèle a également servi pour la construction d'un modèle de simulation ayant pour objectif d'évaluer différents scénarios d'amélioration avec des indicateurs de performance. L'identification de ces scénarios est supportée par un diagramme d'influence qui retrace les liens de causalité entre les indicateurs et les inducteurs de performance. Le choix des indicateurs et leur priorisation sont assurés par une méthode de trois étapes basée sur des interviews. Nous avons proposé une méthodologie générale qui met l'ensemble de ces outils et méthodes en cohérence. Nous avons également développé un démonstrateur qui présente un premier travail d'implémentation des différentes étapes de la méthodologie.

L'application à un cas d'étude dans le secteur de cuisines personnalisées a montré l'intérêt de la proposition, mais a aussi permis d'identifier les zones d'amélioration.

Mots-clés : performance, indicateurs, personnalisation de masse, développement durable, modélisation d'entreprise, simulation, AHP, systèmes multi-agents.

ENTERPRISE PERFORMANCE EVALUATION IN THE CONTEXT OF SUSTAINABLE MASS CUSTOMIZATION

Abstract

Demand variety and emergence of niche markets, accompanied by engagement of governments and society in sustainable development makes sustainable mass customization a promising strategy. According to which, companies should meet the needs of individuals on a large scale, while ensuring sustainable development. This requires a continuous process of performance evaluation of the company to make sure it moves forward to sustainable mass customization.

In this thesis, we focused on sustainable mass customizing enterprises' performance evaluation, more particularly we addressed the question: how can we help sustainable mass customizing enterprises measuring and improving their performance?

We have proposed a conceptual model of the sustainable mass customizing enterprise (SMC-E) where we grouped enterprise objects impacting enterprise performance. Such a model provided the basis for building a simulation model aimed at evaluating different improvement scenarios of the performance by using indicators. Improvement scenarios are identified with the help of an influence diagram which tracks the causal links between performance inductors and indicators. These latter are chosen and prioritized using a three steps method based on interviews. We have proposed a general methodology to put together coherently all the proposed tools and methods and developed a demonstrator as a first implementation effort.

The proposition is illustrated with a case study in the kitchen furniture sector that showed its usefulness and pointed out several improvement rooms.

Keywords : performance, indicators, mass customization, sustainable development, enterprise modeling, simulation, AHP, multi-agent systems.