



**HAL**  
open science

# Contributions à la conception de produits configurables dans les systèmes avancés de CAO

Homam Issa

► **To cite this version:**

Homam Issa. Contributions à la conception de produits configurables dans les systèmes avancés de CAO. Génie mécanique [physics.class-ph]. Université de Technologie de Belfort-Montbéliard, 2015. Français. NNT : 2015BELF0282 . tel-01619709

**HAL Id: tel-01619709**

**<https://theses.hal.science/tel-01619709>**

Submitted on 19 Oct 2017

**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.

# SPIM

## Thèse de Doctorat



école doctorale sciences pour l'ingénieur et microtechniques

UNIVERSITÉ DE TECHNOLOGIE BELFORT-MONTBÉLIARD

# **Contributions à la Conception de Produits Configurables dans les Systèmes Avancés de CAO**

 HOMAM ISSA



# SPIM

## Thèse de Doctorat



école doctorale sciences pour l'ingénieur et microtechniques  
UNIVERSITÉ DE TECHNOLOGIE BELFORT-MONTBÉLIARD

N°

THÈSE présentée par

**HOMAM ISSA**

pour obtenir le

Grade de Docteur de

l'Université de Technologie de Belfort-Montbéliard

Spécialité : **Sciences Pour l'Ingénieur**

Soutenance prévue publiquement le 17 décembre 2015 devant le Jury composé de :

Amadou COULIBALY	Rapporteur	HDR, INSA Strasbourg
Lionel ROUCOULES	Rapporteur	Professeur des Universités, Arts et Métiers ParisTech
Jean-François BOUJUT	Examineur	Professeur des Universités, INP – ENSGI Grenoble
Alain-Jérôme FOUGERES	Examineur	HDR, ESTA Belfort
Michel LENCZNER	Directeur de thèse	Professeur des Universités, UTBM
Egon OSTROSI	Co-encadrant de thèse	Maître de Conférences, UTBM



*A mes parents...*



## REMERCIEMENTS

*Soyons reconnaissants aux personnes qui nous donnent  
du bonheur ; elles sont les charmants jardiniers  
par qui nos âmes sont fleuries.*

**Marcel Proust**

En premier lieu, je tiens à remercier chaleureusement mon directeur de thèse, Monsieur Michel LENCZNER, et mon co-encadrant de thèse Monsieur Egon OSTROSI pour la confiance qu'ils m'ont accordée en acceptant d'encadrer ce travail doctoral ainsi que pour leurs multiples conseils tout au long de ces années de thèse. Ils ont su à cette occasion m'apprendre les rouages subtils du monde de la recherche.

J'adresse également mes sincères remerciements aux membres du jury. Merci à Messieurs Amadou COULIBALY et Lionel ROUCOULES d'avoir accepté la fastidieuse tâche d'être rapporteur de ce manuscrit. C'est un honneur de vous avoir comme rapporteurs. Je remercie Messieurs Jean-François BOUJUT et Alain-Jérôme FOUGERES qui ont accepté de faire partie de ce jury.

Je remercie le MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR en SYRIE qui a financé cette thèse. Merci à Monsieur Rabie HABIB à l'université TICHRINE d'avoir suivi mon dossier de bourse tout au long de ces années.

Je tiens à remercier tous mes amis du laboratoire IRTES-M3M, (Salima, Aristide, Noëlie, Michèle, Lorenzo, Elise, Abdelhakim, Mourad, Germain, Aquil, Renye, Timothée, Alain, Brahiman, Anh Tuan) pour la bonne ambiance de travail mais également pour les nombreux bons moments passés ensemble. Je remercie particulièrement Béatrice ROSSEZ pour son efficacité dans le suivi administratif, son accueil ainsi que sa bonne humeur et je remercie Pascal ALDINGER pour son aide et pour tous les précieux conseils qu'il m'a donné.

J'adresse toute ma gratitude à tous mes ami(e)s et à toutes les personnes qui m'ont aidé et permis d'oublier momentanément l'angoisse et la tristesse liées aux terribles événements que subit mon pays.

Enfin, un très grand MERCI à mes parents, à mes frères et sœur pour leur soutien malgré la distance. Ils sont à jamais dans mon cœur.



# TABLE DES MATIERES

TABLE DES MATIERES.....	i
LISTE DES FIGURES.....	v
LISTE DES TABLEAUX.....	ix
INTRODUCTION GENERALE.....	3
CHAPITRE 1 : ETAT DE L'ART.....	9
1.1.    Introduction.....	9
1.2.    Conception et processus de conception.....	10
1.2.1.    La définition de la conception.....	10
1.2.2.    Le processus de conception.....	11
1.2.2.1.    Les modèles de la conception.....	14
1.2.2.1.1.    L'axe descriptif de la conception.....	15
1.2.2.1.2.    L'axe prescriptif de la conception.....	18
1.2.2.1.3.    Les modèles numériques.....	19
1.2.2.2.    La conception pour X : DFX (Design for X).....	21
1.3.    La conception modulaire.....	22
1.3.1.    Le développement et le regroupement des modules.....	24
1.3.2.    Le développement d'interfaces entre des modules.....	25
1.3.3.    Design Structure Matrix (DSM).....	26
1.4.    La conception axiomatique.....	28
1.4.1.    Introduction.....	28
1.4.2.    Les axiomes et les corollaires de la conception axiomatique.....	29
1.4.3.    La modélisation fonctionnelle.....	32
1.4.4.    La décomposition fonctionnelle.....	33

1.5.	La modélisation et la logique floue .....	36
1.6.	Les grammaires de conception .....	38
1.6.1.	Le terme de grammaire.....	38
1.6.2.	L'utilisation de grammaires dans la conception .....	40
1.6.3.	Les grammaires de forme ( <i>Shape grammars</i> ) .....	40
1.6.4.	Les grammaires de graphes .....	41
1.7.	La conception holonique .....	43
1.7.1.	Le holon, le holisme et la holarchie.....	43
1.7.2.	La modélisation holonique dans la littérature .....	46
1.8.	Discussion et positionnement de notre recherche.....	49
CHAPITRE 2 : MODELISATION FLOUE POUR LA CONFIGURATION DU PRODUIT.....		55
2.1.	Introduction .....	55
2.2.	Processus de configuration et tâche de configuration .....	57
2.3.	Configuration : Les structures fonctionnelles et physiques.....	58
2.4.	L'architecture de la conception pour la configuration.....	60
2.5.	Les modèles flous de configuration.....	61
2.5.1.	La modélisation de relations floues dans la configuration du produit.....	62
2.5.2.	La modélisation des solutions consensuelles floues.....	63
2.5.3.	La modélisation des configurations optimales floues.....	65
2.5.4.	La modélisation des configurations consensuelles floues .....	67
2.6.	Discussion.....	68
2.7.	Conclusion.....	69
CHAPITRE 3 : MODELISATION FONCTIONNELLE FLOUE BASEE SUR LES GRAMMAIRES .....		73
3.1.	Introduction .....	73

3.2.	Décompositions et Grammaires .....	74
3.3.	Formalisme des grammaires.....	76
3.4.	Grammaires de configuration fonctionnelle.....	78
3.4.1.	Grammaire de configuration fonctionnelle flux-opération.....	79
3.4.2.	Exemple d'application : Réducteurs montés en parallèle.....	89
3.4.3.	Grammaire de configuration fonctionnelle flux-opération à tête fonctionnelle.....	92
3.4.4.	Les grammaires de configuration fonctionnelle multi-niveaux.....	96
3.4.5.	Application de la modélisation avec des grammaires floues.....	103
3.4.5.1.	La décomposition fonctionnelle de la patte de fixation .....	104
3.4.5.2.	La création de sous-fonctions floues terminales .....	106
3.4.5.3.	La création de sous-fonctions floues non-terminales.....	111
3.5.	Conclusion.....	122
CHAPITRE 4 : MODELISATION HOLONIQUE FLOUE POUR LA CONFIGURATION.....		127
4.1.	Introduction .....	127
4.2.	Modélisation holonique floue.....	128
4.2.1.	Holons Conception Floue et leur propriétés .....	128
4.2.2.	Formation des modules flous : Holons Conception Floue .....	131
4.2.3.	Comportement de création des Holons Conception Floue .....	133
4.3.	Application : Réducteur parallèle .....	149
4.4.	Conclusions .....	164
CHAPITRE 5 : APPLICATION INDUSTRIELLE DE LA MODELISATION HOLONIQUE : CAS D'UN GROUPE MOTOPROPULSEUR .....		169
5.1.	Introduction .....	169
5.2.	Problématique et description du cas d'application.....	169
5.3.	Expérience 1 : Etude de Comportement des Holons Conception Floue.....	172

5.4.	Expérience 2 : Etude de Modélisation Holonique Floue.....	188
5.5.	Conclusion.....	194
CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES GENERALES.....		199
REFERENCES.....		207
LISTE DES PUBLICATIONS.....		232

## LISTE DES FIGURES

Figure 1.1. Les 5 étapes du processus de conception .....	13
Figure 1.2. Relation symétrique de problème/sous-problèmes/sous-solutions/solution, dans la conception (Cross, 2008).....	19
Figure 1.3. Les trois groupes de modèles de gestion de l'information de conception (Roucoules, 2007).....	20
Figure 1.4. Les matrices relationnelles: (A) DSM, (B) DMM, (C) MDM. (DSMweb.org, 2015).....	26
Figure 1.5. Exemple de regroupement (clustering) de Design Structure Matrix DSM..	27
Figure 1.6. Processus de zigzag entre le domaine fonctionnel et le domaine physique pour décomposer les fonctions et les solutions. (Suh, 2001).....	29
Figure 1.7. Un modèle fonctionnel du système de fragmentation de mâchefer (Stone & Wood, 2000).....	36
Figure 1.8. L'arbre de grammaires génératives .....	39
Figure 1.9. Une grammaire de forme simple, (a) les règles, (b) la forme initiale .....	41
Figure 1.10. Génération d'une forme en utilisant la grammaire de forme de la figure 1, (Stiny, 1980).....	41
Figure 1.11. Une représentation d'une holarchie comme une hiérarchie multi-niveaux (Ferber, 1999).....	46
Figure 2.1. La structure fonctionnelle, (Hashemian, 2005).....	59
Figure 2.2. Architecture de la conception pour la configuration.....	61
Figure 3.1. Typologie des opérations sur le flux .....	84
Figure 3.2. Réducteur parallèle de trois axes.....	92
Figure 3.3. L'arbre de décompositions .....	93
Figure 3.4. L'application de règles de décomposition de flux et règles de décomposition fonctionnelle pour le réducteur parallèle .....	96
Figure 3.5. La position de la patte de fixation dans le moteur entre le conduit et le châssis.....	104
Figure 3.6. La structure de la décomposition fonctionnelle principale .....	104
Figure 3.7. La structure de la décomposition auto-similaire de la fonction (Capture).	105
Figure 3.8. La décomposition floue auto-similaire des fonctions .....	106
Figure 3.9. La décomposition auto-similaire fonctionnelle de S.....	106

Figure 3.10. La génération de la fonction floue non-terminale <CONNECT-IMPORT> .....	113
Figure 3.11. La génération de la fonction floue non-terminale <CONNECT-EXPORT> .....	115
Figure 3.12. La génération de la fonction floue non-terminale <CHANNEL>.....	116
Figure 3.13. La génération de la fonction floue non-terminale <SUPPORT-CHANNEL> .....	118
Figure 3.14. La génération de la fonction floue non-terminale <S>.....	121
Figure 3.15. Les configurations générées pour la <Patte> Structure .....	122
Figure 4.1. Aperçu de la matrice relationnelle floue [F,S] de premier cas d'application .....	135
Figure 4.2. Les niveaux d'Holon Conception Floue avec $\alpha$ -level= 0.3 et AFA=0.1 ...	137
Figure 4.3. Les niveaux d'Holon Conception Floue avec $\alpha$ -level= 0.3 et AFA=0.6 ...	138
Figure 4.4. Les niveaux d'Holon Conception Floue avec $\alpha$ -level= 0.3 et AFA=0.9 ...	138
Figure 4.5. Les niveaux d'Holon Conception Floue avec $\alpha$ -level= 0.9 pour AFA=0.1, 0.6, 0.9 .....	139
Figure 4.6. Trois niveaux d'Holon Conception Floue avec AFA = 0,1. Pour chaque niveau : (a) Attracteurs flous possibles; (b) Attracteurs flous forts; (c) Les États. ....	141
Figure 4.7. Trois niveaux d'Holon Conception Floue avec AFA = 0,6. Pour chaque niveau : (a) Attracteurs flous possibles; (b) Attracteurs flous forts; (c) Les États .....	144
Figure 4.8. Le niveau d'Holon Conception Floue avec AFA = 0,9. Pour ce niveau : (a) Attracteurs flous possibles; (b) Attracteurs flous forts; (c) Les États.....	144
Figure 4.9. Les niveaux d'Holon Conception Floue avec AFA = 0,9;0,5;0,1. Pour chaque niveau : (a) Attracteurs flous possible; (b) Attracteurs flous forts; (c) Les États .....	147
Figure 4.10. Réducteur parallèle de trois axes.....	150
Figure 4.11. Les niveaux d'Holon Conception Floue pour un réducteur parallèle avec $\alpha$ - level= 0.3 et AFA=0.1 .....	151
Figure 4.12. Les niveaux d'Holon Conception Floue pour un réducteur parallèle avec $\alpha$ - level= 0.3 et AFA=0.6 .....	152
Figure 4.13. Les niveaux d'Holon Conception Floue pour un réducteur parallèle avec $\alpha$ - level= 0.3 et AFA=0.9 .....	153

Figure 4.14. Les niveaux d'Holon Conception Floue pour un réducteur parallèle avec $\alpha$ -level= 0.9 et AFA=0.1 .....	154
Figure 4.15. Les niveaux d'Holon Conception Floue pour un réducteur parallèle avec $\alpha$ -level= 0.9 et AFA=0.6, 0.9 .....	155
Figure 4.16. Deux niveaux d'Holon Conception Floue pour un réducteur parallèle avec AFA = 0,1. Pour chaque niveau : (a) Attracteurs flous possibles; (b) Attracteurs flous forts; (c) Les États.....	156
Figure 4.17. Un niveau d'Holon Conception Floue pour un réducteur parallèle avec AFA = 0,6 ; 0.9 Pour ce niveau : (a) Attracteurs flous possibles; (b) Attracteurs flous forts; (c) Les États.....	159
Figure 4.18. Les niveaux d'Holon Conception Floue pour un réducteur parallèle avec AFA = 0,9;0,5;0,1. Pour chaque niveau : (a) Attracteurs flous possible; (b) Attracteurs flous forts; (c) Les États.....	161
Figure 5.1. Le modèle CAO du bloc-moteur de scooter .....	170
Figure 5.2. Aperçu de la matrice des contacts du groupe motopropulseur .....	172
Figure 5.3. Les niveaux d'Holon Conception Floue du modèle CAO du bloc-moteur d'un scooter avec $\alpha$ -level= 0.3 et AFA=0.1 .....	173
Figure 5.4. Les niveaux d'Holon Conception Floue du modèle CAO du bloc-moteur d'un scooter avec $\alpha$ -level= 0.3 et AFA=0.2 .....	174
Figure 5.5. Le niveau d'Holon Conception Floue du modèle CAO du bloc-moteur d'un scooter avec $\alpha$ -level= 0.3 et AFA=0.6.....	174
Figure 5.6. Les niveaux d'Holon Conception Floue du modèle CAO du bloc-moteur d'un scooter avec $\alpha$ -level= 0.9 et AFA=0.1 .....	175
Figure 5.7. Les niveaux d'Holon Conception Floue du modèle CAO du bloc-moteur d'un scooter avec $\alpha$ -level= 0.9 et AFA=0.6 .....	177
Figure 5.8. Les niveaux d'Holon Conception Floue du modèle CAO du bloc-moteur d'un scooter avec $\alpha$ -level= 0.9 et AFA=0.9 .....	178
Figure 5.9. Les niveaux d'Holon Conception Floue du modèle CAO du bloc-moteur d'un scooter avec AFA = 0,1. Pour chaque niveau : (a) Attracteurs flous possibles; (b) Attracteurs flous forts; (c) Les États.....	180

Figure 5.10. Les niveaux d'Holon Conception Floue du modèle CAO du bloc-moteur d'un scooter avec AFA = 0,4. Pour chaque niveau : (a) Attracteurs flous possibles; (b) Attracteurs flous forts; (c) Les États.....	182
Figure 5.11. Le niveau d'Holon Conception Floue du modèle CAO du bloc-moteur d'un scooter avec AFA = 0,9. Pour chaque niveau : (a) Attracteurs flous possibles; (b) Attracteurs flous forts; (c) Les États.....	183
Figure 5.12. Les niveaux d'Holon Conception Floue du modèle CAO du bloc-moteur d'un scooter avec $\alpha$ -level=0.6 ; AFA = 0.3, Attracteur Minimum.....	190
Figure 5.13. Identification des sous-modules de bloc-moteur de scooter - Vue éclatée .....	194

## LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1.1. Comparaison entre les concepteurs novices et les concepteurs experts (Popovic, 2004) .....	17
Tableau 1.2. Les 7 corollaires de la conception axiomatique (Suh, 2001).....	31
Tableau 1.3. La bibliothèque de sous-fonctions (Hirtz, et al., 2002) .....	34
Tableau 3.1. Bibliothèque de flux de base recommandés .....	82
Tableau 3.2. List complémentaire pour la classe du flux « energy » .....	82
Tableau 3.3. Bibliothèque des fonctions et des sous-fonctions de base .....	83
Tableau 3.4. Les règles de décomposition fonctionnelle.....	85
Tableau 3.5. Application des règles de décomposition fonctionnelle de réducteur parallèle .....	91
Tableau 3.6. Les symboles graphiques des décompositions de flux d'énergie .....	94
Tableau 3.7. La représentation graphique des formalismes de décomposition de flux..	95
Tableau 3.8. Les symboles et leurs significations .....	99
Tableau 3.9. Les symboles de fonctions terminales et leurs significations.....	107
Tableau 3.10. Identifiants de fonctions floues de connexion pour la fonction terminale <ATTACH> .....	108
Tableau 3.11. Identifiants de fonctions floues de connexion pour la fonction terminale <CAPTURE> .....	108
Tableau 3.12. Identifiants de fonctions floues de connexion pour la fonction terminale <CONDUCT> .....	109
Tableau 3.13. Identifiants de fonctions floues de connexion pour la fonction terminale <EMIT> .....	110
Tableau 3.14. Identifiants de fonctions floues de connexion pour la fonction terminale <SPLIT> .....	110
Tableau 3.15. Identifiants de fonctions floues de connexion pour la fonction terminale <SUPPORT> .....	111
Tableau 3.16. Identifiants de fonctions floues de connexion pour la fonction terminale <CONTROL> .....	111
Tableau 3.17. Identifiants de fonctions floues de connexion pour la fonction <CONNECT-IMPORT> .....	113

Tableau 3.18. Identifiants de fonctions floues de connexion pour la fonction <CONNECT-EXPORT> .....	115
Tableau 3.19. Identifiants de fonctions floues de connexion pour la fonction <CHANNEL> .....	117
Tableau 3.20. Identifiants de fonctions floues de connexion pour la fonction <SUPPORT-CHANNEL> .....	119
Tableau 3.21. Identifiants de fonctions floues de connexion pour la fonction globale <S> .....	121
Tableau 4.1. Les types d'Attracteur flou .....	133
Tableau 4.2. Types d'état de comportement d'Holon Conception Floue.....	134
Tableau 4.3. Les Valeurs Linguistiques .....	136
Tableau 4.4. Les entrées pour l'Holon Conception Floue ( $\alpha$ -level = 0.6 et AFA = 0,1) .....	141
Tableau 4.5. Les résultats de l'Holon Conception Floue ( $\alpha$ -level = 0.6 et AFA = 0,1) .....	142
Tableau 4.6. Les entrées pour l'Holon Conception Floue ( $\alpha$ -level = 0.6 et AFA = 0,9;0.5;0.1).....	148
Tableau 4.7. Les résultats de l'Holon Conception Floue ( $\alpha$ -level = 0.6 et AFA = 0.9;0.5;0.1).....	148
Tableau 4.8. Le comportement de l'Holon Conception Floue .....	149
Tableau 4.9. La matrice relationnelle floue [F,S] de réducteur parallèle .....	150
Tableau 4.10. Les entrées pour l'Holon Conception Floue pour un réducteur parallèle ( $\alpha$ -level = 0.6 et AFA = 0,1).....	157
Tableau 4.11. Les résultats de l'Holon Conception Floue pour un réducteur parallèle ( $\alpha$ -level = 0.6 et AFA = 0,1).....	158
Tableau 4.12. Les entrées pour l'Holon Conception Floue pour un réducteur parallèle ( $\alpha$ -level = 0.6 et AFA = 0,9;0.5;0.1).....	161
Tableau 4.13. Les résultats de l'Holon Conception Floue pour un réducteur parallèle ( $\alpha$ -level = 0.6 et AFA = 0.9;0.5;0.1) .....	162
Tableau 5.1. Aperçu de la nomenclature et des pièces en contact.....	171
Tableau 5.2. Le comportement de du modèle CAO du bloc-moteur d'un scooter. ....	183
Tableau 5.3. Les entrées pour l'Holon Conception Floue pour un scooter (AFA = 0,4) .....	184

Tableau 5.4. Les résultats de l'Holon Conception Floue pour un scooter (AFA = 0,4)	184
Tableau 5.5. Les entrées pour l'Holon Conception Floue pour un scooter (AFA =0,7 ; 0,4)	186
Tableau 5.6. Les résultats de l'Holon Conception Floue pour un scooter (AFA =0,7 ; 0,4)	186
Tableau 5.7. La liste des modules obtenus avec $\alpha$ -level=0.6, AFA=0.3 et règle Minimum	191



# **INTRODUCTION GENERALE**



## INTRODUCTION GENERALE

Parmi toutes les activités liées au développement de produits, la conception est considérée comme l'activité la plus importante (Ullman, 1992). Des études diverses ont conclu que les caractéristiques d'un produit sont principalement déterminées par sa conception, en particulier par les décisions prises au cours des premières étapes du processus de conception (Ullman, 1992), (Kushnir & Sheehan, 2003), (Simpson, et al., 1998), (Condoor & Weber, 1999) (Boothroyd, 1994). Par conséquent, de nombreuses recherches, au cours des dernières années, ont été consacrées à : *(a) la compréhension des fondements du processus de conception, (b) la conception des outils et des méthodes pour assister les concepteurs, et (c) l'amélioration de l'enseignement sur la conception.*

Aujourd'hui, dans un monde globalisé, la conception des produits est en train de basculer vers la conception distribuée multi-sites, caractérisée par une distribution importante des acteurs, des données et des compétences (Wu, et al., 2015). La conception se voit alors structurée comme un réseau distribué de services. En effet, la complexité et la diversification accrues des produits, avec des contraintes importantes sur le cycle de développement de produit, la réduction du temps de mise en marché, la réduction des délais de fabrication...etc. d'une part, et le développement important des technologies d'information d'autre part, ont accéléré la transformation et l'organisation des activités de conception en service-orientés dans un réseau distribué.

Dans ce contexte, la conception pour la configuration des produits émerge alors aujourd'hui comme un outil efficace pour résoudre les nouveaux défis de la conception des produits (Deciu, et al., 2005). Elle permet de concevoir et générer des produits configurables ou des familles des produits configurables (Mittal & Frayman, 1989), (Snaveley & Papalambros, 1993), (Männistö, et al., 2001), (Sabin & Weigel, 1998), (Tiihonen, et al., 1996), (Tiihonen, et al., 1999), (Veron, et al., 1999), (Deciu, et al., 2005), (Ostrosi, et al., 2012a), (Fougères & Ostrosi, 2013).

Bien qu'il existe beaucoup de recherches sur la conception pour la configuration, celles-ci considèrent le problème de la conception pour la configuration uniquement comme un problème d'arrangement des composants (Mittal & Frayman, 1989), (Snaveley & Papalambros, 1993), (Männistö, et al., 2001), (Sabin & Weigel, 1998), (Tiihonen, et al.,

1996), (Tiihonen, et al., 1999), (Veron, et al., 1999). Or l'espace de conception, dont la conception pour la configuration fait partie, est multidimensionnel (Brissaud & Tichkiewitch, 2000), (Tichkiewitch, et al., 1995). En effet, le processus de conception implique de multiple-métiers, la distribution des métiers et des acteurs, et l'interaction dans un environnement dynamique et incertain.

En considérant l'espace de la conception pour la configuration comme multi-vues, multi-dimensionnels et incertain (Deciu, et al., 2005), (Ostrosi, et al., 2012a), (Fougères & Ostrosi, 2013), cette thèse porte sur l'étude de la conception pour la configuration comme un problème holistique.

Nous proposons d'étudier plus particulièrement :

- appréhender et modéliser la conception pour la configuration comme un problème de recherche de consensus entre différents métiers ;
- appréhender et modéliser les relations intra et inter domaines considérant la conception pour la configuration comme un problème holistique ;
- formaliser les grammaires génératives pour la modélisation de produit dans les deux principaux espaces : fonctionnel et structurel ;
- modéliser les liens entre ces deux espaces à l'aide du concept d'holon de conception.

Tout au long de la thèse, nous utilisons le concept mathématique de décomposition. Les décompositions jouent un rôle important dans la créativité et dans la conception. En effet, la modularité, à la fois comme une forme de discontinuité et de continuité, est le résultat de la *décomposition* du produit et de *l'agrégation* locale des composants. Pendant le processus de conception, le concepteur structure les produits en décompositions, donc dans des modules, qui à leur tour forment d'autres modules, et ainsi de suite jusqu'à ce que le produit final émerge. Les modules sont à la fois des *décompositions* et des *agrégations*. Dans ce processus, le concepteur traite certaines formes distinctes d'incertitude : l'imprécision, l'aléatoire, le flou, l'ambiguïté et l'incomplétude. Modéliser avec la logique floue permet de tenir compte du caractère incertain intrinsèque à l'activité de conception. L'holon représente un modèle approprié pour la construction des organisations modulaires, autorégulatrices et floues. L'holon

envisage donc une entité unique avec deux points de vue distincts mais complémentaires :

- a) Top-down : le module agit comme un système autonome qui suit ses propres objectifs et règles d'une part, et échange avec les composants d'un niveau inférieur et les contrôle d'autre part ;
- b) Bottom-up : le module se comporte comme une partie obéissante à un module de niveau supérieur.

A partir de ces considérations, nous établissons les hypothèses les plus importantes de notre recherche :

- *Hypothèse de multi-vues : le problème de configuration des produits est un problème multi-vues.*
- *Hypothèse de flou : le problème de configuration des produits est un problème incertain. En effet, la perception des différents acteurs sur le produit à configurer est subjective.*
- *Hypothèse de dérivation : chaque produit et chaque famille de produit se définissent comme un système structuré, possédant un mécanisme interne pour la dérivation de la variété des produits, à la fois dans l'espace fonctionnel et dans l'espace physique.*
- *Hypothèse holistique : l'holon permet de représenter l'évolution et la dynamique des deux espaces : fonctionnel et structurel.*
- *Hypothèse d'attracteur : les attracteurs, fonctions et/ou solutions, définissent la trajectoire de l'évolution des deux espaces.*

Pour appuyer notre étude et ses hypothèses, nous introduisons, dans le **premier chapitre**, le cadre de notre étude. Dans ce chapitre, nous présentons le concept de la conception et ses modèles. Nous présentons également la conception modulaire, le développement des modules et leurs interfaces, suivis par une synthèse de la conception axiomatique, les axiomes de conception, les théorèmes, les corollaires de la conception, les notions de la modélisation et de la décomposition fonctionnelle et structurelle. Nous examinons l'utilisation de la logique floue dans la conception, et nous proposons une synthèse sur les grammaires génératives de conception, leurs types et leurs utilisations. Enfin, nous nous dirigeons vers la modélisation holonique et ses caractéristiques.

Dans le **deuxième chapitre**, nous décrivons un modèle de conception pour la configuration. Le problème de configuration doit être un problème à la fois client-orienté et métiers-orientés. De plus, l'ensemble des solutions dans l'ensemble des composants de configuration doit être consensuel dans les deux espaces de conception: spécifications et métiers. Le modèle doit considérer l'aspect incertitude du processus de conception. La conception pour la configuration est considérée comme un problème de recherche de consensus entre différents métiers distribués. De plus, les aspects d'optimisation des configurations d'une part, et la recherche des noyaux des configurations à la fois optimales et consensuelles d'autre part, sont intégrés dans le modèle.

Dans le **troisième chapitre**, nous considérons que les décompositions et les grammaires sont des outils puissants formels pour décrire les produits et les familles de produits. Les grammaires peuvent opérer sur des ensembles de fonctions, ainsi que sur des ensembles de composants. La recherche des grammaires dans le domaine des fonctions présuppose la compétence du concepteur à exprimer la fonction comme une structure. Nous proposons les grammaires fonctionnelles floues graphes et grammaires fonctionnelles floues formelles pour représenter graphiquement et formellement les structures fonctionnelles de produit.

Dans le **quatrième chapitre**, afin de maîtriser la modélisation des configurations, conjointement dans les espaces fonctionnel et structurel, nous proposons une approche de modélisation holonique des configurations. Les concepts d'Holon Conception Floue et de l'Attracteur Flou sont proposés pour comprendre la coévolution dans la conception pour la configuration.

Dans le **cinquième chapitre**, nous étudions un cas industriel de la conception pour la configuration à l'aide des modules pour un groupe motopropulseur. Deux expériences de conception sont menées dans le cadre du projet: « Conception modulaire d'un scooter - conception du groupe motopropulseur ».

Finalement, nous concluons sur les contributions majeures de notre travail et présentons quelques perspectives de recherche.

**CHAPITRE 1**  
**ETAT DE L'ART**



# CHAPITRE 1 : ETAT DE L'ART

## 1.1. Introduction

Les préférences de clients s'orientent aujourd'hui vers des produits de plus en plus personnalisés et variés. Les activités de conception se transforment et évoluent vers des activités de services distribués. Par conséquent, les concepteurs doivent s'adapter à ces nouvelles exigences et évolutions en changeant les approches traditionnelles par des approches plus innovantes. Mais ces changements impliquent de nouveaux challenges à relever, comme la complexité croissante des produits et la maîtrise de la distribution. A leur tour, ces aspects demandent une réactivité plus élevée dans le processus de développement des produits.

Dans ce contexte, la conception et la modélisation des produits configurables apparaissent comme des outils très efficaces pour répondre à ces challenges.

Pour introduire la problématique de la modélisation de produits configurables, ce chapitre décrit et analyse les concepts de base en relation avec notre objet d'étude, à savoir la conception et ses méthodes, la conception et la modélisation modulaire, la conception axiomatique, la logique floue dans la conception, les grammaires génératives de conception et la modélisation holonique.

Ce chapitre se structure comme suit : nous commencerons par une brève introduction sur le concept de la conception, le processus de conception, ses modèles et les stratégies de conception. Ensuite, ce chapitre présentera un aperçu de la conception modulaire, le développement des modules et leurs interfaces, suivi par une synthèse de la conception axiomatique, les axiomes de conception, les théorèmes, les corollaires de la conception, les notions de la modélisation et de la décomposition fonctionnelle et structurelle. Nous présenterons également l'utilisation de la logique floue dans la conception, suivie par une synthèse sur les grammaires génératives de conception, leurs types et leurs utilisations. Enfin, nous nous dirigerons vers la modélisation holonique et ses caractéristiques. Le paradigme de la pensée holistique semble se trouver face à un grand

renouveau ces dernières années. Nous finirons ce chapitre avec une discussion et le positionnement de nos travaux de recherche.

## **1.2. Conception et processus de conception**

Au cours des dernières décennies, les universitaires et les industriels ont l'importance croissante des méthodes de conception structurées et scientifiques, ainsi que le développement des théories de conception industriellement testées (Ernst Eder, 1998).

La conception est donc aujourd'hui un thème important de recherche. La compétitivité des entreprises dépend non seulement de leur maîtrise des technologies mais aussi de leur stratégie et de leur gestion du processus de conception.

### **1.2.1. La définition de la conception**

Pour définir le terme « conception », il faut évidemment définir le verbe « concevoir ». *Concevoir* consiste à transformer un besoin exprimé en une définition d'une solution. Alors, la conception peut se définir comme la transformation d'un concept défini dans le monde du besoin, en un produit défini dans le monde de solution (Duchamp, 1999).

Le grand dictionnaire terminologique de l'Office québécois de la langue française (GDT) définit la conception comme une activité créatrice qui consiste à créer un projet, ou une partie des éléments de ce projet, en partant des besoins exprimés, des possibilités technologiques et des moyens existants, dans le but de créer un service ou un produit.

Pour Tichkiewitch et al. (Tichkiewitch, et al., 1993) « *La conception de produits mécaniques consiste à donner un ensemble de propositions permettant de décrire le produit (forme, dimension, moyen d'obtention) et répondant globalement à un cahier des charges* ». La conception de produits aboutit ainsi à la définition d'objets physiques issus de processus d'ingénierie (Ullman, 2009).

La conception peut être définie aussi par l'intermédiaire des processus qui la composent. Le processus qui régit la conception d'un produit, contrôle les délais de développement, les flux de connaissances et d'informations utilisées, et assure l'agrégation des activités nécessaires à la tenue des objectifs ciblés (Bocquet, 1998).

Dixon évalue la conception comme une activité cérébrale particulièrement complexe (Dixon, 1988). Cette activité peut être considérée comme l'avancement d'un processus faisant intervenir plusieurs processus d'analyse qui utilisent plusieurs sources de connaissances (Brown, 1998).

### **1.2.2. Le processus de conception**

La conception mécanique se présente sous la forme d'un processus de création d'une ou de plusieurs descriptions d'un service ou d'un produit. Les concepteurs identifient ces descriptions en réponse à un ensemble de spécifications fonctionnelles qui doivent satisfaire un ensemble de contraintes. Ces contraintes peuvent être exigées par l'utilisateur, le fabricant ou le concepteur. En effet, à partir de ces spécifications et de ces contraintes émergent explicitement les fonctions que le produit doit accomplir, la façon de le concevoir, les critères de conception, les ressources disponibles, les contraintes physiques et les contraintes de fabrication. Donc, la tâche principale du concepteur est de transformer un besoin du client, représenté en termes de spécifications fonctionnelles, en une description du produit (Tichkiewitch, et al., 1993). Cette représentation finale du produit, passant par des phases intermédiaires (Mer, et al., 1995), est généralement représentée sous formes graphiques, numériques ou textuelles (Gero, 2001). Elle doit être complète et compréhensible pour que les produits conçus puissent être fabriqués, assemblés et distribués, autrement dit, qu'ils soient techniquement réalisables (Gero, 2001).

Les activités de conception consistent donc à définir différents espaces : l'espace du problème (espace fonctionnel), l'espace de la solution et l'espace des critères qui met en relation l'espace fonctionnel avec l'espace de la solution. Ces trois espaces peuvent être représentés par : (a) un ensemble de fonctions, ainsi qu'un ensemble de contraintes à satisfaire, et (b) un ensemble de composants prédéfinis, ainsi qu'un ensemble de relations entre les différents composants. La spécification complète d'un ensemble de composants et de leurs relations définit la solution du problème de conception. La spécification complète permet de modéliser le produit remplissant les fonctions et respectant les contraintes (Chandrasekaran, 1990). Les différents ensembles de fonctions, de critères et de contraintes sont généralement incomplets au début du

processus de conception. Pour diminuer et corriger cette incomplétude, des fonctions, des composants, des critères ou des contraintes doivent être modifiés, ajustés, ajoutés ou supprimés durant la progression des actions de conception. La conception est donc une activité localement dynamique (Movahed-Khah, et al., 2010), (Movahed-Khah, 2006).

Des nombreux travaux proposent différentes formes du processus de conception. Perrin-Bruneau (Perrin-Bruneau, 2005) met en évidence que certains travaux se focalisent essentiellement sur la transformation de l'idée en service ou en produit (Yannou & Petiot, 2002), (Pahl & Beitz, 1999), d'autres intègrent l'industrialisation du produit, considérant qu'un produit ne peut pas être commercialisable si les processus permettant de les industrialiser ne sont pas conçus (Meinders, 1997), (Ertas & Jones, 1996), (Brezet, 2003).

Ainsi, d'après la littérature (Cross & Walker, 1980), (Ullman, et al., 1987), (Pahl & Beitz, 1988), (Hubka & Eder, 1996), le processus de conception est un processus globalement dynamique, qui évolue dans le temps selon 4 ou 5 phases. Ces phases peuvent différer dans les termes employés, mais elles sont relativement similaires d'une démarche à une autre. Ces phases s'appuient dans la plupart des approches, sur le cycle de vie du produit. Les cinq étapes du processus de conception utilisées pour résoudre les problèmes de conception sont :

- (1) Définir le problème.
- (2) Rassembler des informations pertinentes.
- (3) Générer des solutions multiples.
- (4) Analyser et sélectionner une solution.
- (5) Tester et implémenter la solution sélectionnée.

La première étape, dans le processus de conception, est la définition du problème. Cette définition contient habituellement une liste des spécifications du produit ou des exigences du client et surtout des informations sur les fonctions et les caractéristiques du produit. Lors de la deuxième étape, les informations pertinentes à la conception du produit et ses spécifications fonctionnelles sont obtenues. Une étude sur l'existence des produits similaires sur le marché devrait être réalisée à ce stade. Dans la troisième étape, une fois que les problèmes de la conception sont clairement identifiés, l'équipe de

conception génère de multiples alternatives pour atteindre les objectifs et satisfaire les spécifications de la conception. Considérant le coût, la sécurité, et d'autres critères de sélection, les alternatives les plus prometteuses sont sélectionnées pour une analyse plus approfondie. L'étape d'analyse permet une étude complète des solutions et des résultats pour l'identification de la conception finale qui correspond aux mieux aux spécifications du produit. Dans la dernière étape, un prototype de la conception est développé et les tests fonctionnels sont réalisés pour vérifier et, éventuellement, pour modifier la conception.

Lors de la résolution d'un problème de conception, le concepteur peut revenir à tout moment à une étape précédente. Le processus de conception n'est pas linéaire mais itératif, à la fois localement et globalement. Ainsi, la solution choisie peut se révéler inapplicable pour un certain nombre de raisons, et peut exiger la redéfinition du problème, le recueil de plus d'informations, ou la génération de plus de solutions alternatives. Ce processus continu et itératif est représenté dans la Figure 1.1.

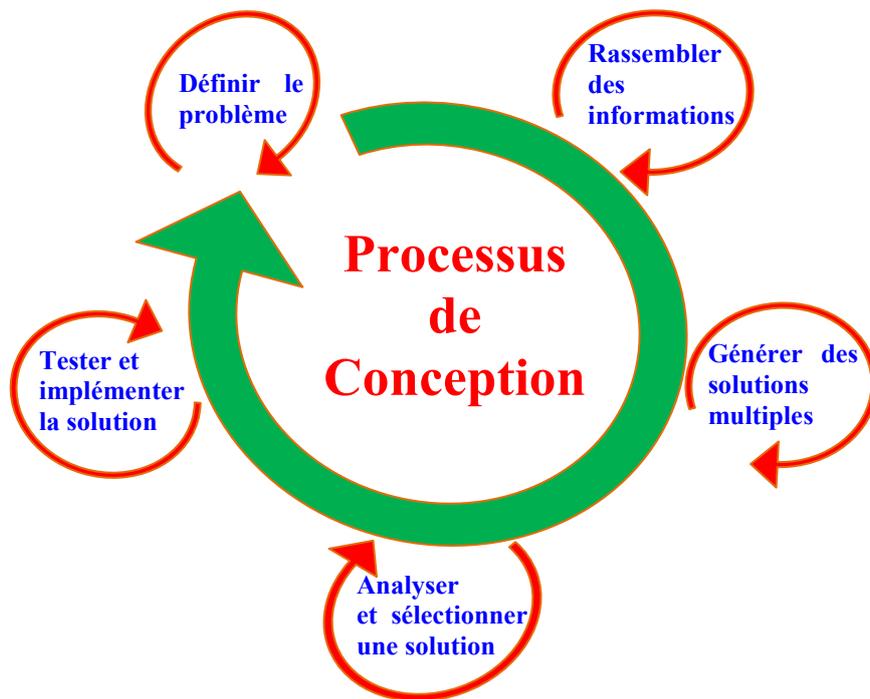


Figure 1.1. Les 5 étapes du processus de conception

Toutefois, la recherche théorique, en vue d'établir la science de la conception, n'a pas produit suffisamment de résultats concrets (Tate & Nordlund, 1995). La recherche en conception doit apporter des avantages pratiques (but-orienté), alors que la recherche

dans les sciences naturelles n'est pas nécessairement orientée vers la pratique (Reich, 1992), (Broadbent, 1981), (Cross & Walker, 1980). En discutant de la relation entre la recherche en conception et la théorie scientifique de la conception, Dixon affirme qu'une théorie scientifique est le but ultime de la recherche en conception, et que celle-ci est dans une phase de pré-théorie (Dixon, 1988). Il soutient que les études impliquent beaucoup de variables mal définies pour développer une théorie. Dixon souligne que les modèles prescriptifs sont prématurés tant qu'ils ne sont pas fondés sur une théorie validée (Dixon, 1988).

Plusieurs chercheurs ont contribué à l'établissement de principes scientifiques sur divers aspects du processus de conception. C'est notamment le cas des travaux de Yoshikawa et Tomiyama sur la théorie de la conception générale (Yoshikawa, 1981), (Tomiyama & Yoshikawa, 1987), la représentation mathématique et l'équation de conception générale développée par Gu et Zeng (Zeng & Gu, 1999a), (Zeng & Gu, 1999b), et la théorie de la conception axiomatique de Suh, (Suh, 2001). D'autres approches sont de nature théorique. On peut citer les modèles de processus créatifs de la conception (Altshuller, 1984), (Dorst & Cross, 2001), les modèles cognitifs (Kolodner, 1983), (Ullman, et al., 1987), (Condoor, et al., 1992), la conception robuste (Taguchi, 1987), la Maison de la Qualité « *House of Quality* » (Clausing, 1994), les techniques qui permettent de clarifier les objectifs de conception et l'évaluation de leur réalisation (Ramaswamy & Ulrich, 1993), (Belhe & Kusiak, 1996), (Chen & Lin, 2002), la représentation des fonctions techniques (Cross & Walker, 1980) et la conception systématique (Pahl & Beitz, 1988), (Hubka & Eder, 1996), la théorie de la logique de proposition et de la complétude des rôles dans l'activité de conception (Choulier, et al., 2015).

### **1.2.2.1. Les modèles de la conception**

La recherche sur les modèles de conception est développée selon trois axes principaux : le premier est l'axe descriptif qui cible à analyser en priorité les activités de la conception ; le second est l'axe prescriptif qui cherche à déterminer et prescrire les méthodes de conception ; le troisième est l'axe informatique ou numérique qui utilise le paradigme numérique en conception. De nombreuses méthodes de conception ont été proposées dans l'axe prescriptif (Pahl & Beitz, 1988), (Ullman, et al., 1987), (Cross & Walker, 1980). L'axe prescriptif conduit à des propositions théoriques de la conception

qui permettent de présenter des actions et des structures formelles de la conception (Newsome, et al., 1988). L'axe descriptif de la conception permet de comprendre la façon dans laquelle le concepteur réalise sa conception tout seul ou dans un groupe de concepteurs (Jones, 1984), les différents aspects d'intégration produit-process (Boujut & Laureillard, 2001), le rôle des artefacts vu comme des entités cooperatives (Boujut & Laureillard, 2001) et le rôle des outils numériques dans le processus de conception (Gregory, et al., 1997), (Mekhilef & Yannou, 1998), (Guillet, 2000). Dans les trois axes de modélisation du processus de conception, nous pouvons constater l'importance accrue accordée aux domaines des clients et des utilisateurs d'une part, et l'intégration produit-process, avec la prise en compte de la notion de '*Design For X*' DFX (X: Assembly, Manufacturing, Maintainability, Cost, etc.) d'autre part.

#### **1.2.2.1.1. L'axe descriptif de la conception**

La recherche sur la nature du processus de conception a principalement proposé des modèles descriptifs de la conception. L'objectif de la modélisation descriptive est d'étudier comment les concepteurs conçoivent, afin de déterminer les processus, les stratégies et les méthodes de résolution de problèmes, utilisés et développés pendant la conception.

L'environnement de travail cognitif apporte une nouvelle vision du processus de conception qui se base sur les actions réelles faites par des concepteurs. Différentes études ont permis de découvrir et de déterminer certains aspects des problèmes de conception. La conception est caractérisée par des problèmes mal définis et imprécis, complexes, incertains, contraints et dont la solution, en général, tente d'être plutôt satisfaisante qu'optimale. La définition imprécise des problèmes de conception est due au fait que les demandes des clients sont mal définies depuis le début et évoluent au cours du temps d'une part, et que l'artefact se développe aussi au fur et à mesure du processus de conception, d'autre part. L'incertitude provient de l'incapacité et l'impossibilité de conceptualiser un problème de conception de la même façon pour deux concepteurs différents. La complexité est le résultat des interactions dynamiques d'un nombre importants de données, d'information et de connaissances. La décomposition du problème est de plus en plus compliquée et difficile à cause de la complexité croissante. La maîtrise de la complexité implique de rechercher des sous-

problèmes le plus indépendants possibles. Par ailleurs, les contraintes en conception ne sont pas toutes bien définies au début du processus de conception. De plus, les contraintes évoluent temporellement et s'appliquent donc localement aux activités lors de la réalisation des buts multiples de la conception. L'idée d'avoir des solutions optimales pour les problèmes de conception semble plutôt une idée illusoire et est remplacée pratiquement par l'idée la plus réaliste, celle d'avoir des solutions satisfaisantes (Visser, 2002), (Visser, 2004), (Darses, et al., 2004).

Certaines études (Ullman, et al., 1987), (Kolodner, 1993) ont suggéré que les concepteurs, en fonction de leur expérience, ont besoin de l'assistance des différents outils en relation avec la tâche de conception et la phase de développement de l'artefact au cours du processus de conception. Par exemple, les outils de recherche d'information sont nécessaires lorsque des modèles similaires existent lors des expériences précédentes (Kolodner, 1993). Ullman et al. (Ullman, et al., 1987) ont révélé que les concepteurs ont tendance à poursuivre un concept unique, et qu'ils développeront leur idée initiale plutôt que de générer de nouvelles alternatives. Si l'expérience antérieure existe, les concepteurs réutiliseront les solutions familières et n'exploreront pas des alternatives ou des idées novatrices (Ullman, et al., 1987). La recherche cognitive a également révélé que, durant le processus de conception, les concepteurs utilisent des prototypes généraux, et les ajustent aux spécifications particulières d'un problème donné.

Cross a étudié le travail des concepteurs experts et des concepteurs novices d'une part, et leurs activités d'autre part (Cross, 2002). Cross a trouvé que les concepteurs experts visent les solutions plutôt que les problèmes, alors que les concepteurs novices se focalisent plutôt sur les problèmes (Cross, 2004). Atman et al. ont relevé que les experts produisent des solutions de conception d'une qualité meilleure parce qu'ils passent plus de temps sur la résolution de problèmes, considérant plus d'alternatives et faisant plus de transitions entre les étapes de la conception (Atman, et al., 2005).

Les bons concepteurs, qui produisent les meilleures solutions, sont ceux qui : clarifient les spécifications, recherchent activement des informations, résumant l'information sur la formulation du problème, ne suppriment pas les premières idées de solution et produisent des variantes (Cross, 2008).

Popovic (Popovic, 2004) a proposé un modèle appelé « Knowledge Connection » pour clarifier les différences entre les concepteurs novices et concepteurs experts. Ce modèle distingue (a) les stratégies générales ; (b) les stratégies à objectif limité ; (c) les connaissances spécifiques à un domaine ; (d) les connaissances expérimentales et (e) les hypothèses. Dans le Tableau 1.1, les différences entre les concepteurs novices et concepteurs experts sont présentées.

**Tableau 1.1. Comparaison entre les concepteurs novices et les concepteurs experts (Popovic, 2004)**

<b>Concepteurs novices</b>	<b>Concepteurs experts</b>
Contenu faible des stratégies générales	Contenu riche des stratégies générales
Peu de connaissances spécifiques à un domaine	Possession de connaissances spécifiques à un domaine
Beaucoup d'hypothèses	Hypothèses très faibles
Connaissances expérimentales limitées	Possession de connaissances expérimentales
Peu de stratégies générales	Stratégies générales bien développées

Erens a proposé un modèle descriptif de conception reposant sur quelques mécanismes fonctionnels de décomposition du problème, à savoir (Erens, 1996) :

- formuler le problème.
- décomposer le problème.
- rechercher des solutions.
- évaluer et sélectionner des solutions.
- mettre en ordre des solutions.

Une fois que les solutions de tous les sous-problèmes sont trouvées, elles peuvent être organisées dans la structure du produit.

Pendant le processus de conception, les concepteurs passent le plus clair de leur temps à créer, discuter, interpréter, évaluer, transformer,...etc. des textes, des graphes, des traces de calculs, des représentations du produit en cours de conception (sous forme de différents schémas, de dessins, de modèles informatiques), des maquettes ou prototypes. Ces objets sont appelés « Objets Intermédiaires de Conception (OIC) » (Mer, et al., 1995), (Gregory, et al., 1997), (Boujut & Blanco, 2003). Les Objets Intermédiaires de Conception sont des objets produits ou utilisés au cours du processus de conception, traces et supports de l'action à concevoir, en relation avec les outils, procédures et

acteurs (Jeantet, 1998). Le concept d'Objets Intermédiaires de Conception a constitué un moyen efficace de lecture de l'activité de conception réelle (Boujut & Eckert, 2003).

#### **1.2.2.1.2. L'axe prescriptif de la conception**

Les modèles prescriptifs essaient de prescrire un modèle adéquat du processus de conception. Ils offrent généralement une procédure algorithmique, donc plus systématique à suivre. Ces modèles sont souvent considérés comme fournissant une méthodologie particulière de conception. Les modèles prescriptifs encouragent les concepteurs à adopter de meilleures méthodologies de conception pour améliorer l'activité de conception.

Ces modèles suggèrent une structure de base de la conception suivant les étapes «analyse-synthèse-évaluation». Jones (Jones, 1984) a défini une méthodologie de conception systématique, comme suit :

**Analyse** : lister toutes les spécifications de conception (*design requirements*) et les réduire à un ensemble complet de spécifications de performance liées logiquement.

**Synthèse** : trouver des solutions possibles pour chaque spécification de performance et construire la conception complète de celles-ci avec le plus de compromis possible.

**Évaluation** : évaluer la précision avec laquelle les conceptions alternatives répondent aux spécifications de performance pour l'exploitation, la fabrication et la vente, avant que la conception finale soit sélectionnée.

Cela peut sembler très similaire à un processus de conception classique, mais les accents, ici, portent sur : (a) les spécifications de performance logiquement dérivées du problème de conception ; (b) la génération de plusieurs conceptions alternatives en construisant les meilleures sous-solutions ; et (c) le choix rationnel de la meilleure des conceptions alternatives.

La modèle intégratif proposé par (Cross, 2008) montre qu'il n'est pas possible d'analyser le problème de conception, isolé de la solution. Le concepteur explore et développe le problème et la solution ensemble. C'est l'évolution problème-solution.

Bien qu'il puisse y avoir une progression logique du problème vers des sous-problèmes et de sous-solutions vers la solution, il existe une relation symétrique entre le problème et la solution, et entre les sous-problèmes et les sous-solutions, ce qu'illustre la Figure 1.2.

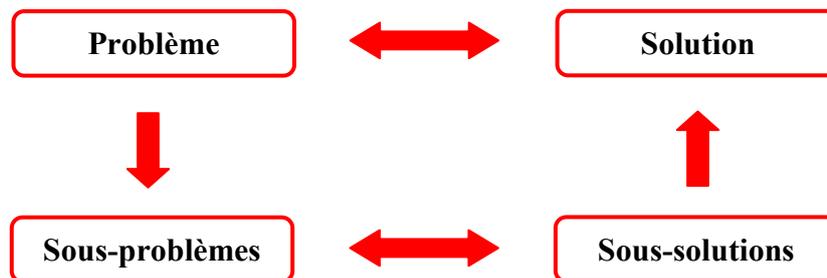


Figure 1.2. Relation symétrique de problème/sous-problèmes/sous-solutions/solution, dans la conception (Cross, 2008)

Ce modèle tente de saisir la nature essentielle du processus de conception, dans lequel la compréhension du couple problème-solution se développe ensemble.

Par ailleurs, les méthodes prescriptives de la conception proposées par Cross (Cross, 2008) et Ullman (Ullman, 2009) cherchent à synthétiser les techniques utilisées et sont donc plus flexibles et modulaires. Par exemple, l'utilisation de la notion de DFX est devenue courante et appliquée dès les phases en amont de la conception.

### 1.2.2.1.3. Les modèles numériques

Les modèles numériques s'appuient sur le paradigme numérique pour représenter et assister le processus de conception. Le développement : (a) des outils numériques de conception ou (b) des outils numériques d'assistance à la conception sont les objectifs de développements des modèles numériques (Finger & Dixon, 1989). Dans le premier cas, les outils de conception présentent la capacité de prendre des décisions et de fournir des solutions de conception. Dans le deuxième cas, les outils sont orientés vers l'analyse, fournissant au concepteur différentes informations concernant les performances ou la qualité des solutions (Frey, et al., 2009).

Dans cet axe, la modélisation de processus de conception par des agents intelligents permet de tenir compte des propriétés importantes de processus de conception telles que l'autonomie, la distribution, l'émergence, coévolution, la continuité, et la réactivité (Ostrosi, et al., 2012a), (Fougères & Ostrosi, 2013), (Choulier, et al., 2015).

La modélisation des informations relatives au produit est un aspect important pour le développement des modèles numériques. Roucoules (Roucoules, 2007) propose la décomposition de l'information sur le produit en cours de conception entre trois modèles (Figure 1.3) : (a) les modèles métier qui fournissent les informations pour l'évaluation comportementale du produit ; (b) un modèle de partage d'information qui fournira des mécanismes de description des informations partagées entre plusieurs acteurs et (c) des modèles d'interface assurant le lien entre les deux groupes précédents. Différentes études montrent la pertinence de cette modélisation (Skander, et al., 2008), (Roucoules & Tichkiewitch, 2000) et (Noël & Roucoules, 2008).

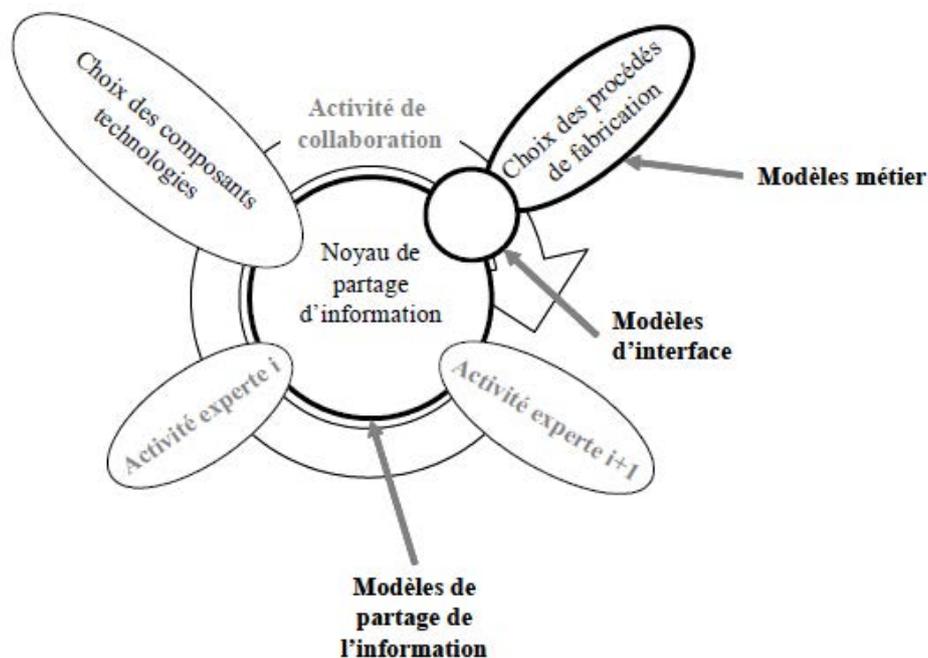


Figure 1.3. Les trois groupes de modèles de gestion de l'information de conception (Roucoules, 2007).

Un aspect important dans la modélisation numérique est la phase d'évaluation. Coulibaly et al. (Coulibaly, et al., 2007) considèrent le produit comme un objet conceptuel avec des propriétés et des méthodes d'évaluation propre à chaque domaine de conception. L'intégration de la sémantique dans les modèles numériques, considérant des critères importants du cycle de vie de produit, tel que la fiabilité et la criticité,

permet d'intégrer l'évaluation pendant la modélisation du produit (Coulibaly, et al., 2009).

### **1.2.2.2. La conception pour X : DFX (Design for X)**

Au cours des dernières décennies, plusieurs paradigmes ont été développés dans le but d'améliorer les caractéristiques spécifiques des produits au cours du processus de conception. Ils sont connus comme la conception pour X « Design for X » (DFX), (par exemple, "la conception pour la qualité", "la conception pour l'usinage", "la conception pour le coût", "la conception pour l'assemblage", etc.). Un paradigme DFX aide les concepteurs à développer des produits qui fonctionnent mieux par rapport au domaine X. Par exemple, la conception pour la fabrication et la conception pour le recyclage sont des paradigmes établis qui aident les concepteurs à développer des produits fabricables et recyclables.

Les techniques DFX sont au cœur de l'ingénierie concurrente (Dai, et al., 2002). Ces techniques permettent d'extraire des recommandations pour chacun des domaines d'application considérés. Elles visent à intégrer les différents métiers dans le processus de conception, permettant la diminution du temps et des coûts de développement du produit.

Parmi les techniques et domaines les plus rencontrés, nous constatons :

- Design for Assembly (Boothroyd & Alting, 1992) traite la conception orientée architecture produit, afin d'intégrer dans les meilleures conditions possibles les liaisons cinématiques entre organes et composants, en considérant les contraintes d'assemblage.
- Design for Manufacturing (Trybula, 1995) représente l'idée d'une conception de produit en mettant l'accent sur les contraintes de fabricabilité, en lien avec les processus de fabrication disponibles ou ciblés par le projet.
- Design for Recycling (Beitz, 1993) s'oriente vers une conception considérant le recyclage du produit en fin de vie.
- Design for Maintainability (Markeset & Kumar, 2001) assure qu'un produit pourra être réparé par l'utilisateur ou un service après-vente, sans difficultés et pour un prix raisonnable.

Dans la pratique, le DFX représente une suite de techniques de développement de produit qui peut être efficacement appliquée dans le processus de conception et qui permet non seulement la rationalisation des produits, mais également des processus et des systèmes associés (Huang & Mak, 1997).

### **1.3. La conception modulaire**

La conception modulaire est une méthodologie qui vise à développer une architecture système composée de sous-systèmes distincts afin d'optimiser un ensemble d'objectifs (Gu & Sosale, 1999), (Marshall, et al., 1999). Les produits modulaires remplissent diverses fonctions globales grâce à la combinaison des modules (Hillstrom, 1994).

La modularité peut être exploitée dans les premiers stades de développement de produit afin de réduire de manière significative les efforts de développement (temps, coût) (Pahl & Beitz, 1999). La modularité permet aussi d'augmenter la variété du produit (Ulrich & Eppinger, 2000), d'augmenter l'innovation technologique (Baldwin & Clark, 2000), et d'augmenter la spécialisation des entreprises. Les entreprises appliquant la modularité se distinguent par une réponse plus souple aux changements du marché (Sanchez & Mahoney, 1996).

La conception modulaire décompose un produit en sous-ensembles de composants plus ou moins indépendants qui peuvent être appelés '*modules*'. Le choix des différents modules, leur arrangement et leur disposition permettent de développer des structures modulaires. Donc, l'idée essentielle de conception modulaire est d'organiser un système complexe en un ensemble de composants distincts, *modules*, qui peuvent être développés indépendamment et ensuite assemblés. Un produit modulaire, contrairement à un produit intégré, a ses composants regroupés en modules, et donc, ces modules peuvent être conçus, fabriqués et assemblés séparément. Les modules peuvent être physiquement détachés de l'ensemble du produit. Ils peuvent être utilisés dans d'autres produits qui utilisent des modules identiques ou similaires, ou peuvent être disposés dans des configurations différentes pour obtenir plusieurs fonctions d'un même produit global. Les modules d'un produit, en fonction de sa taille et de sa complexité, à leur tour, peuvent avoir leurs composants regroupés en modules plus petits pour former une structure modulaire hiérarchique. Bien que cela puisse sembler une idée simple,

l'expérience montre que l'efficacité de la modularité dépend de la façon dont les systèmes sont décomposés en module d'une part, et les mécanismes utilisés pour arranger et disposer les modules ensemble, d'autre part.

D'un point de vue technique, la modularité a généralement trois objectifs (Baldwin & Clark, 2006) :

- rendre la complexité gérable ;
- paralléliser le travail ;
- s'accommoder aux incertitudes de l'environnement économique.

Les avantages de la modularité résultent de la réutilisation des pièces et de la répétition des opérations. La modularité facilite la collaboration, contribue à augmenter la flexibilité et à minimiser le risque économique. Grâce à l'indépendance mutuelle, un module est plus facile à concevoir, produire, tester, entretenir et réparer qu'un seul système intégral (Priest & Sanchez, 2001).

Selon Stjepandić, et al. (Stjepandić, et al., 2015), la conception modulaire implique généralement les processus suivants :

- l'identification de l'architecture du produit et des composants réutilisables de produits existants ;
- le groupement des composants en modules et leur adaptation pour engendrer un nouveau produit ;
- l'évaluation de la performance et du coût du nouveau produit.

Il est difficile de classer avec précision les produits modulaires et les produits non-modulaires parce que différents niveaux de modularité peuvent être observés dans les structures de produits. Ulrich & Tung (Ulrich & Tung, 1991) ont observé que les produits modulaires présentent généralement des caractéristiques communes :

- un produit modulaire est réalisé par un ensemble d'unités de base compatibles, *modules*, qui peuvent être utilisées pour construire une variété d'autres produits. Ces unités peuvent être des unités générales utilisées dans divers produits, ou unités spécifiques pour certains produits. Elles peuvent être introduites lors de la

conception initiale, ou elles peuvent être introduites en tant que nouvelles technologies, qui se présentent comme des nouvelles exigences.

- les interfaces entre les unités doivent permettre un montage et un démontage simples, et doivent être compatibles et cohérentes entre les différentes unités concernées.
- un produit modulaire est réalisé en deux phases :
  - (1) la première phase est la conception et la production de modules de base. Ces modules sont généraux et ne sont pas spécifiques à un seul produit.
  - (2) la deuxième phase est la conception de la structure de produit modulaire à l'aide des modules de base développés dans la première phase, et, si nécessaire, à l'aide d'autres modules spécifiques au produit.

Ceci montre que les deux questions fondamentales de la conception modulaire sont : (a) le développement de modules (regroupement des composants), et (b) le développement d'interfaces entre eux.

### **1.3.1. Le développement et le regroupement des modules**

La plupart des approches de la conception modulaire fournissent des méthodes pour trouver le scénario le plus optimal pour le regroupement des composants d'un produit. Une méthode d'optimisation du regroupement des composants pour les divers objectifs du cycle de vie de produit a été présentée par Gu, et al. (Gu, et al., 1997). Dans cette méthode, les relations entre les composants sont mathématiquement représentées par une matrice d'interaction. Les valeurs quantitatives de cellules de cette matrice indiquent à quel point deux éléments (lignes et colonnes) doivent être dans le même module en fonction de divers critères de cycle de vie. Des algorithmes génétiques sont utilisés pour trouver le scénario optimal par rapport à plusieurs objectifs qui peuvent être en conflit l'un avec l'autre. Une approche similaire a été développée par Yu, et al. (Yu, et al., 2003). Des algorithmes génétiques sont là aussi utilisés pour le partitionnement d'un produit dans un ensemble optimal de modules.

Diverses approches pour le regroupement des composants comprennent généralement une partie ou la totalité des étapes générales suivantes de conception modulaire :

- établir la structure fonctionnelle du produit.
- chercher des solutions alternatives pour chaque fonction.
- établir les fonctions objectives et déterminer leur importance relative.
- construire les matrices de relation et quantifier leurs éléments (analyse de l'interaction).
- exécuter des algorithmes de regroupement pour trouver le scénario de regroupement le plus optimal.
- modifier des formes et des interfaces pour se conformer à l'architecture du produit proposé.
- modifier les données de conception (de la matrice d'interaction) basées sur les nouvelles relations entre les modules.
- évaluer l'amélioration de la conception finale en ce qui concerne les objectifs de modularité.

### **1.3.2. Le développement d'interfaces entre des modules**

Les connexions entre les modules doivent être conçues pour faciliter l'assemblage et le désassemblage des modules (Gou, et al., 2003). Sanchez souligne que la normalisation des interfaces permet de concevoir de nouveaux produits et de nouveaux procédés compatibles avec les produits et les processus existants dans une entreprise (Sanchez, 2002). Cette normalisation des interfaces permet d'utiliser les mêmes modules dans une gamme de produits et d'optimiser les coûts. En effet, les produits d'une famille de produits partagent non seulement des similitudes de conception, mais aussi des processus similaires de fabrication et d'assemblages, et par conséquent les mêmes lignes de fabrication et d'assemblage (De Lit & Delchambre, 2003).

Hillstrom a présenté une méthode qui aide le concepteur, d'une part, à comprendre comment les interfaces entre les modules influencent les fonctions du module, et à sélectionner le meilleur emplacement de l'interface (Hillstrom, 1994) d'autre part. Sa méthode utilise la théorie de la conception axiomatique de Suh avec des outils classiques de « conception pour la fabrication et l'assemblage » DFMA (Design For Manufacture and Assembly) (Stjepandić, et al., 2015).

### 1.3.3. Design Structure Matrix (DSM)

La plupart des approches actuelles de conception modulaire visent à chercher les modules en utilisant le principe de regroupement des composants. Ceci repose sur l'hypothèse que les interactions entre les différents composants peuvent être quantifiées et représentées par des graphes ou des matrices.

Un groupe d'experts interdisciplinaire et international avait maintenu la notion de « Design Structure Matrix » (DSMweb.org, 2015). Trois types de matrices sont présentés, DSM (Design Structure Matrix), DMM (Domain Mapping Matrix) et MDM (Multiple-Domain Matrix). La DSM (Design Structure Matrix) est la matrice de base. Elle est utilisée pour mettre en relation les entités de même genre. La DMM (Domain Mapping Matrix) peut être utilisée pour établir une correspondance entre deux paramètres différents d'un système, par exemple, relier les fonctions d'une architecture avec les composants. La MDM (Multiple-Domain Matrix) combine DSM et DMM dans un modèle de système complet. En tant que tel, un système complet peut être représenté et géré. La matrice DSM est utilisée pour représenter la relation fonction-fonction et la relation solution-solution alors que la matrice DMM est utilisée pour représenter la relation fonction-solution. La Figure 1.4 montre les trois types des matrices.

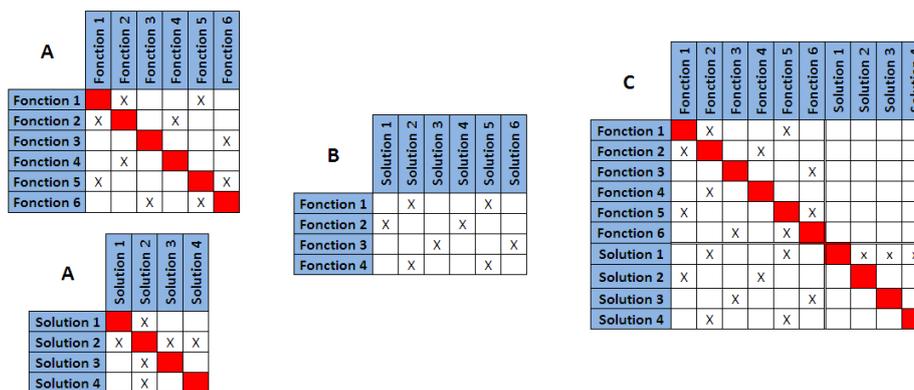


Figure 1.4. Les matrices relationnelles: (A) DSM, (B) DMM, (C) MDM. (DSMweb.org, 2015)

La « Design Structure Matrix » est un outil de représentation d'un système complexe, présenté par Steward (Steward, 1981), qui supporte les solutions du problème de la décomposition d'un produit. C'est une matrice carrée où le nombre des lignes (et des colonnes) correspond au nombre de composants d'un système donné. Pour modéliser

l'architecture d'un produit, les éléments de DSM représentent les composants du produit et les interactions représentent les interfaces entre les composants. Le nombre de lignes correspond au nombre de composants, les lignes et les colonnes sont nommées et ordonnées de façon identique.

Une fois que la DSM est réalisée pour un produit, elle peut être analysée pour l'identification de modules. Ce processus est appelé regroupement. L'objectif du regroupement de la DSM est de trouver des sous-ensembles d'éléments (modules) qui sont mutuellement exclusifs. En d'autres termes, les modules contiennent la plupart, ou la totalité des interactions à l'intérieur, par contre, les interactions entre différents modules sont éliminées ou réduites au minimum (Fernandez, 1998). A titre d'exemple, considérons la DSM dans la Figure 1.5. Comme on peut le voir sur la Figure 1.5-b, la DSM initiale a été réarrangée (en échangeant simplement la position des lignes et des colonnes) pour représenter les interactions au sein de deux blocs ou modules distincts : AF et EDBCG. Cependant, trois interactions sont encore en dehors de tout bloc. Un arrangement alternatif est suggéré sur la Figure 1.5-c. Cette disposition suggère la formation de deux modules qui se chevauchent (AFE et EDBCG). Toutefois, la DSM considère uniquement l'aspect quantitatif. Pour pallier ce problème, Coulibaly et al. (Coulibaly et al. 2007) ont proposé l'enrichissement de la matrice avec les aspects sémantiques. Cette matrice est appelée Design Semantic Matrix.

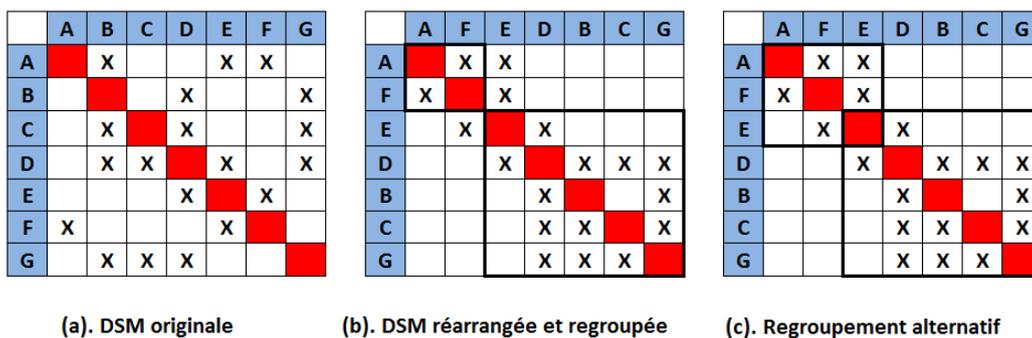


Figure 1.5. Exemple de regroupement (clustering) de Design Structure Matrix DSM

La représentation de la DSM d'une architecture système/produit a prouvé son utilité grâce à son attraction visuelle et à sa simplicité. De nombreux chercheurs l'ont utilisée pour proposer des améliorations architecturales par simple manipulation de l'ordre de lignes et de colonnes dans la matrice (McCord & Eppinger, 1993), (Pimmler &

Eppinger, 1994). Dans une tentative pour automatiser ce processus manuel de manipulation de DSM, Fernandez (Fernandez, 1998) a utilisé un modèle DSM avec des techniques de recherche de recuit simulé afin de trouver des groupements optimaux. Dans son approche, dont le principe est « offre-demande », chaque élément est affecté initialement à un module et les demandes sont évaluées pour tout autre module. Si un module est en mesure de faire une meilleure offre, alors l'élément est déplacé au module offrant. L'objectif est donc d'obtenir un compromis entre les coûts d'affectation dans un module et le coût global du système. Sharman (Sharman, 2002) a tenté d'utiliser l'algorithme de regroupement décrit dans (Fernandez, 1998) sur une turbine à gaz industrielle. Toutefois, il a montré que cet algorithme est incapable de prédire la formation des « bons » regroupements pour les architectures de produits complexes. Dans une situation similaire, Whitfield, et al. ont utilisé des algorithmes génétiques pour former des modules de produits (Whitfield, et al., 2002). Leur algorithme est également construit sur les mêmes principes introduits par Fernandez (Fernandez, 1998), et par conséquent souffre de problèmes similaires.

## **1.4. La conception axiomatique**

### **1.4.1. Introduction**

La conception implique une interaction continue entre "*ce que nous voulons atteindre*" et "*comment nous voulons l'atteindre*". Nous devons déterminer les objectifs de la conception en la définissant en termes d'exigences spécifiques, qui seront appelées spécifications fonctionnelles. Alors, pour répondre à ces spécifications fonctionnelles dans le domaine fonctionnel, un domaine de réalisation physique caractérisé en termes de paramètres de conception doit être créé.

Suh (Suh, 2001) perçoit le processus de conception comme une correspondance entre des domaines. Pendant le processus de conception, le problème abordé peut être divisé en quatre domaines : le domaine du client, le domaine fonctionnel, le domaine physique et le domaine du processus. Dans l'ordre indiqué, les éléments associés à chaque domaine sont les besoins des clients « *customer needs* » [CNS], les spécifications fonctionnelles « *functional requirements* » [FRs], les paramètres de conception « *design*

parameters » [DPs], et les variables de processus « *process variables* » [PVs]. La première étape, dans la conception, est la définition du problème sous la forme de fonctions et de contraintes. Ensuite, le processus de conception implique une hiérarchie des fonctions et des solutions. Ainsi, le concepteur doit mettre en relation les domaines fonctionnel et physique pour réaliser le processus de conception.

Le processus de conception progresse d'un niveau du système à un autre niveau plus détaillé. Autrement dit, il se développe à partir de systèmes vers des sous-systèmes. Cela peut être représenté en termes d'une hiérarchie de décomposition, où chaque décomposition dans le domaine fonctionnel est effectuée uniquement après avoir trouvé une solution dans le domaine physique pour une fonction donnée. Autrement dit, le concepteur passe par un processus de zigzag entre les domaines au cours de la décomposition d'un problème de conception (Figure 1.6).

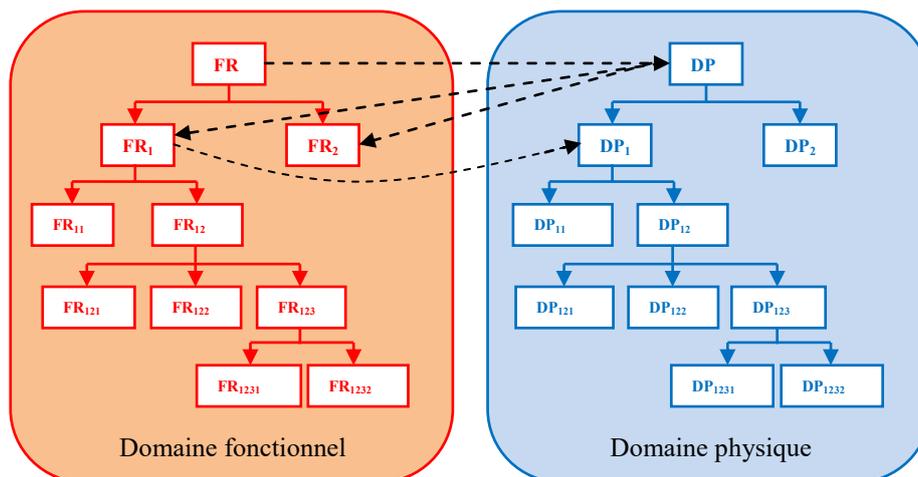


Figure 1.6. Processus de zigzag entre le domaine fonctionnel et le domaine physique pour décomposer les fonctions et les solutions. (Suh, 2001)

## 1.4.2. Les axiomes et les corollaires de la conception axiomatique

Après avoir adopté les principes ci-dessus pour la modélisation des processus de conception, Suh a développé deux axiomes et plusieurs corollaires pour guider le processus de conception. Ces axiomes sont indiqués ci-dessous :

- *The Independence Axiom (Axiome de l'Independence)* : maintenir l'indépendance des fonctions.

- ***The Information Axiom (Axiome de l'Information)*** : réduire le contenu de l'information de la conception.

Comme mentionné précédemment, dans l'approche de Suh, un problème de conception est décrit par un ensemble FRs qui sont à la fois nécessaires et suffisantes pour représenter les objectifs. De la nécessité des FRs, nous pouvons logiquement conclure que la redondance n'est pas autorisée, donc les FRs doivent, par définition, être indépendantes les unes des autres. Puis, le premier axiome encourage le concepteur à «maintenir» cette indépendance, et ne pas «coupler» les fonctions à travers les DPs qui sont choisis pour elles. Cela signifie essentiellement que pour chaque FR, qui par définition doit être indépendante des autres FRs, un DP indépendant doit être trouvé afin que la valeur souhaitée de la FR puisse être atteinte grâce à l'ajustement de la valeur de DP.

L'axiome de l'information indique que, parmi ces conceptions qui maintiennent l'indépendance des spécifications fonctionnelles FRs, la meilleure solution est celle avec le contenu de l'information minimale. La conception avec le contenu d'information minimal est celle qui a la plus forte probabilité de succès : une conception réussie est celle qui satisfait les FRs. Cette conception est également celle qui a le moins de complexité en termes de satisfaction des spécifications fonctionnelles [FRs] (Albano & Suh, 1993), (Suh, 2001).

Suh a également introduit la matrice de conception, qui montre les relations entre les FRs et les DPs à un niveau donné de la hiérarchie de la conception. Il existe trois possibilités pour la matrice de conception : une matrice avec des éléments au-dessus et en dessous de la diagonale (*conception couplée 'Coupled design'*), une matrice triangulaire (*conception découplée 'Decoupled design'*), ou une matrice diagonale (*conception non-couplée 'Uncoupled design'*). L'axiome de l'indépendance affirme que la conception non-couplée est idéale, et une conception couplée est inacceptable et doit être au moins convertie en une conception découplée.

La conception axiomatique n'est pas une prescription détaillée sur la façon d'effectuer chaque étape du processus de conception. Au lieu de cela, elle montre comment

l'artefact doit être conçu : la conception doit être non-couplée avec des informations minimales.

De nombreux corollaires peuvent être dérivés comme une conséquence directe des deux axiomes. Ces corollaires peuvent être plus utiles pour prendre des décisions pendant le processus de conception. Ce sont des lignes directrices générales qui aident le concepteur à prendre de meilleures décisions au cours du processus de conception.

Ils peuvent même être appelés «règles de conception». Nous résumons ces corollaires dans le Tableau 1.2.

**Tableau 1.2. Les 7 corollaires de la conception axiomatique (Suh, 2001)**

Corollaire 1	<b><i>Découplage de Design couplé</i></b> Découpler ou séparer des pièces ou des aspects de solution si les fonctions sont couplées ou si elles deviennent interdépendantes dans la conception proposée.
Corollaire 2	<b><i>Minimisation de fonctions</i></b> Réduire le nombre de fonctions et de contraintes.
Corollaire 3	<b><i>Intégration des parties physiques</i></b> Intégrer des caractéristiques de conception dans une partie physique unique si les fonctions peuvent être indépendamment satisfaites dans la solution proposée.
Corollaire 4	<b><i>Utilisation de normalisation</i></b> Utiliser des pièces standardisées ou interchangeables si l'utilisation de ces pièces est compatible avec les fonctions et les contraintes.
Corollaire 5	<b><i>Utilisation de symétrie</i></b> Utiliser des formes et/ou des arrangements symétriques s'ils sont compatibles avec les fonctions et les contraintes.
Corollaire 6	<b><i>La plus grande tolérance</i></b> Spécifier la plus grande tolérance permise en indiquant (précisant) les fonctions.
Corollaire 7	<b><i>Conception non-couplée (uncoupled) avec moins d'informations</i></b> Chercher une conception non-couplée qui exige moins d'informations que les modèles couplés pour satisfaire un ensemble de fonctions.

La relation entre le domaine fonctionnel et le domaine physique peut être exprimée mathématiquement par l'équation de la conception :

$$[FRs] = [A][DPs]$$

ou  $[FRs]$ ,  $i=1,m$  est le vecteur représentant les spécifications fonctionnelles,  $[DPs]$   $i=1,n$  est le vecteur représentant les paramètres de conception,  $[A]$ ,  $i=1,m ; j=1,n$  est la matrice de conception.

Idéalement, la matrice de conception est une matrice carrée (le nombre de  $[FRs]$  est égal au nombre de  $[DPs]$ ). Comme nous l'avons mentionné ci-dessus, lorsque la matrice de

conception est diagonale ou triangulaire, la conception correspondante satisfait l'axiome de l'indépendance ('conception non-couplée', 'conception découplée'). Toute autre forme de la matrice de conception se traduira par une conception couplée qui n'est pas optimale.

La conception non-couplée indique que les tâches de conception sont mutuellement indépendantes, et peuvent s'exécuter simultanément pour réduire le temps de développement de manière significative. La conception découplée indique que les tâches de conception doivent être traitées séquentiellement.

### **1.4.3. La modélisation fonctionnelle**

La modélisation fonctionnelle est un outil qui permet à une équipe ou un individu de produire un modèle de comportement ou de fonctionnement d'un système. Le modèle résultant montre les fonctions du système et les interconnexions logiques entre ces fonctions. La modélisation fonctionnelle peut être utilisée pour : a) analyser et modéliser un système existant, b) analyser un système existant et en même temps développer des modifications de ce système et c) analyser et modéliser un nouveau système.

La modélisation fonctionnelle est un concept très important pour la structuration du produit en modules. Le rôle de la modélisation fonctionnelle est non seulement de clarifier la compréhension d'un problème de conception, mais aussi de servir comme base pour la génération des solutions modulaires. La modélisation fonctionnelle s'appuie sur l'hypothèse que les fonctions du produit peuvent être décomposées en sous-fonctions, pour lesquelles des solutions élémentaires peuvent être facilement trouvées. La modélisation des fonctions permet aux concepteurs de représenter les fonctions de produits et de décomposer ces fonctions en chaînes de sous-fonctions élémentaires connectées. Les sous-fonctions dans ces chaînes sont liées par un flux d'énergie, matière ou d'un signal passant à travers le produit pour former un modèle fonctionnel, représentant ainsi la structure fonctionnelle du produit. Les fonctions et les sous-fonctions du produit sont décrites dans la forme *verbe-objet*. Elles sont représentées par une opération boîte-noire sur les flux d'énergies, des matériaux, et des signaux.

Plusieurs méthodes de modélisation fonctionnelle actuelles suivent une procédure similaire. Elles commencent par la fonction globale du produit, qui ensuite est décomposée en sous-fonctions. Par exemple, Pahl et Beitz (Pahl & Beitz, 1996) définissent une fonction comme une formulation abstraite de la tâche, indépendante de toute solution particulière, qui transforme les flux d'entrée (énergie, matières et/ou signaux) en flux de sortie du même type. Hubka et Eder (Hubka & Eder, 1988) ont représenté fonctionnellement les systèmes en boucle fermée. D'autres chercheurs se sont focalisés sur le problème d'une représentation non ambiguë de la fonction du produit. Szykman, et al., 1999 proposent une représentation standardisée de la fonction (Szykman, et al., 1999). Leur intention est de développer un système de représentation qui facilitera les échanges des informations pendant la conception. Stone et Wood (Stone & Wood, 1999) proposent une méthodologie de dérivation fonctionnelle pour modéliser systématiquement des artefacts s'appuyant sur les fonctions et le schéma de flux. Les travaux de Szykman et Stone & Wood ont été intégrés dans un vocabulaire de fonction et de flux plus vaste connue sous le nom '*la base fonctionnelle*' (Hirtz, et al., 2002).

#### **1.4.4. La décomposition fonctionnelle**

La décomposition fonctionnelle se réfère généralement au procédé de résolution d'une relation fonctionnelle en parties fonctionnelles constituantes, de telle manière que la fonction d'origine peut être recomposée de ces parties. La décomposition fonctionnelle suppose que chaque partie du système corresponde à une fonction.

La décomposition fonctionnelle est bien évidemment un concept essentiel pour la conception modulaire. La forme modulaire du produit dépend de la forme de chaînes de sous-fonctions élémentaires connectées. Selon (Stone & Wood, 2000), la conception modulaire basée sur la décomposition fonctionnelle suit les étapes suivantes :

- **Définir les fonctions du produit** : les fonctions du produit proviennent des besoins des clients. Elles sont définies comme des opérations sur les flux d'énergies, de matériaux, et de signaux.
- **Décomposer les fonctions du produit en sous-fonctions** : pour chaque fonction du produit, décomposer les flux d'énergie, de matériaux et de signaux.

Pour chaque flux d'entrée, définir une chaîne de sous-fonctions qui transforme le flux, étape par étape, dans un flux de sortie. Puisque les sous-fonctions sont modélisées également comme les opérations sur les flux, elles peuvent être standardisées. Une bibliothèque de flux et de sous-fonctions a été proposée par Hirtz (Hirtz, et al., 2002). Cette bibliothèque est appelée, comme nous l'avons indiqué précédemment, la '*base fonctionnelle*' (Tableau 1.3).

Tableau 1.3. La bibliothèque de sous-fonctions (Hirtz, et al., 2002)

Primary	Secondary	Tertiary
<b>Branch</b>	Separate	Divide
		Extract
		Remove
	Distribute	
<b>Channel</b>	Import	
	Export	
	Transfer	Transport
		Transmit
	Guide	Translate
		Rotate
Allow DOF		
<b>Connect</b>	Couple	Join
		Link
	Mix	
<b>Control</b>	Actuate	
	Regulate	Increase
Decrease		
<b>Magnitude</b>	Change	Increment
		Decrement
		Shape
		Condition
	Stop	Prevent
		Inhibit
<b>Convert</b>	Convert	
<b>Provision</b>	Store	Contain
		Collect
	Supply	
<b>Signal</b>	Sense	Detect
		Measure
	Indicate	Track
		Display
	Process	
	<b>Support</b>	Stabilize
Secure		
Position		

- **Intégrer les chaînes de sous-fonctions** : les chaînes temporellement ordonnées de sous-fonctions sont intégrées en les connectant. Par conséquent, une série de sous-fonctions, séquentielle et/ou en parallèle, transforme le flux d'entrée, étape par étape, en flux de sortie. Les fonctions du produit forment maintenant une nouvelle structure fonctionnelle.
- **Identifier les modules** : dans la structure fonctionnelle, des groupes de sous-fonctions, liées par des flux, peuvent être identifiés pour former des modules. Cette observation a conduit à la formulation des heuristiques d'identification des modules.

Stone et Wood (Stone & Wood, 2000) ont proposé trois heuristiques pour la conception modulaire, en s'appuyant sur une typologie de flux, à savoir :

- un flux peut rester inchangé,
- un flux peut se ramifier, formant ainsi des chaînes de sous-fonctions indépendantes,
- un flux peut être converti en un autre type.

La Figure 1.7 montre la décomposition fonctionnelle d'un système de fragmentation de clinker d'une part, et les modules identifiés, d'autre part. Dans ce modèle, le choix de processus exige que l'énergie électrique et pneumatique soit utilisée comme source d'énergie.

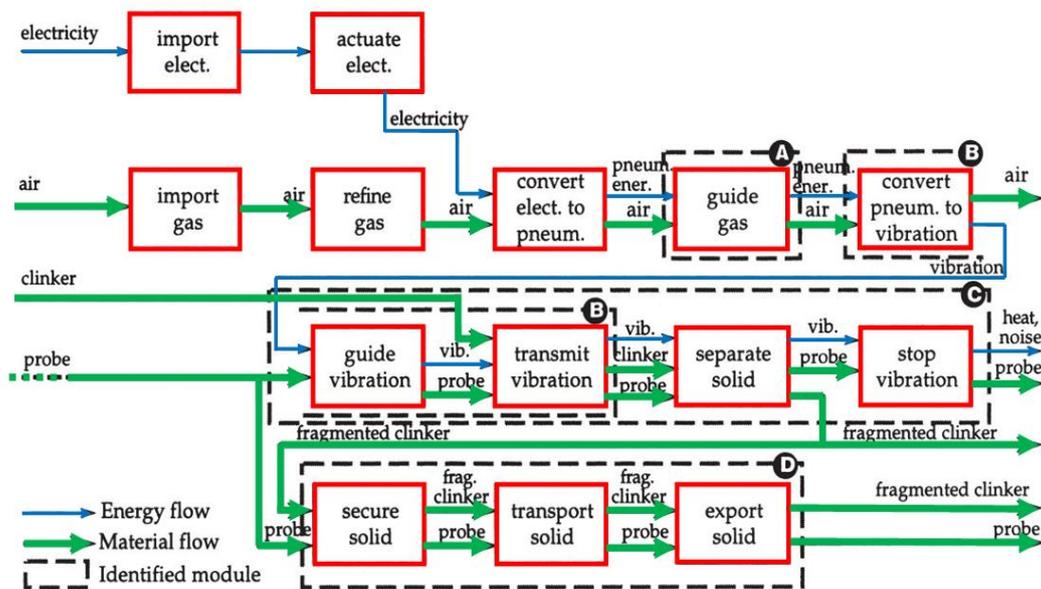


Figure 1.7. Un modèle fonctionnel du système de fragmentation de mâchefer (Stone & Wood, 2000)

Cette méthode fournit une technique pour l'identification systématique des modules pendant la phase de la modélisation fonctionnelle et permet de concevoir l'architecture du produit en amont. Une fois les modules de la structure fonctionnelle définis, la conception des dispositions alternatives devient une tâche plus simple. Ensuite, des techniques d'optimisation peuvent être appliquées pour trouver des produits modulaires optimaux (Stone & Wood, 2000).

## 1.5. La modélisation et la logique floue

Le processus de conception est un processus de représentation du produit, de la phase conceptuelle jusque la phase finale de détail. Chaque étape de ce processus est caractérisée par l'incertitude et le flou des informations et des données (Antonsson & Otto, 1995). L'incertitude fait partie intégrante du processus de conception (Antonsson & Otto, 1995). Ce n'est pas une imprécision en logique, mais plutôt une imprécision de la description du problème et de la conception préliminaire.

Les termes *incertitude* et *flou* ou *imprécision*, utilisés dans la conception des produits, sont distingués par Antonsson & Otto (Antonsson & Otto, 1995). L'incertitude est un concept stochastique. L'incertitude représente des variations stochastiques non contrôlées. Le terme *flou* ou *imprécision* est utilisé pour déterminer l'incertitude dans la

sélection des solutions alternatives. Le terme *flou* est utilisé pour caractériser aussi les préférences de l'utilisateur ou de l'expert. Une variable de conception est, de principe, une variable floue. Elle peut prendre n'importe quelle valeur dans un intervalle possible, parce que le concepteur ne connaît pas à priori sa valeur finale. Bien que le concepteur soit incertain sur la valeur d'une variable de conception, il a une préférence pour certaines valeurs au détriment des autres. Cette préférence, qui se caractérise par une double nature, *objective* et *subjective*, est employée pour mesurer l'imprécision avec laquelle les variables de conception sont connues. La théorie des ensembles flous permet de formaliser les aspects d'incertitude et de flou qui caractérisent le processus de conception.

La théorie des ensembles flous, initialement introduite par Lotfi Zadeh dans les années 1960, ressemble à un raisonnement humain dans l'utilisation de l'information et de l'incertitude pour générer des décisions approximatives (Zadeh, 1965). Elle a été spécifiquement conçue pour représenter mathématiquement l'incertitude et l'imprécision, et pour fournir des outils formalisés afin de faire face à l'imprécision intrinsèque à de nombreux problèmes.

Depuis l'introduction de la théorie des ensembles flous par Zadeh (Zadeh, 1965), ses fondements théoriques (Bandemer & Gottwald, 1995), (Zimmermann, 1996), (Baoding, 2007), ainsi que son application (Bellman & Zadeh, 1970), (Zadeh, 1996), (Chen & Wang, 2009), (Adali, et al., 2009), (Jeguirim, et al., 2011), (Chen, 2012), (Chen, 2013), (Liao, 2001), ont été considérablement enrichis. L'importance de cette théorie réside dans sa capacité à traiter les informations incertaines et sa capacité à fournir des solutions avec plusieurs degrés de préférences (Zimmermann, 1996), (Antonsson & Otto, 1995), (Bellman & Zadeh, 1970), (Zadeh, 1965).

En effet, la logique floue a été appliquée dans le processus de conception. Wood et al. (Wood, et al., 1990) ont proposé une approche pour comparer la théorie de la logique floue et la théorie des probabilités, et pour résoudre les problèmes d'imprécision dans la conception. Deciu et al. (Deciu, et al., 2005) ont proposé une utilisation de la théorie des sous-ensembles flous pour traiter les aspects d'incertitude et de flou qui caractérisent le processus de conception pour la configuration des familles de produit. Selon (Deciu, et al., 2005), le processus de conception mécanique peut être considéré comme un

processus de réduction de l'incertitude. Deciu et al. ont démontré que « pendant le processus de conception, le concepteur se confronte avec plusieurs formes distinctes d'incertitude :

- *Imprécision : cette incertitude est causée par la nature imprécise ou inexacte de l'information du processus de conception.*
- *Aléatoire : le concepteur ne connaît pas, a priori, la valeur finale d'une variable qui va résulter du cadre du processus de conception ou de fabrication.*
- *Flou : il y a des ambiguïtés concernant la définition des variables.*
- *Ambiguïté : cette incertitude est causée par le caractère vague de l'information dû aux multiples interprétations qu'un même mot peut avoir au sein du même langage.*
- *Incomplète : cette incertitude est causée par le manque d'information. »*

## **1.6. Les grammaires de conception**

### **1.6.1. Le terme de grammaire**

Le concept de 'grammaire générative' a été proposé premièrement par Noam Chomsky en 1957 (Chomsky, 1957) au MIT (Massachusetts Institute of Technology). La grammaire générative peut être considérée comme un véritable paradigme scientifique, qui a marqué les dernières décennies de la recherche en linguistique, sciences cognitives et sciences appliquées. Les principales thèses de la théorie de Chomsky sont les suivantes :

- la définition de la langue comme une grammaire formelle (générative), qui comporte un système de règles. Ce système de règles comprend un ensemble de règles syntagmatiques (règles de réécriture) produisant les structures profondes, et un ensemble de règles de transformation produisant les structures de surfaces.
- la recherche d'universaux linguistiques (catégories syntaxiques) et de formes (types de règles).

Le principe de base de l'analyse syntaxique est l'application des méthodes formelles des langages artificiels aux langues naturelles. Elles permettent de dériver des présentations

linguistiques, c'est-à-dire de générer des phrases. Une grammaire générative est une grammaire explicite, capable d'énumérer toutes et rien que les phrases grammaticales d'une langue. La grammaire générative est capable :

- d'engendrer un ensemble infini de phrases grammaticales à partir d'un ensemble fini d'éléments (catégorie, unité lexicale, règle).
- de leur associer automatiquement une description structurale.

La grammaire formelle est constituée principalement de quatre ensembles d'éléments comme suit :

- un ensemble fini de symboles terminaux, comme les '*lettres*' du langage.
- un ensemble fini de symboles non-terminaux, comme les '*mots*' du langage.
- un élément de l'ensemble des non-terminaux, appelé *axiome*, noté *S*.
- un ensemble de règles de production, formées d'un non-terminal et d'une suite de terminaux et de non-terminaux.

Par conséquent, une grammaire générative est un système combinatoire où des mots et des catégories syntaxiques comme des phrases, des phrases nominales (NP), des phrases verbales (VP), des noms (N), des verbes (V), etc. se combinent pour former des arbres, comme celui présenté dans la Figure 1.8.

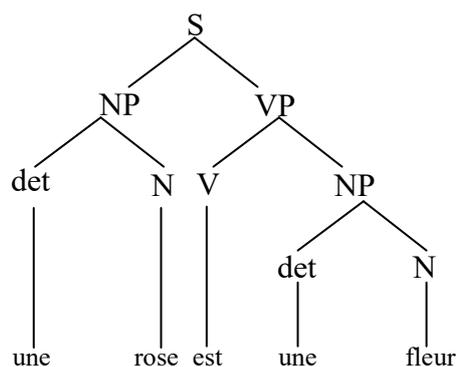


Figure 1.8. L'arbre de grammaires génératives

Dans la théorie de Chomsky, la structure syntaxique d'un langage est considérée comme une structure *S*, dérivée de la grammaire universelle *D*.

### **1.6.2. L'utilisation de grammaires dans la conception**

Le paradigme de grammaire générative peut être utilisé pour formaliser les langues de conception. Avec un nombre fini de structures de base et un ensemble fini de règles, nous pourrions être en mesure de générer un nombre indéfini de structures. De cette manière, nous pourrions expliquer la compétence des concepteurs d'une part, et générer des structures innovantes d'autre part.

Les grammaires génératives de conception utilisent un ensemble de règles pour former et modéliser des structures à partir d'un vocabulaire de symboles, de formes et de propriétés (Mullins & Rinderle, 1991). Les grammaires de conception sont des outils génératifs puissants et analytiques (Rinderle, 1991), (Chase, 2002). Les grammaires génératives de conception sont utilisées pour aider les concepteurs à produire et examiner des solutions pendant les phases conceptuelles de la conception.

### **1.6.3. Les grammaires de forme (*Shape grammars*)**

Une grammaire de forme consiste en un vocabulaire de formes, d'une forme initiale et d'un ensemble de règles de productions des formes, Figure 1.9 et Figure 1.10 (Stiny & Gips, 1972), (Stiny, 1980). L'ensemble de règles se compose au minimum de trois règles de forme : une règle de départ, au moins une règle de transformation, et une règle de terminaison. La règle de départ est nécessaire pour démarrer le processus de génération de forme. Les règles de transformation permettent de transformer et de faire évoluer la forme initiale vers des formes plus complexes. La règle de terminaison est nécessaire pour arrêter le processus de génération de forme. Les grammaires de forme diffèrent des grammaires de Chomsky sur un point important : les règles de production peuvent être appliquées en série (comme dans les grammaires de Chomsky), ou en parallèle (non autorisé dans les grammaires de Chomsky).

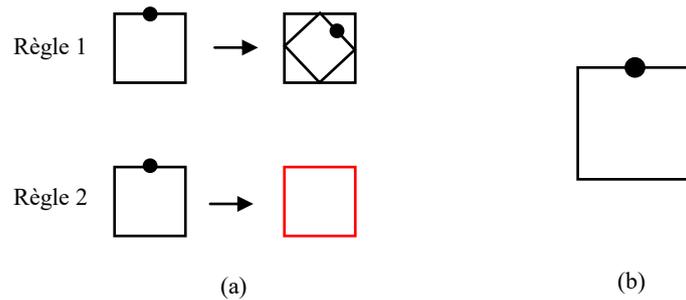


Figure 1.9. Une grammaire de forme simple, (a) les règles, (b) la forme initiale

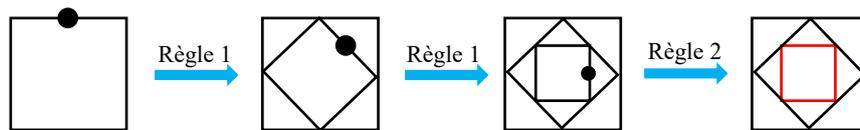


Figure 1.10. Génération d'une forme en utilisant la grammaire de forme de la figure 1, (Stiny, 1980)

Les grammaires de forme (Stiny & Gips, 1972), qui génèrent des langages de conceptions, ont été largement utilisées au cours des dernières années pour décrire et comprendre la diversité des styles architecturaux et d'autres styles de conceptions. Ces grammaires ont été développées pour répondre à deux préoccupations fondamentales dans la conception :

- (1) l'analyse ou la description de styles contemporains, ou historiques de conceptions,
- (2) la synthèse ou la création de styles de conceptions, à la fois nouveaux et originaux.

Les grammaires de forme ont été appliquées dans d'autres domaines importants, tels que la conception industrielle et l'ingénierie (Agarwal & Cagan, 1998), (Cagan, 2001).

#### 1.6.4. Les grammaires de graphes

Mathématiquement, les grammaires de graphes manipulent un ensemble de symboles : des nœuds et des arcs. Une grammaire de graphe est constituée d'un ensemble de symboles, d'un symbole de départ et un ensemble de règles de productions (Ehrig, 1979). Les grammaires de graphes sont utilisées dans l'espace fonctionnel, dans l'espace physique de la conception, ou dans les deux espaces à la fois.

Les grammaires de graphes sont très utiles pour la modélisation fonctionnelle et structurelle des produits grâce à leurs caractéristiques génératives. Elles supportent une représentation théorique et claire de la structure fonctionnelle, ainsi que la structure physique.

Plusieurs approches de grammaires de graphes ont été ainsi développées (Schmidt & Cagan, 1996), (Schmidt & Cagan, 1998), (Schmidt, et al., 2005), (Siddique & Rosen, 1999), (Starling & Shea, 2003), (Du, et al., 2002).

Schmidt et Cagan ont proposé une approche en utilisant des grammaires de graphes pour générer des solutions à partir d'une bibliothèque de composants et des caractéristiques fonctionnelles (Schmidt & Cagan, 1996), (Schmidt & Cagan, 1998).

Siddique & Rosen (Siddique & Rosen, 1999), ont développé une plateforme de produits s'appuyant sur les grammaires de graphes. A partir de cette plateforme, des variantes de produits peuvent être dérivées. La plateforme définit deux ensembles dans les espaces fonctionnel et physique de la conception : (a) le noyau et (b) les options. Ces deux ensembles sont représentés par des graphes. Cette approche ne traite pas le positionnement et la connectivité spatiale des structures.

Starling & Shea (Starling & Shea, 2003) proposent une approche de grammaires de graphes parallèles qui s'appuie sur le modèle Fonction-Behaviour-Structure de Géro (Gero, 2001). Le but de cette approche est de synthétiser des structures de mécanismes à l'aide d'une grammaire structurelle et d'une grammaire fonctionnelle.

Une approche plus avancée des grammaires de graphes est présentée par Du, et al. (Du, et al., 2003). La méthode proposée est basée sur des grammaires de graphes attribut qui permettent de définir différentes opérations, telles que le dimensionnement (*scaling*) et le remplacement (*swapping*). Dans cette approche, le produit est défini et représenté comme un graphe initial. A partir de ce graphe initial, des variantes sont dérivées en appliquant des règles de production et des opérations sur les attributs. L'approche proposée se limite à l'espace physique de la conception.

Les grammaires de graphes multi-niveaux ont été développées pour la modélisation CAO du produit (Ostrosi & Ferney, 2005), pour la configuration du produit (Ostrosi &

Ferney, 2006), (Deciu, et al., 2008) et pour le développement des modèles intelligents (Fougères & Ostrosi, 2015).

## **1.7. La conception holonique**

### **1.7.1. Le holon, le holisme et la holarchie**

La première utilisation du terme "Holon" dans la littérature est attribuée à Koestler dans son ouvrage fondamental "*The Ghost in the Machine*" (Koestler, 1967). A la fin des années 60, Koestler a présenté le concept d'une *entité*, appelée *holon*, qui est à la fois un *tout* (du grec 'holos') et une *partie* (du grec '-on'). La définition est intrinsèquement récursive car permet de décrire des holons en termes d'autres holons. Cette propriété particulière est indispensable pour le développement des modèles proposés dans cette thèse.

L'holisme est l'idée que toutes les propriétés d'un système donné (biologique, chimique, social, économique, mental, linguistique, etc.) ne peuvent pas être déterminées ou expliquées seulement par leurs parties composantes. L'holisme suppose que le système, dans son ensemble, détermine la façon dont ses parties se comportent. Aristote a succinctement résumé dans la Métaphysique le principe général de l'holisme : «*Le tout est plus que la somme de ses parties*».

Afin d'avoir un meilleur aperçu de la pensée de Koestler, il est utile de se référer à ses propres mots, comme indiqué dans le '*Alpbach Symposium*' en 1968 (Koestler, 1969), où il a présenté son cadre conceptuel comme une tentative de surmonter la dichotomie entre le réductionnisme et l'holisme, à savoir :

- *Proposition 1* : l'organisme, dans ses aspects structurels, n'est pas une agrégation de pièces élémentaires, et dans ses aspects fonctionnels n'est pas une chaîne d'unités élémentaires de comportement.
- *Proposition 2* : l'organisme doit être considéré comme une hiérarchie à plusieurs niveaux de sous-ensembles semi-autonomes, branchés en sous-ensembles d'un ordre inférieur, et ainsi de suite. Les sous-ensembles, sur tous les niveaux de la hiérarchie, sont appelés des 'holons'.

- *Proposition 3* : les parties et les ensembles, dans un sens absolu, n'existent pas dans les domaines de la vie. Le concept de l'holon vise à concilier les approches atomistes et holistiques.
- *Proposition 4* : les holons biologiques sont des systèmes ouverts autorégulateurs qui présentent à la fois des propriétés autonomes d'ensemble (*le tout*) et des propriétés dépendantes de l'entité. Cette dichotomie est présente dans chaque niveau de chaque type d'organisation hiérarchique.
- *Proposition 5* : plus généralement, le terme 'holon' peut être appliqué à un sous-ensemble stable biologique ou social qui présente un comportement régi par des règles, et est caractérisé par la stabilité structurelle. Ainsi, les organites (*organelles*) et les organes homologues sont des holons évolutifs ; les champs morphogénétiques sont des holons ontogénétiques ; les phonèmes, les morphèmes, les mots, et les phrases sont des holons linguistiques ; les individus, les familles, les tribus, et les nations sont des holons sociaux.

Ainsi, à partir du concept de l'organisme comme un ensemble systémique (Proposition 1), Koestler introduit le concept de la hiérarchie multi-niveaux (Proposition 2) ou l'holon est conçu comme une structure autorégulatrice des sous-ensembles. Ces sous-ensembles, en tant que parties d'un ensemble plus grand, doivent être considérés comme fonctionnels pour le système entier. Ils font partie du système. Cependant, en même temps, ces sous-ensembles montrent également des caractéristiques autonomes. Ce qui permet de les considérer comme un système. Autrement dit, les holons représentent une interprétation récursive de la notion de système où les parties et les ensembles ne sont pas considérés comme des entités séparées. Ceci est facilement observable dans le domaine de la vie (Proposition 3). Cette dichotomie est reflétée à chaque niveau de la hiérarchie (Proposition 4). Elle peut être étendue à tout sous-ensemble biologique ou social régis par des règles (Proposition 5).

Ainsi, l'holon de Koestler représente un modèle approprié pour la construction des organisations holarchiques autorégulatrices. Dans une entité unique, l'holon envisage deux points de vue distincts mais complémentaires: 'top-down' et 'bottom-up'.

- **Top-down** : l'entité agit comme un système autonome qui suit ses propres objectifs et règles, et donne également des indications aux composants dans un niveau inférieur ;
- **Bottom-up** : l'entité se comporte comme une partie obéissante à une entité de niveau supérieur.

Cette nature double-face, reflétée dans la relation partie/ensemble, et observée dans les organismes vivants et sociaux, peut être étendue à tout système hiérarchique complexe.

Grâce à la notion des holarchies, les systèmes holoniques instancient un paradigme organisationnel intéressant, où les rôles des parties et des ensembles coïncident. L'holarchie peut être décrite comme une hiérarchie multi-strates (Ferber, 1999), à savoir, un système ordonné hiérarchique où chaque niveau est une version abstraite de domaine spécifique du système complexe global.

La hiérarchie multi-niveaux (ou multi-strates) est caractérisée par l'imbrication intégrale (physique ou conceptuelle) de chaque niveau dans le niveau supérieur. Une représentation de l'holarchie comme une hiérarchie multi-niveaux est présentée dans la Figure 1.11 : les holons au niveau  $n$  sont regroupés en organisations qui peuvent être considérées, au niveau  $n+1$ , comme des entités individuelles. Inversement, les entités individuelles, au niveau  $n+1$ , peuvent être vues au niveau  $n$  comme des organisations. Le processus peut être répété sur un certain nombre de niveaux donnés.

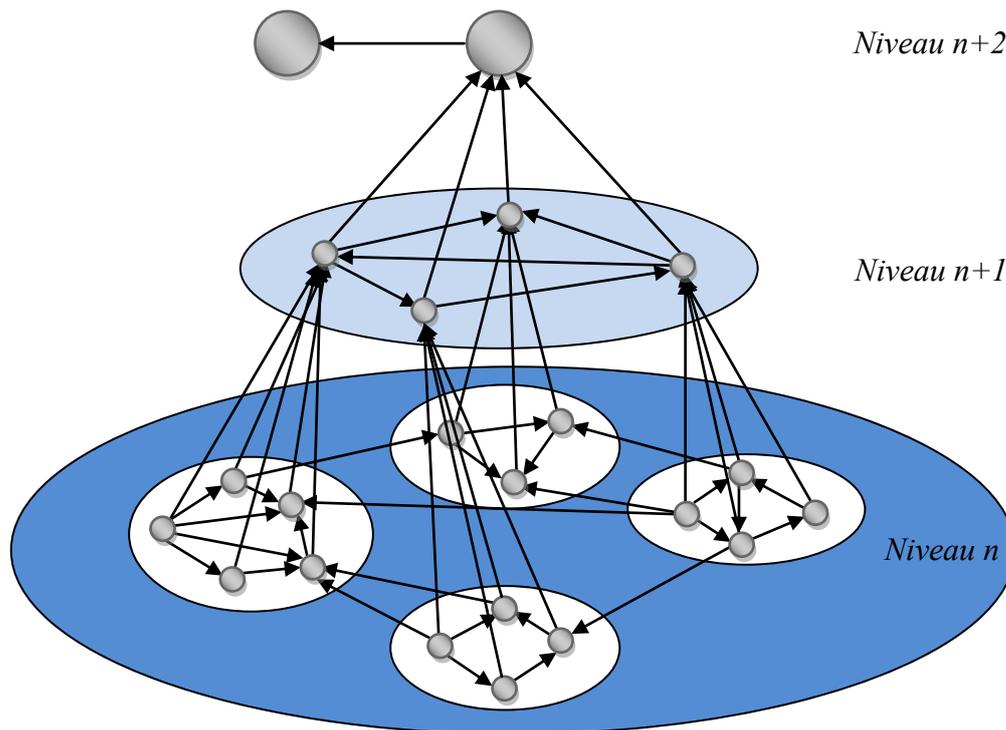


Figure 1.11. Une représentation d'une holarchie comme une hiérarchie multi-niveaux (Ferber, 1999)

### 1.7.2. La modélisation holonique dans la littérature

La modélisation holonique peut être considérée comme un véritable paradigme qui a marqué les dernières années de la recherche en différents domaines d'application.

De nombreuses applications ont été proposées en utilisant la notion de '*Holon*' : la conception holonique (Giret & Botti, 2009) ; (Abdoos, et al., 2013) ; les Systèmes de Fabrication Holoniques '*Holonic Manufacturing Systems HMS*' (Valckenaers, et al., 1998) ; (Van Brussel, et al., 1998) ; (Van Brussel, et al., 1999) ; (Blanc, et al., 2008), le contrôle holonique (Zhang, et al., 2000) ; (Balasubramanian, et al., 2001) ; (Wang, 2001) ; (Leitao, et al., 2003) ; (Leitao & Restivo, 2006) ; (Leitao & Restivo, 2008) ; (Ounnar & Pujo, 2012), le contrôle de relations client-fournisseur (Ounnar, et al., 2009), la conception de systèmes holoniques complexes (Honma, et al., 1998) ; (Valckenaers & Van Brussel, 2005), et les systèmes d'assemblage holoniques (Arai, et al., 2001) ; (Hsieh, 2008). Toutes ces applications ont montré les avantages potentiels du paradigme holon.

La recherche des structures auto-similaires, autonomes et coopératives, dans la structuration des systèmes complexes, a exploité les concepts proposés par Koestler. Cela a été particulièrement évident dans le domaine de ‘Intelligent Manufactory Systems’ (IMS), où le nouveau paradigme a donné naissance à ce que l'on appelle les Systèmes de Fabrication Holoniques ‘Holon Manufacturing Systems’ (Valckenaers, et al., 1998), (Van Brussel, et al., 1998), (Kopacek, 1999), (Gruver, et al., 2003), (Brennan, et al., 2005), (Blanc, et al., 2008). En fait, la complexité de l'intégration des systèmes de fabrication, allant de la planification des ressources d'entreprise ‘Enterprise Resource Planning’ (ERP), aux contrôles et à l'acquisition des données ‘Supervisory Control and Data Acquisition’ (SCADA), combinée avec la demande croissante pour des lignes de production agiles et reconfigurables, semble particulièrement adaptée à la philosophie holonique.

L'holon représente un moyen très intéressant pour surmonter la dichotomie entre les parties et les ensembles, et pour tenir compte des tendances d'intégration de la conception. Plusieurs systèmes basés sur l'holon ont été présentés dans la littérature, en particulier dans la dernière décennie (Adam, et al., 2000), (Fletcher, et al., 2000), (Kremer & Norrie, 2000), (Fujita, 2001), (Fleetwood, et al., 2003), (Ounnar & Pujo, 2012).

Toutefois, la contribution du paradigme holon dans la littérature scientifique va au-delà des applications. Une tendance de la recherche récente semble soutenir l'idée que la méthodologie holonique permet de concevoir le processus comme un système de systèmes. Donc, ce paradigme est utile pour la modélisation du système et, finalement, pour le développement des théories de ‘*system thinking*’ (Jackson & Keys, 1984). Les premières réflexions, sur l'utilisation du paradigme holon dans le cadre de la modélisation du système, remontent à la fin des années 90. En 1998, Thompson et Hughes (Thompson & Hughes, 1998) introduisent un modèle théorique objet-orienté pour décrire les activités humaines et informatiques au sein d'une organisation donnée. Le travail a été mené dans le but de trouver une solution améliorée à la conception des systèmes de fabrication intégrées ‘*Computer Integrated Manufacturing Systems*’.

Les systèmes holoniques multi-agents sont parmi les artefacts les plus complexes émanant des activités délibérées de la conception et du développement humain.

Valckenaers et Van Brussel (2005) ont présenté quelques idées fondamentales dans la conception des systèmes holoniques. Pour chaque système de fabrication holonique, il existe trois types d'holons de base, à savoir : les holons de ressources, les holons de produits, et les holons d'ordre (Valckenaers, et al., 1998) ; (Van Brussel, et al., 1998) ; (Van Brussel, et al., 1999) ; (Blanc, et al., 2008). L'application des concepts holoniques dans la fabrication a été initialement motivée par l'insuffisance des systèmes de fabrication existants dans les deux aspects suivants : (a) traiter l'évolution des produits au sein d'une installation de production existante, et (b) maintenir une performance satisfaisante en dehors des conditions normales d'exploitation (Giret & Botti, 2009).

Le contrôle holonique, ainsi que la fabrication holonique, ont été étudiés par (Babiceanu & Chen, 2006). Une approche holonique de la planification de fabrication est proposée par (Leitao & Restivo, 2008), où les fonctions de planification sont distribuées parmi plusieurs entités, combinant leur puissance de calcul et leur capacité d'optimisation locale. Le contrôle holonique combine les avantages des systèmes de contrôle traditionnels, par exemple le contrôle hiérarchique, et évite différents inconvénients (Van Brussel, et al., 1998) ; (Leitao, et al., 2003) ; (Leitao & Restivo, 2006). Les approches de contrôle pour les systèmes de fabrication holoniques ont été proposées par (Zhang, et al., 2000), (Balasubramanian, et al., 2001) et (Wang, 2001). La modélisation et la reconfiguration en temps réel des spécifications comportementales abstraites des holons, en utilisant des agents mobiles ont également été étudiées (Fletcher, et al., 2003).

La propriété *double-tête* implique que les holons doivent obligatoirement être inclus dans un agencement vertical typique, avec une accumulation progressive et une formation d'un ordre hiérarchique imbriquée appelée '*holarchie*'. Les holarchies structurelles de type fractal sont utilisées dans l'ingénierie simultanée (Wang, 2001).

L'autosimilarité du processus de conception est utilisée pour structurer le processus de conception en ingénierie simultanée fractale. Les holons ont également été utilisés dans la conception du produit et du système (Hashemian, 2005). L'holon de conception consiste en trois éléments : (a) un problème, (b) une solution qui est associée à ce problème, et (c) une décomposition du problème en sous-problèmes en fonction de la solution choisie. Considérer la solution en tant qu'un composant d'un holon de

conception s'explique par le fait que la décomposition est effectuée une fois que la solution d'un problème est trouvée.

Par ailleurs, la représentation holonique peut être utilisée efficacement pour l'identification des systèmes dynamiques non linéaires à grande échelle. Une modélisation des systèmes complexes holonique, tels que les systèmes adaptatifs complexes, qui apportent un nouveau paradigme scientifique, est présentée par Honma, et al. (Honma, et al., 1998).

Une autre application du concept holonique est l'assemblage holonique (Arai, et al., 2001). Le système permet de s'adapter aux changements brusques et aux pannes de dispositifs d'assemblage. Les propriétés des tolérances aux pannes, dans les processus de montage/démontage dans les systèmes de l'assemblage holonique, ont été étudiées par Hsieh (Hsieh, 2008).

## **1.8. Discussion et positionnement de notre recherche**

L'état de l'art que nous avons présenté montre que le processus de conception est un phénomène complexe et incertain. Plusieurs phénomènes locaux caractérisent cette structure globale. Concevoir semble un phénomène qualitatif discontinu dans le temps et l'espace.

Comprendre et structurer le processus de conception d'une part, et développer des modèles formels stables d'autre part, sont les objectifs de la recherche en conception.

Les recherches en conception montrent que l'existence des différents domaines de définition des problèmes de conception implique la discontinuité. En effet, le processus de conception implique de multiple-métiers, la distribution des métiers et des acteurs, et l'interaction dans un environnement dynamique et incertain. Améliorer la maîtrise de la discontinuité en conception est notre objectif de recherche. Dans ce contexte, la problématique de notre thèse concerne la conception pour la configuration qui est un des problèmes de la structuration en conception. Nous proposons d'explorer plus particulièrement :

- appréhender et modéliser la conception pour la configuration comme un problème de recherche de consensus entre différents métiers ;
- appréhender et modéliser les relations intra et inter domaines utilisant le paradigme holon.

En effet, les décompositions jouent un rôle important dans la créativité et dans la conception. Les phases créatives du processus de conception peuvent être caractérisées par des changements entre les composants non-décomposés et ceux qui sont décomposés. Les modules sont à la fois des *décompositions* et des *agrégations*. En effet, la modularité, comme une forme de discontinuité et de continuité à la fois, est le résultat de la *décomposition* du produit et de *l'agrégation* locale des composants. Pendant le processus de conception, le concepteur structure les produits en décompositions, donc dans des modules, qui à leur tour forment d'autres modules, et ainsi de suite jusque à ce que le produit final émerge. Dans ce processus, le concepteur traite certaines formes distinctes d'incertitude : l'imprécision, l'aléatoire, le flou, l'ambiguïté et l'incomplétude. Modéliser avec la logique floue permet de tenir compte du caractère incertain intrinsèque à l'activité de conception. L'holon représente ainsi un modèle approprié pour la construction des organisations modulaire autorégulatrices et floues. Le module holon envisage donc une entité unique avec deux points de vue distincts mais complémentaires : 'top-down' et 'bottom-up'.

- Top-down : le module agit comme un système autonome qui suit ses propres objectifs et règles, échange avec les composants d'un niveau inférieur et les contrôle.
- Bottom-up : le module se comporte comme une partie obéissante à un module de niveau supérieur.

Il y a différentes façons de définir une décomposition du produit. Elles dépendent principalement du type d'informations qui doit être mis en évidence. Les descriptions doivent souligner certaines propriétés techniques du produit. Décrire un produit conduit à la structuration de ce produit en termes de ses composants. Ces composants peuvent à nouveau être décomposés en utilisant de nouvelles propriétés techniques menant à de nouveaux ensembles de composants. En utilisant ces techniques de décomposition avec des grammaires génératives, qui représentent des outils très efficaces pour générer et

classer les décompositions, nous décrivons le produit fonctionnellement (en le décomposant) et ensuite produire les décompositions structurelles correspondantes aux décompositions fonctionnelles. En effet, la stabilité du modèle de configuration dépend des interactions entre les modèles élémentaires, qui le constituent et leurs formes respectives.

Il s'agit donc plus particulièrement de :

- formaliser les grammaires génératives pour la modélisation de produit dans les deux principaux espaces : fonctionnel et structurel.
- modéliser les liens entre ces deux espaces à l'aide du concept '*holon*'.



**CHAPITRE 2**

**MODELISATION FLOUE POUR LA  
CONFIGURATION DU PRODUIT**



## **CHAPITRE 2 : MODELISATION FLOUE POUR LA CONFIGURATION DU PRODUIT**

### **2.1. Introduction**

Le processus de configuration est défini comme le processus de génération de plusieurs configurations possibles de produit s'appuyant sur un modèle de configuration. Ce processus se caractérise par la tâche de configuration (Sabin & Weigel, 1998), (Tiihonen, et al., 1996), (Männistö, et al., 2001). Configurer consiste à trouver les configurations de produit en définissant les relations entre les composants, en vue de satisfaire un ensemble de spécifications et un ensemble de contraintes imposées sur le produit (Snavely & Papalambros, 1993), (Sabin & Weigel, 1998), (Männistö, et al., 2001), (Tiihonen, et al., 1996). Les configurations des produits sont le résultat du processus de configuration et représentent des structures possibles du produit, définies par un ensemble de composants, leurs interconnexions et leurs propriétés topologiques et géométriques (Deciu, et al., 2007).

La configuration a été considérée plutôt comme une activité d'interface entre la vente et la production (Tiihonen, et al., 1996). Ainsi, la modélisation du produit a été considérée comme un problème d'arrangement d'un ensemble prédéfini des composants dans une structure valide. Deciu et al. (Deciu, et al., 2007), en montrant les limites de ce concept, ont défini la configuration comme un problème structurel et multi-vues. Le problème de configuration doit être un problème à la fois client-orienté et métiers-orientés. Selon (Deciu, et al., 2007), l'ensemble des solutions dans l'ensemble des composants de configuration doit être consensuel dans les deux espaces de conception : spécifications et processus. De plus, le modèle doit considérer l'aspect incertitude du processus de conception.

Nous proposons d'appréhender et de modéliser la conception pour la configuration comme un problème de recherche de consensus (Ostrosi, et al., 2012b) entre différents métiers distribués, dont la tendance de leur rôle, aujourd'hui, semble converger vers celles des services distribués dans un environnement dynamique et incertain (Issa et al.

2015). Nous proposons d'appréhender et de modéliser la conception pour la configuration en intégrant les aspects d'optimisation des configurations d'une part, et de la recherche des noyaux des configurations à la fois optimales et consensuelles, d'autre part. La recherche des noyaux de configuration permet de : (a) capitaliser les parties commune des configurations optimales, (b) expliciter leur caractéristiques et (c) utiliser des structures similaires comme des *attracteurs*, pour la structuration du produit en différents niveaux. Nous utilisons le concept d'attracteur au chapitre 4. Alors les hypothèses de travail sont les suivantes :

- 1) **Hypothèse de multi-vues** : le problème de configuration des produits est un problème multi-vues.
- 2) **Hypothèse de flou** : le problème de configuration des produits est un problème incertain. En effet, la perception des différents acteurs sur le produit à configurer est subjective.
- 3) **Hypothèse d'optimum** : le problème de configuration peut être défini formellement comme un problème d'optimisation et d'arrangement d'un ensemble de solutions consensuelles dans les domaines de spécification, fonctionnel et de processus.
- 4) **Hypothèse de noyau partagé** : chaque famille de produits se distingue par un ensemble de noyaux partagés. C'est autour de ces noyaux que la variation des produits se réalise.

Ce chapitre a la structure suivante : dans la deuxième section nous présentons et comparons plusieurs définitions de la tâche de configuration. Dans la troisième section, une vue sur la structure fonctionnelle et la structure physique est présentée. Ensuite, dans la quatrième section, nous introduisons l'architecture de la conception pour la configuration. Puis, dans la cinquième section nous présentons les quatre phases des modèles flous de la configuration. Enfin, nous terminons par la discussion et la conclusion.

## **2.2. Processus de configuration et tâche de configuration**

Plusieurs définitions de la tâche de configuration ont été présentées dans la littérature (Mittal & Frayman, 1989), (Najman & Stein, 1992), (Tiihonen, et al., 1996), (Brown, 1998).

(Mittal & Frayman, 1989) ont donné l'une des premières définitions, selon eux la tâche de configuration est définie par un ensemble de données comme suit :

- 1) un ensemble déterminé de composants ;
- 2) une description de la configuration souhaitée ;
- 3) des critères supplémentaires pour choisir des solutions optimales.

Par conséquent, plusieurs configurations peuvent être construites pour répondre à toutes les exigences des clients. Chaque composant peut être décrit par des propriétés et des interfaces de connections qui permettent la connexion entre ce composant et les autres composants dans la structure de produit.

Une autre définition de la tâche de configuration a été menée par (Najman & Stein, 1992). Selon ces auteurs, la tâche de configuration consiste en trois éléments, un ensemble de composants, un ensemble de fonctionnalités qui décrivent les propriétés de ces composants et un ensemble de spécifications qui décrivent les propriétés de tout le système. Alors, selon cette définition, tous les composants du produit sont décrits par leurs fonctionnalités. Par conséquent, pour construire le produit, nous sélectionnons les composants et nous composons leurs fonctionnalités afin de spécifier la fonctionnalité totale de produit entier.

Tiihonen, et al. (Tiihonen, et al., 1996) présentent une structure spécifiée de la tâche de configuration selon les étapes suivantes :

- 1) choisir les objets ;
- 2) déterminer les interconnexions entre les objets ;
- 3) déterminer le prix total du produit ;
- 4) déterminer le délai pour livrer le produit ;
- 5) préparer une offre ;
- 6) préparer des spécifications techniques ;

- 7) vérifier la configuration de produit ;
- 8) vérifier la cohérence de configuration.

Nous trouvons comment la définition de Tiihonen réduit la configuration dans un processus orienté vente.

Vu que ces approches ci-dessus traitent l'issue de configuration seulement dans le domaine structurel, et que le processus de conception se développe dans les domaines de spécifications, fonctionnel et de processus, Deciu, et al., (Deciu, et al., 2007) propose le concept de la tâche de configuration qui consiste en les étapes suivantes :

- 1) définition d'un ensemble de spécifications du produit désiré ;
- 2) définition du réseau de fonctions de produit ;
- 3) choisir des solutions personnalisées pour répondre aux demandes des clients ;
- 4) application des contraintes métiers sur l'ensemble des solutions ;
- 5) détermination d'un ensemble consensuel de solutions ;
- 6) arrangement des connexions des composants de produit dans plusieurs configurations ;
- 7) évaluation des configurations générées.

En effet, cette définition satisfait la définition du problème de configuration comme un problème à la fois client-orienté et métiers-orientés.

### **2.3. Configuration : Les structures fonctionnelles et physiques**

Les fonctions du produit se décomposent au cours du processus de conception. Cette décomposition entraîne une hiérarchie (Figure 2.1-a). Cette hiérarchie représente une logique de la conception. Elle montre comment les fonctions sont décomposées, quel scénario de décomposition a été sélectionné, quelles fonctions sont introduites à chaque niveau, et à quel stade la décomposition d'une fonction se termine. Les fonctions terminales sont réalisées directement par des paramètres physiques indépendants. Les fonctions au sein de la hiérarchie sont également liées les unes aux autres par des interactions fonctionnelles, qui dépendent des relations logiques et physiques en termes de flux d'énergies, des matériaux et des signaux (Pahl & Beitz, 1988). Ces relations peuvent être représentées par un graphe (Figure 2.1-b). La structure fonctionnelle

(Figure 2.1-c) représente à la fois la décomposition fonctionnelle (Figure 2.1-a) et les interactions fonctionnelles (Figure 2.1-b), (Hashemian, 2005).

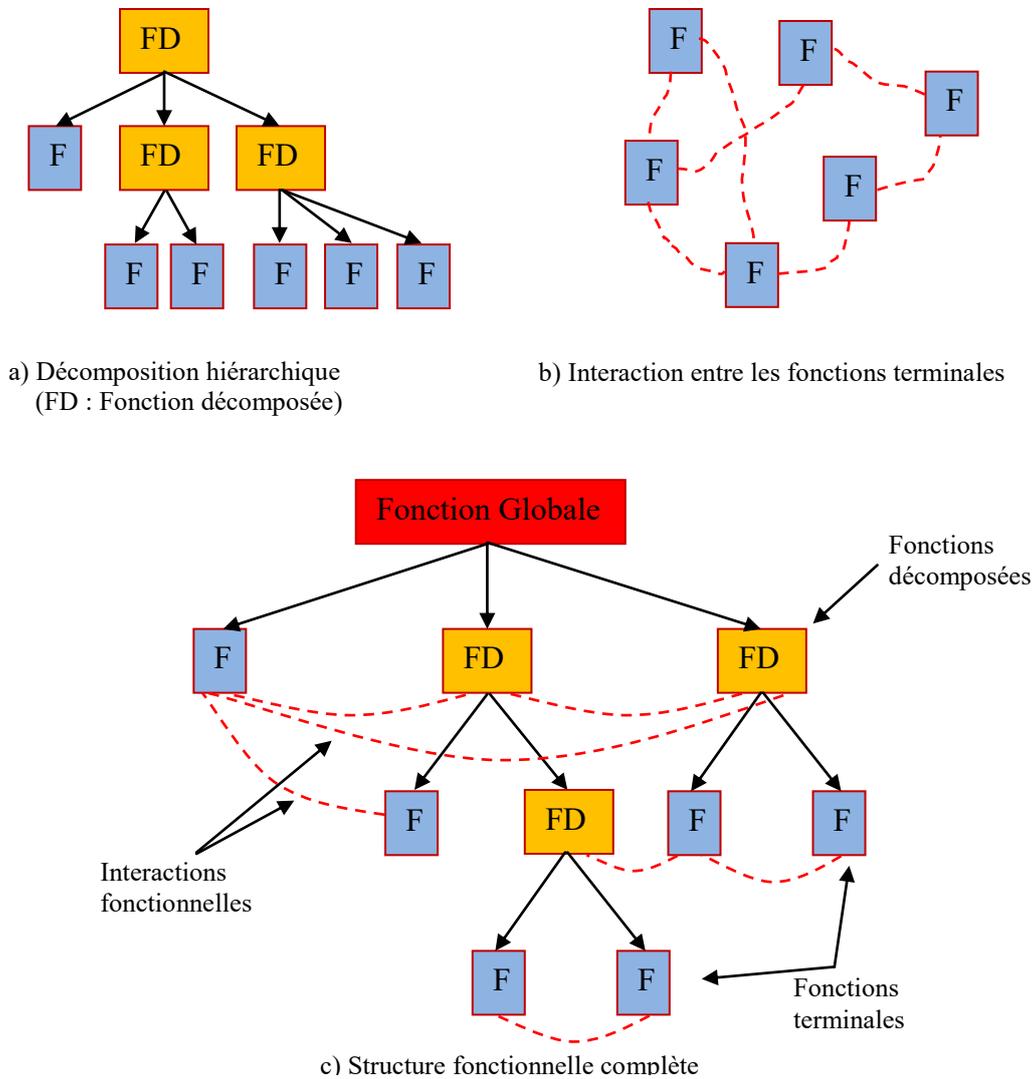


Figure 2.1. La structure fonctionnelle, (Hashemian, 2005)

La structure physique se réfère à la hiérarchie des ensembles physiques, des sous-ensembles et des composants. La structure physique comprend la présentation générale des ensembles et des composants, ainsi que diverses relations qui existent entre ces composants. Similairement à la structure fonctionnelle, ces relations peuvent être représentées par un graphe.

Par conséquent, la configuration d'un produit doit être le résultat des décisions prises au cours des étapes conceptuelles et détaillées de la conception. Autrement dit, la hiérarchie des ensembles et leur agencement sont généralement conçus de manière à

assurer le bon fonctionnement du produit. L'origine de cette pratique peut être vue dans les méthodologies de conception qui traitent la conception de produits pour la configuration comme une activité de conception explicite.

De plus, la conception modulaire, comme une forme de la conception pour la configuration, décompose le produit en sous-ensembles d'une part, et définit leur disposition avec l'objectif de satisfaire différentes phases de cycle de vie du produit (Gu, et al., 1997) d'autre part. Ainsi, les objectifs de la conception pour la configuration du produit sont particulièrement pertinents par rapport aux fonctions du produit, aux critères ergonomiques, ou d'autres critères du cycle de vie de produit tels que la fabrication, la maintenabilité et le recyclage (Gu, et al., 2004).

## **2.4. L'architecture de la conception pour la configuration**

La configuration commence par les spécifications dans le domaine des spécifications. La personnalisation des spécifications se manifeste par le choix du client. Pour chaque spécification, la valeur perçue par le client indique le degré de satisfaction du client dans le domaine de spécifications. Simultanément, une contrainte se manifeste par son choix dans le domaine de processus. Pour chaque contrainte, la valeur perçue par l'expert indique le degré de satisfaction de l'expert dans le domaine des processus. Par conséquent, pour satisfaire les spécifications du client et les contraintes de processus, des relations de correspondance entre les spécifications et les solutions d'une part, et entre les solutions et les contraintes de processus d'autre part, doivent être établies. Elles produisent un ensemble de solutions consensuelles dans les *domaines des spécifications, des fonctions et des processus*.

Ensuite, cet ensemble de solutions consensuelles peut être distribué en modules pour former les configurations (Ostrosi & Tié Bi, 2010). Les configurations optimales peuvent être générées en utilisant des limites d'acceptabilité pour les valeurs de la fonction objective. Les limites d'acceptabilité, établies formellement ou définies par l'expérience, sont familières aux ingénieurs dans l'industrie. Cela permet de trouver un ensemble optimal de configurations possibles. Des désaccords peuvent émerger parmi les experts concernant les configurations optimales générées (Fougères & Ostrosi, 2013). Par exemple, des interdépendances inattendues peuvent être trouvées lorsque des

solutions générées par différents concepteur sont distribuées dans les configurations générées. Ces situations conduisent à des conflits ou à des dilemmes lors de la configuration de produit. Discerner le noyau d'un consensus peut créer un terrain commun pour converger vers une configuration acceptable (Ostrosi, et al., 2012b). Suivant nos hypothèses de travail, la Figure 2.2 représente notre proposition pour l'architecture de la conception pour la configuration, dont son rôle aujourd'hui semble converger vers celles des services distribués dans un environnement dynamique et incertain (Issa et al. 2015). Cette architecture représente la configuration du produit comme une activité distribuée menée par les clients, les experts les concepteurs et les co-concepteurs.

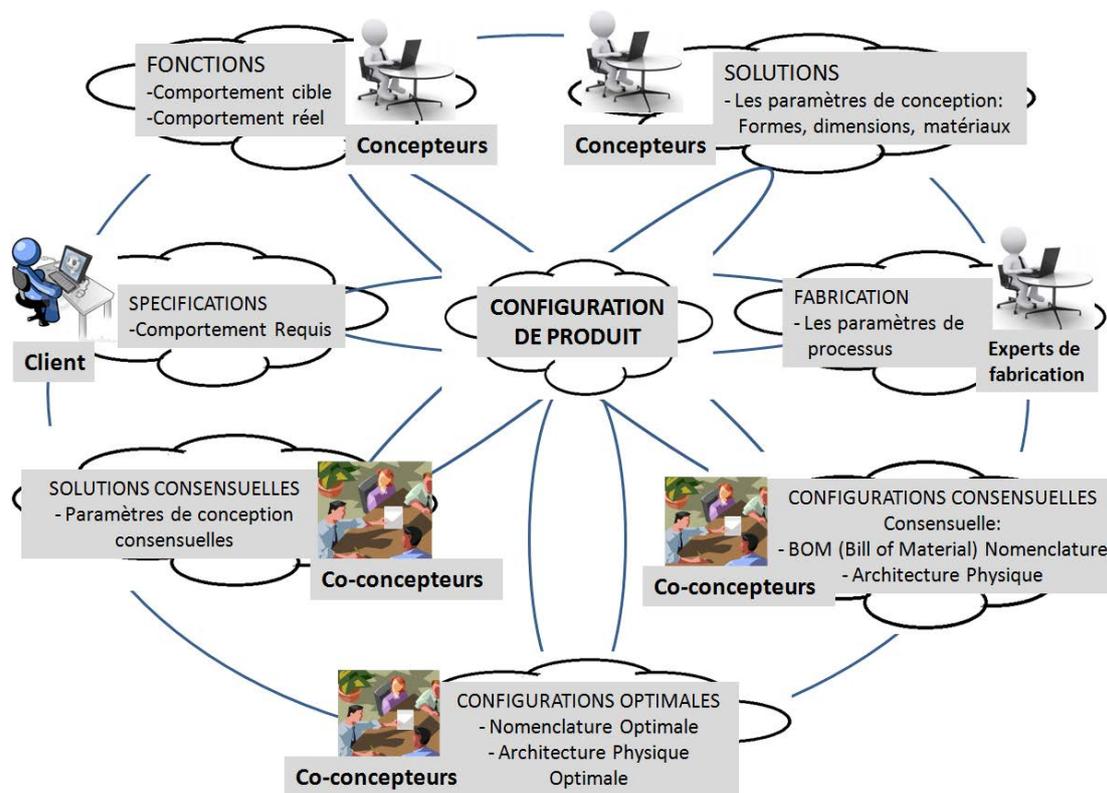


Figure 2.2. Architecture de la conception pour la configuration

## 2.5. Les modèles flous de configuration

La modélisation floue de configuration de produit consiste en quatre phases principales :

- 1) La modélisation de relations floues dans la configuration du produit ;

- 2) La modélisation des solutions consensuelles floues ;
- 3) La modélisation des configurations optimales floues ;
- 4) La modélisation des configurations consensuelles floues.

### 2.5.1. La modélisation de relations floues dans la configuration du produit

Différents modèles, nécessaires pour la configuration d'un produit, peuvent être développés *intra domaines* et *inter domaines*. Les domaines considérés sont ceux des *spécifications*, des *fonctions*, des *solutions* et des *processus de réalisation de produit*. Ces modèles peuvent être formalisés à l'aide des relations floues. En satisfaisant les hypothèses 1 et 2, le problème se définit comme suit (Deciu, et al., 2005) :

**Soit :**

*Quatre domaines hétérogènes et distribués : (a) des spécifications, (b) des fonctions, (c) des solutions et (d) des contraintes de processus d'une part, et d'autre part leurs données comprenant :*

- *l'ensemble universel des spécifications  $R = \{r_i\}$  ,  $i \in I_R$ , C'est l'ensemble des spécifications de clients.*
- *l'ensemble universel des fonctions  $F = \{f_i\}$  ,  $i \in I_F$ ,  $I_F = \{1,2,\dots,m\}$ . C'est l'ensemble des fonctions du produit et elles sont conçues pour satisfaire les spécifications des clients.*
- *l'ensemble universel des solutions  $S = \{s_i\}$  ,  $i \in I_S$ ,  $I_S = \{1,2,\dots,q\}$ . Une solution dans cet ensemble est un objet physique conçu.*
- *l'ensemble universel des contraintes  $C(v_t) = \{c_{1t}, c_{2t}, \dots, c_{1t}, \dots, c_{r_t,t}\}$  pour la vue de processus  $v_t$ ,  $c_{lt}$  est la contrainte numéro  $l$  , pour la vue  $t$ , et  $r_t$  est le nombre de contraintes pour la vue  $t$ . Une contrainte est une restriction ou une spécification d'une vue sur toute solution.*

**Construire :**

*Les relations floues suivantes :*

- La relation floue entre les spécifications et les fonctions  $\tilde{\mathfrak{R}}_1 = (R, F)$ . Sa fonction d'appartenance  $\mu_{\tilde{\mathfrak{R}}_1}(r, f)$  indique dans quelle mesure une spécification peut être accomplie par l'ensemble universel de fonctions.
- Le réseau fonctionnel flou  $\tilde{\mathfrak{R}}_2 = (F, F)$ . Sa fonction d'appartenance  $\mu_{\tilde{\mathfrak{R}}_2}(r, f)$  indique les degrés d'interaction entre les fonctions.
- La relation floue entre les fonctions et les solutions  $\tilde{\mathfrak{R}}_3 = (F, S)$ . Sa fonction d'appartenance  $\mu_{\tilde{\mathfrak{R}}_3}(f, s)$  indique dans quelle mesure une fonction peut être remplie par l'ensemble universel de solutions.
- La relation floue entre les contraintes et les solutions  $\tilde{\mathfrak{R}}_4 = (C(v_t), S)$ . Sa fonction d'appartenance  $\mu_{\tilde{\mathfrak{R}}_4}(c, s)$  indique dans quelle mesure une solution satisfait à l'ensemble universel de contraintes  $C(v_t)$  pour la vue de processus  $v_t$ .
- La relation floue de l'ensemble universel des solutions  $\tilde{\mathfrak{R}}_5 = (S, S)$ . Sa fonction d'appartenance  $\mu_{\tilde{\mathfrak{R}}_5}(s, s)$  indique les degrés d'affinité entre les solutions.

### 2.5.2. La modélisation des solutions consensuelles floues

La recherche des solutions consensuelles présuppose la modélisation des relations entre les différents modèles au cours des interactions dans la conception pour la configuration. Dans cette optique, un concepteur, en utilisant les relations floues de modélisation de la phase précédente, personnalise le produit en s'appuyant sur : (a) la valeur perçue du client pour chaque spécification et (b) les contraintes du domaine de processus spécifiques tels que la fabrication, l'assemblage, la maintenabilité, et ainsi de suite. Les spécifications du client et les contraintes spécifiques du domaine de processus sont formalisées à l'aide de la logique floue. Le résultat est un ensemble flou de solutions physiques alternatives, appelées *solutions consensuelles floues*, qui répondent à la fois aux exigences du client et aux contraintes spécifiques de domaine de processus (Deciu, et al., 2005). Le problème se formalise alors comme suit :

**Soit :**

- l'ensemble flou de spécifications perçues de client  $\tilde{R} = \{(r_i, \mu_{\tilde{R}}(r_i))\}$  sur  $R$ .
- l'ensemble flou de contraintes perçues pour la vue de processus  $v_t$ ,  $\tilde{C}(v_t) = \{(c_{lt}, \mu_{\tilde{C}(v_t)}(c_{lt}))\}$  sur  $C(v_t)$ .
- les relations floues dans la conception  $\tilde{\mathfrak{R}}_1 = (R, F)$ ,  $\tilde{\mathfrak{R}}_2 = (F, F)$ ,  $\tilde{\mathfrak{R}}_3 = (F, S)$ ,  $\tilde{\mathfrak{R}}_4 = (C(v_t), S)$ .

**Trouver :**

- la relation floue consensuelle entre les fonctions et les solutions  $\tilde{\mathfrak{R}}_3^C = (\tilde{\mathfrak{R}}_2, \tilde{\mathfrak{R}}_3)$  avec la fonction d'appartenance :

$$\mu_{\tilde{\mathfrak{R}}_3^C}(f, s) = \mu_{\tilde{\mathfrak{R}}_2 \circ \tilde{\mathfrak{R}}_3}(f, s) = \max_f \min [\mu(f, f), \mu(f, s)], \forall f \in F, \forall s \in S$$

- l'ensemble flou de fonctions  $\tilde{F} = \{(f_i, \mu_{\tilde{F}}(f_i))\}$  sur  $F$  avec la fonction d'appartenance :

$$\mu_{\tilde{F}}(f) = \mu_{\tilde{R} \circ \tilde{\mathfrak{R}}_1}(f) = \max_r \min [\mu_{\tilde{R}}(r), \mu_{\tilde{\mathfrak{R}}_1}(r, f)], \forall r \in R, \forall f \in F$$

- l'ensemble flou de solutions  $\tilde{S}_{customer} = \{(s_i, \mu_{\tilde{S}_{customer}}(s_i))\}$  sur  $S$  satisfaisant les spécifications perçues de clients, avec la fonction d'appartenance :

$$\mu_{\tilde{S}_{customer}}(s) = \mu_{\tilde{F} \circ \tilde{\mathfrak{R}}_3^C}(s) = \max_f \min [\mu_{\tilde{F}}(f), \mu_{\tilde{\mathfrak{R}}_3^C}(f, s)], \forall f \in F, \forall s \in S$$

- l'ensemble flou de solutions  $\tilde{S}_{constraints}(v_t) = \{(s_i, \mu_{\tilde{S}_{constraints}(v_t)}}(s_i))\}$  sur  $S$  satisfaisant les contraintes perçues pour la vue de processus  $v_t$ , avec la fonction d'appartenance :

$$\mu_{\tilde{S}_{constraints}(v_t)}(s) = \mu_{\tilde{C}(v_t) \circ \tilde{\mathfrak{R}}_4}(s) = \max_c \min [\mu_{\tilde{C}(v_t)}(c), \mu_{\tilde{\mathfrak{R}}_4}(c, s)],$$

$$\forall c \in C(v_t), \forall s \in S$$

- l'ensemble flou de solutions  $\tilde{S}_{constraints} = \left\{ \left( s_i, \mu_{\tilde{S}_{constraints}}(s_i) \right) \right\}$  sur  $S$  satisfaisant toutes les contraintes floues  $\tilde{C}(v_t)$ ,  $t \in T$  avec la fonction d'appartenance :

$$\mu_{\tilde{S}_{constraints}}(s) = \min \left[ \mu_{\tilde{S}_{constraint}(v_1)}(s), \dots, \mu_{\tilde{S}_{constraint}(v_t)}(s), \dots, \mu_{\tilde{S}_{constraint}(v_u)}(s) \right], \forall s \in S$$

- l'ensemble flou de solutions consensuelles  $\tilde{S} = \left\{ \left( s_i, \mu_{\tilde{S}}(s_i) \right) \right\}$  avec la fonction d'appartenance :

$$\mu_{\tilde{S}}(s) = \min \left[ \mu_{\tilde{S}_{customer}}(s), \mu_{\tilde{S}_{constraint}}(s) \right], \forall s \in S$$

### 2.5.3. La modélisation des configurations optimales floues

La configuration de produit est l'arrangement, la forme et la distribution des solutions dans des modules, afin de satisfaire les fonctions de ce produit et les contraintes de différents points de vue. Dans cette optique, les configurations optimales sont recherchées par les affinités de solutions ainsi que de leur capacité à satisfaire à la fois les exigences particulières des clients et les contraintes des domaines spécifiques (Ostrosi, et al., 2012a). Par conséquent, la modélisation des configurations optimales utilise la relation entre : (a) la relation dans l'ensemble universel de solutions et (b) l'ensemble flou des solutions consensuelles généré à partir de la phase précédente. Le résultat est un ensemble flou de configurations optimales. Un ensemble flou la configuration optimale se caractérise par une fonction d'appartenance qui indique dans quelle mesure une solution, satisfaisant à la condition d'affinité ainsi qu'aux exigences des clients et notamment les contraintes de domaines spécifiques, participe à une configuration. Cette modélisation satisfait l'hypothèse 3. La formulation mathématique de la configuration optimale est illustrée comme suit (Ostrosi, et al., 2012a) :

**Soit :**

- l'ensemble universel de solutions  $S = \{s_i\}$  et sa décomposition vers des sous-ensembles  $S = \{S_1, S_2, \dots, S_k \dots S_K\}$

*Les objets dans un sous-ensemble sont des variantes d'une solution.*

- la relation floue de l'ensemble universel des solutions  $\tilde{\mathfrak{R}}_5 = (S, S)$
- l'ensemble flou de solutions consensuelles  $\tilde{S} = \{(s_i, \mu_{\tilde{S}}(s_i))\}$
- nombre de modules  $p$

**Trouver :**

Les variables de décision  $x_{ij}$  :  $x_{ij} = 1$  si la solution floue consensuelle  $i$  est allouée au module  $j$  ;  $x_{ij} = 0$ , autrement.

Maximisant :

L'affinité et la capacité des solutions floues consensuelles pour satisfaire les spécifications et les contraintes de processus:

$$\frac{\sum_{i=1}^q \sum_{j=1}^q \mu'_{\tilde{S}}(s_{ij}) x_{ij}}{\sum_{i=1}^q \sum_{j=1}^q x_{ij}}$$

$$\text{où } \tilde{\mu}'_{\tilde{S}}(s_{ij}) = \min \{ \mu_{\tilde{S}}(s_{ij}), \mu_{\tilde{S}}(s_i), \mu_{\tilde{S}}(s_j) \}$$

Sous les contraintes :

$$- \sum_{i \in I_k} \sum_{j=1}^q x_{ij} = 1 \quad (1)$$

$$- \sum_{j=1}^q x_{jj} = p \text{ pour } \forall j \quad (2)$$

$$- x_{ij} \leq x_{jj} \text{ pour } \forall i, j \quad (3)$$

$$- x_{ij} = 0, 1 \text{ pour } \forall i, j \quad (4)$$

La contrainte (1) indique que chaque solution floue  $i$  de sous-ensemble  $S_k$  est affectée à un module  $j$ . La contrainte (2) indique que le nombre de modules  $j$  est  $p$ . La contrainte (3) indique que chaque solution floue  $i$  affectée ne peut l'être que si le module  $j$  existe et est ouvert. La contrainte (4) est la contrainte

*d'intégrité. Elle indique que les variables de localisation  $x_{jj}$  et les variables d'allocation  $x_{ij}$  sont binaires.*

#### **2.5.4. La modélisation des configurations consensuelles floues**

La partie ou le fragment d'une configuration qui reçoit le degré maximal de consensus est appelé ici un noyau consensuel. Discerner le noyau consensuel peut aider les concepteurs à créer un terrain d'entente nécessaire pour converger vers la configuration finale. La formulation du problème de bloc sériation (Marcotorchino, 1987) est adoptée pour la recherche du consensus (Ostrosi, et al., 2012b). La simplicité conceptuelle de la définition formelle du bloc de sériation comme un problème d'optimisation, ainsi que la possibilité de démontrer son extension de l'ensemble binaire à l'ensemble flou, sont des avantages de sa formulation mathématique. La formulation mathématique de la recherche du consensus est présentée comme suit (Ostrosi, et al., 2012b), (Fougères & Ostrosi, 2013) :

**Soit :**

- *l'ensemble universel de configuration  $G = \{g_j\} \quad j \in J_G, \quad J_G = \{1,2,\dots,u\}$ . La configuration est la disposition, la forme et la distribution des solutions dans un produit.*
- *la relation floue entre les solutions et les configurations  $\tilde{\mathfrak{R}}_6 = (S, G)$  représentée par la matrice floue  $B = [b_{ij}]$  Sa fonction d'appartenance  $\mu_{\tilde{\mathfrak{R}}_4}(s, g)$  indique dans quelle mesure une solution floue consensuelle  $i$  participe à une configuration  $j$ .*

**Trouver :**

*Les variables de décision  $z_{ij} : z_{ij} = 1$ , si la solution floue consensuelle  $i$  est idéalement attribué à la configuration  $j$  ;  $z_{ij} = 0$  , autrement.*

*Maximisant :*

Le coefficient de conception de consensus global :

$$k = \alpha k_1 + (1 - \alpha) k_2 \text{ où } k_1 = \frac{\sum_i \sum_j b_{ij} z_{ij}}{\sum_i \sum_j z_{ij}} \text{ et } k_2 = \frac{\sum_i \sum_j (1 - b_{ij})(1 - z_{ij})}{\sum_i \sum_j (1 - z_{ij})}$$

$k_1$  est le coefficient de conception intra-consensus et  $k_2$  est le coefficient de conception inter-consensus,

Sous les contraintes :

$$z_{ij} + z_{ij'} + z_{i'j} - z_{i'j'} - 1 \leq 1 \quad \forall (i, i'), (j, j'); i, i' \in I_S, j, j' \in J_G \quad (1)$$

$$z_{i'j'} + z_{i'j} + z_{ij} - z_{ij'} - 1 \leq 1 \quad \forall (i, i'), (j, j'); i, i' \in I_S, j, j' \in J_G \quad (2)$$

$$z_{i'j} + z_{ij} + z_{ij'} - z_{i'j'} - 1 \leq 1 \quad \forall (i, i'), (j, j'); i, i' \in I_S, j, j' \in J_G \quad (3)$$

$$z_{ij'} + z_{i'j'} + z_{i'j} - z_{ij} - 1 \leq 1 \quad \forall (i, i'), (j, j'); i, i' \in I_S, j, j' \in J_G \quad (4)$$

$$- \sum_{j=1}^q z_{ij} \geq 1 \quad \forall i \in I_S \quad (5)$$

$$- \sum_{i=1}^m z_{ij} \geq 1, \quad \forall j \in J_G \quad (6)$$

$$- z_{ij} \in \{0, 1\} \quad (7)$$

Les contraintes (1)-(4) montrent la transitivité étendue de la matrice de variables de décision  $[z_{ij}]$ . La contrainte (5) indique que chaque solution floue  $i$  est classée. La contrainte (6) indique que chaque configuration  $j$  est classée. La contrainte (7) montre que les variables  $z_{ij}$  doivent être binaires. Le coefficient  $\alpha \in [0, 1]$  permet d'équilibrer l'influence des coefficients  $k_1$  et  $k_2$  dans l'optimisation du coefficient de conception de consensus global.

## 2.6. Discussion

La synthèse de l'analyse précédente de la conception pour la configuration nous indique que le processus de conception pour la configuration a plusieurs aspects importants :

- les caractères flous des données dans la conception de produits.
- les multi-vues des produits configurables.
- les étapes de la tâche de configuration qui sont effectuées au long de processus de conception pour la configuration.
- l'aspect génératif du processus de conception pour la configuration (processus de génération de plusieurs configurations possibles de produit).
- la connexion des structures de produits configurables.

Nous avons proposé d'appréhender et de modéliser la conception pour la configuration comme un problème de recherche de consensus entre différents métiers distribués. Nous avons proposé d'appréhender et de modéliser la conception pour la configuration en intégrant les aspects d'optimisation des configurations d'une part, et de la recherche des noyaux des configurations à la fois optimales et consensuelles, d'autre part. La recherche des noyaux de configuration doit permettre de *(a) capitaliser les parties commune des configurations optimales, (b) expliciter leur caractéristiques et (c) utiliser des structures similaires comme des attracteurs.*

L'adoption des quatre niveaux de modélisation permettra de développer, dans le quatrième chapitre, une approche holistique s'appuyant sur la notion de l'holon. Les holons peuvent aider à appréhender le phénomène continu-discontinu dans la conception pour la configuration (Issa, et al., 2015). De plus, pour maîtriser la configuration dans l'espace fonctionnel, dans le troisième chapitre, nous proposons le développement des grammaires génératives floues pour la modélisation fonctionnelle des produits.

## **2.7. Conclusion**

La conception pour la configuration a suscité un intérêt croissant de l'industrie pendant ces dernières années. Le problème de configuration peut être défini formellement comme un problème d'optimisation et d'arrangement d'un groupe d'objets dans une structure de produit en respectant un ensemble donné de contraintes. En effet, la modélisation pour la configuration du produit doit avoir la possibilité de répondre à des exigences imprécises provenant des clients et à des formes d'incertitude.

Nous pensons que la tâche de configurations doit considérer la problématique de la distribution des activités de conception dans un environnement dynamique et incertain. Par ailleurs, pour éviter le désaccord parmi les experts concernant la configuration générée, un noyau d'un consensus peut être trouvé pour créer un terrain commun pour converger vers des configurations acceptables. Cette hypothèse permet de rechercher la typologie des attracteurs que nous utilisons dans le chapitre 4.

Quatre phases de la modélisation pour la configuration ont été distinguées :

- 1) La modélisation de relations floues dans la configuration du produit. Cette phase permet d'établir les relations floues dans la configuration du produit. C'est la vue locale de la configuration.
- 2) La modélisation des solutions consensuelles floues. Dans cette phase, un concepteur, en utilisant les relations floues de la phase précédente, personnalise le produit s'appuyant sur la valeur perçue du client pour chaque spécification et les contraintes du domaine de processus spécifiques impliqués dans sa réalisation.
- 3) La modélisation des configurations optimales floues. Dans cette phase, les configurations optimales sont recherchées par rapport aux affinités entre les solutions d'une part, et leur capacité à satisfaire à la fois les exigences particulières des clients et les contraintes des domaines spécifiques, d'autre part.
- 4) La modélisation des configurations consensuelles floues. Dans cette phase, l'approche proposée considère la recherche des noyaux consensuels comme le chevauchement des configurations floues optimales.

**CHAPITRE 3**

**MODELISATION FONCTIONNELLE FLOUE**

**BASEE SUR LES GRAMMAIRES**



# CHAPITRE 3 : MODELISATION FONCTIONNELLE

## FLOUE BASEE SUR LES GRAMMAIRES

### 3.1. Introduction

La modélisation des configurations est essentielle à la fois dans l'espace fonctionnel et l'espace physique de la conception. La mise en relation des quatre domaines de conceptions : *spécification*, *fonction*, *solution* et *processus* permet de voir la conception comme un phénomène discontinu dans un fond continu. En effet, nous avons supposé que ces domaines sont stables. Cependant, il n'existe pas de représentation formelle adaptée pour soutenir la modélisation fonctionnelle des produits dans les systèmes de CAO.

Les décompositions et les grammaires peuvent être considérées comme des outils puissants formels pour décrire les produits et les familles de produits. Les grammaires peuvent opérer sur des ensembles de fonctions, ainsi que sur des ensembles de composants. La recherche des grammaires dans le domaine des fonctions présuppose la compétence du concepteur à exprimer la fonction comme une structure (Issa, et al., 2013a). La même présupposition est établie dans le domaine des solutions.

Alors les hypothèses de travail sont les suivantes :

1. **Hypothèse de dérivation** : chaque produit et chaque famille de produit se définissent comme un système structuré, possédant un mécanisme interne pour la dérivation de la variété des produits à la fois dans l'espace fonctionnel et l'espace physique.
2. **Hypothèse de flou** : l'incertitude est intrinsèque au processus de décomposition.

Ce chapitre est structuré comme suit. Dans la deuxième section, la problématique des décompositions et des grammaires sont présentées. La troisième section présente le formalisme des grammaires. Dans la quatrième section, nous proposons les grammaires fonctionnelles : (a) *la grammaire de configuration fonctionnelle flux-opération*, (b) *la grammaire de configuration fonctionnelle flux-opération à tête fonctionnelle* et (c)

*grammaire de configuration fonctionnelle multi-niveaux*. Les conclusions de cette étude sont finalement présentées.

### **3.2. Décompositions et Grammaires**

Les décompositions et les grammaires sont des concepts mathématiques puissants pour structurer les produits. Les grammaires peuvent opérer sur des ensembles de fonctions, ainsi que sur des ensembles de composants. Les grammaires opérant sur l'ensemble des fonctions sont appelées grammaires fonctionnelles, et celles qui opèrent sur l'ensemble des composants sont appelées grammaires structurelles. Les deux grammaires de configuration peuvent être établies simultanément pour modéliser le produit. L'évolution du modèle du produit, de la structure fonctionnelle à la structure physique, est faite en utilisant l'équation de conception (Suh, 2001).

Dans la conception du produit, les décompositions sont utilisées pour décrire les composants de produits. Il existe différentes façons de définir une décomposition du produit. Les décompositions dépendent principalement du type d'informations qui doit être mis en évidence (Krstic, 2004). En effet, les ingénieurs utilisent les décompositions pour décrire le produit qu'ils conçoivent. Les descriptions doivent souligner certaines propriétés des formes. Décrire un produit conduit à le structurer en termes de ses composants. Ces composants peuvent à nouveau être décomposés conduisant à de nouveaux ensembles de composants. Du point de vue technique, les relations «*système-module-composants-feature*» sont des décompositions. Étant donné que ces décompositions sont récursives, tout niveau approprié de granularité de la représentation peut être introduit. L'objectif de la décomposition fonctionnelle est la détermination de sous-fonctions qui facilitent la recherche des solutions. Cependant, théoriquement, le niveau de décompositions reste un problème ouvert.

Selon (Stiny, 1980), les décompositions peuvent être définies comme un ensemble de formes. Certaines propriétés sont mises en évidence pour représenter le produit. Par exemple, si les propriétés fonctionnelles sont choisies, alors un produit est décomposé en composants fonctionnels. Puis, quand des connexions entre des composants fonctionnels sont spécifiées, nous, en effet, déterminons et organisons ses composants ; autrement dit, *nous configurons le produit*.

Les décompositions jouent un rôle important dans la créativité. Les phases créatives du processus de conception peuvent être caractérisées par le passage entre des composants *non-décomposés* et ceux qui sont *décomposés* (Stiny & Gips, 1972); (Stiny, 1997). Dans la conception, les décompositions peuvent être utilisées pour concevoir et configurer un nouveau produit. La configuration d'un produit signifie : (a) déterminer les composants fonctionnels et (b) organiser les positions relatives des composants fonctionnels (Dixon & Poli, 1995), (Tiihonen, et al., 1996), (Sabin & Weigel, 1998), (Brown, 1998), (Snively & Papalambros, 1993), (Männistö, et al., 2001), (Siddique & Rosen, 2001). Cette modélisation doit également être capable de représenter les structures fonctionnelle et physique de produits. En outre, la modélisation doit traiter le problème de la production et de la dérivation des différents produits, et ainsi effectuer la variété des produits nouveaux et innovants (Ostrosi & Ferney, 2005).

Pendant le processus de conception, le concepteur structure alors le produit en décompositions. Dans ce processus, le concepteur traite de certaines formes distinctes d'incertitude (Deciu, et al., 2005). L'approche des ensembles flous est particulièrement adaptée pour la manipulation de l'information incertaine en fournissant un ensemble de solutions avec différents degrés de préférence (Zadeh, 1965), (Bellman & Zadeh, 1970), (Antonsson & Otto, 1995), (Kaufmann & Gupta, 1988), (Bahrami & Dagli, 1993), (Zimmermann, 1996).

Les grammaires ont été établies comme des formalisations de pratique de la conception. Comme nous l'avons présenté dans l'état de l'art, les grammaires peuvent être considérées comme des outils puissants formels pour représenter la relation structurelle forte à l'intérieur des produits configurables (Schmidt & Cagan, 1996) ; (Schmidt & Cagan, 1998) ; (Siddique & Rosen, 1999) ; (Du, et al., 2002) ; (Shea, et al., 2010); (Ostrosi, et al., 2004) ; (Schmidt, et al., 2005) ; (Deciu, et al., 2007). Les systèmes de conception basés sur la grammaire ont la possibilité d'automatiser le processus de conception et de permettre une meilleure exploration des alternatives de conception (Mullins & Rinderle, 1991) ; (Rinderle, 1991) ; (Chase, 2002).

### 3.3. Formalisme des grammaires

Un *langage formel* est un ensemble de chaînes (*strings*, en anglais). Un langage peut avoir un nombre infini de chaînes. Une *chaîne* (*string*) est une suite finie de symboles appartenant à un alphabet. Un *alphabet* est un ensemble non vide et fini de symboles primitifs, dans le sens que ceux-ci ne peuvent plus être divisés en d'autres (sous) symboles. Un *langage défini sur un alphabet* est un sous-ensemble de l'ensemble comprenant la totalité des chaînes de l'alphabet.

Un *alphabet* ou un *vocabulaire*  $V_T$  est un ensemble fini, non vide des symboles tous distincts. Alors, l'ensemble  $V_T^*$  définit l'ensemble de toutes les chaînes de longueur finie définies sur le vocabulaire  $V_T$ . Le vocabulaire  $V_T^+$  définit l'ensemble de toutes les chaînes de longueur finie et non vides définies sur  $V_T$ . Nous notons  $V_T^+ = V_T^* - \varepsilon$ , où  $\varepsilon$  représente une chaîne vide du vocabulaire.

Dans cette recherche, nous allons utiliser le terme *vocabulaire* au lieu d'alphabet.

Alors, une *grammaire*  $\mathbf{G}$  est définie comme le quadruple  $\mathbf{G} = (V_T, V_N, S, P)$  où :

- $V_T$  représente **le vocabulaire terminal** de la grammaire ;
- $V_N$  représente **le vocabulaire non-terminal** de la grammaire,  $V_T$  et  $V_N$  étant deux vocabulaires finis et  $V_T \cap V_N = \emptyset$ ;
- $S$  est appelé **le symbole de départ**, ou bien l'axiome de la grammaire,  $S \in (V_T \cup V_N)^*$  ;
- $P$  représente **l'ensemble des règles de productions**, appelé aussi **l'ensemble de productions** de la grammaire.  $P$  est un ensemble de paires  $(y,z)$ , noté  $y \rightarrow z$ , où  $y$  est une chaîne dans  $(V_T \cup V_N)^*$  contenant au moins un symbole non-terminal et  $z$  est n'importe quelle chaîne dans  $(V_T \cup V_N)^*$ .

Le premier élément du vocabulaire est appelé côté gauche et le deuxième élément est appelé côté droit de la règle de production. Si plusieurs productions partagent le même côté gauche de la production, celles-ci peuvent être représentées par une règle unique avec de multiples éléments dans le côté droit. Dans ce cas, le côté gauche de la règle de production est représenté comme les productions ordinaires, et le côté droit de la règle

contient tous les éléments des règles séparés par lignes verticales. Par exemple, les règles  $y \rightarrow z$  et  $y \rightarrow w$  peuvent être représentées par une unique production :  $y \rightarrow z \mid w$ .

La définition formelle des grammaires s'applique dans tous les domaines, quels que soient le domaine textuel, mathématique, ou autre. Le choix d'un certain type de règles de production détermine l'expressivité d'une grammaire, ainsi que ses propriétés qui peuvent être déterminées pour elle.

Selon la classification de Chomsky, il existe quatre types des grammaires formelles (Chomsky, 1957), (Kaufmann, 1975) :

- les grammaires de *type 0* dites grammaires « générales » ;
- les grammaires de *type 1* dites grammaires dépendantes de contexte (*context-sensitive*) ;
- les grammaires de *type 2* dites grammaires indépendantes de contexte (*context-free*) ;
- les grammaires de *type 3* dites grammaires « régulières » ou grammaires « normales ».

La première catégorie de grammaires contient les grammaires de *type 0* dans lesquelles toute production appartenant à l'ensemble de productions  $P$  prend la forme  $[\alpha] \rightarrow [\beta]$ , telle que :

$$\forall([\alpha] \rightarrow [\beta]) \in P : \lambda[\beta] \geq \lambda[\alpha], [\alpha], [\beta]$$

où  $\alpha, \beta$  sont des chaînes et  $\lambda$  est la fonction qui définit la longueur des chaînes.

La deuxième catégorie de grammaires contient les grammaires de *type 1* dans lesquelles le côté gauche des toutes les productions doit être composé des chaînes (de symboles) de terminaux et de non-terminaux qui contiennent au moins un symbole non-terminal. L'inférence d'une production a la forme  $[\alpha_1 A \alpha_2] \rightarrow [\alpha_1 \beta \alpha_2]$  et permet de remplacer toute variable  $[A]$  par la variable  $[\beta]$  toutes les fois que  $[A]$  apparaît entre  $[\alpha_1]$  et  $[\alpha_2]$ , où  $A \in V_N$  ;  $\alpha_1, \alpha_2, \beta \in (V_N \cup V_T)^*$  et  $\beta \neq \lambda$  (la chaîne vide)  $\beta \in (V_N \cup V_T)^+$ . Les règles de productions cherchent les éléments non-terminaux qui apparaissent dans un contexte

de longueur finie et remplacent ces non-terminaux avec des chaînes de longueur non nulle.

Dans les grammaires de *type 2*, le côté gauche peut contenir un seul symbole non-terminal. L'inférence d'une production a la forme  $[A] \rightarrow [\beta]$  et permet de remplacer toute variable  $[A]$  par la variable  $[\beta]$ , indépendamment du contexte dans lequel se trouve la variable  $[A]$ . Toute grammaire context-free est context-sensitive.

Dans les grammaires de *type 3*, l'inférence d'une production de la forme  $[A] \rightarrow [\beta]$  permet de remplacer toute variable  $[A]$  par la variable  $[\beta]$ , indépendamment du contexte dans lequel se trouve  $[A]$ .

$$\forall ([\alpha] \rightarrow [\beta]) \in P : [A] \rightarrow [aB] \text{ ou } [A] \rightarrow [a] ; A, B \in V_N, a \in V_T$$

Toute grammaire « régulière » est « context-free ».

### 3.4. Grammaires de configuration fonctionnelle

Dans cette étude, nous proposons la représentation et la modélisation d'une famille de produits dans l'espace fonctionnel à l'aide des grammaires. Nous proposons trois modélisations, et par conséquent nous proposons trois grammaires, à savoir :

- a) la modélisation à base d'une *grammaire de configuration fonctionnelle flux-opération*.
- b) la modélisation à base d'une *grammaire de configuration fonctionnelle flux-opération à tête fonctionnelle*.
- c) la modélisation sur une *grammaire de configuration fonctionnelle multi-niveaux*.

Les décompositions sont utilisées à la fois pour les descriptions des fonctions et pour les descriptions de solution (Issa, et al., 2013a). Les décompositions finies seront examinées dans cette thèse :

**Définition 1** : un ensemble fini non vide de formes est une décomposition.

**Définition 2** : un ensemble 'X' est une décomposition de la forme 'x' chaque fois qu'il est une décomposition, et la somme de ses éléments est 'x'.

**Définition 3** : un ensemble fini non vide de fonctions est une décomposition.

**Définition 4** : un ensemble 'Y' est une décomposition de la fonction 'y' chaque fois qu'il est une décomposition, et la somme de ses éléments est 'y'.

### 3.4.1. Grammaire de configuration fonctionnelle flux-opération

Elle s'appuie sur la puissante propriété de modélisation des structures des familles de produits à l'aide des graphes attribués.

Soient V et W, respectivement le vocabulaire des *nœuds* et le vocabulaire des *arêtes*.

Un *graphe non attribué* ou *u-graphe* est le triplet suivant :  $G = (N, E, \lambda)$  (Bunke, 1982), où :

- 1)  $N$  est l'ensemble fini des nœuds ;
- 2)  $E = (E_w)_{w \in W}$  un doublet des relations  $E_w \subseteq N \times N$  pour chaque  $w \in W$ , et  $E_{w'} \neq E_w$  pour  $w'$  et  $w \in W$  ;
- 3)  $\lambda : N \rightarrow V$  est la fonction d'étiquetage des nœuds.

Les arcs du graphe peuvent être orientés, cas dans lequel le graphe s'appelle *graphe orienté*, soit non-orientés, cas dans lequel le graphe s'appelle *graphe non orienté*. Une paire  $(n, n')$  est interprétée comme un arc orienté, avec l'étiquette  $w$ , du nœud  $n$  au nœud  $n'$ . Soient deux ensembles d'attributs A et B, respectivement l'ensemble des attributs de nœuds et l'ensemble des attributs d'arcs, où un attribut est une fonction qui associe des valeurs d'attributs aux nœuds et aux arcs.

Un graphe attribué contient deux composants :

- une partie syntaxique ou structurelle décrite par  $N, E, \lambda$  (le graphe sous-jacent *u-graphe*) et
- une partie sémantique donnée par les attributs des nœuds et des arêtes.

Alors, un *graphe attribué* ou *a-graphe* est le quintet suivant  $G = (N, E, \lambda, \alpha, \beta)$  (Bunke, 1982) où :

- 1)  $N, E, \lambda$  ont les mêmes définitions que dans la définition précédente ;

- 2)  $\alpha: N \rightarrow 2^A$  est une fonction qui associe un ensemble d'attributs de nœuds à chaque nœud ;
- 3)  $\beta = (\beta_w)_{w \in W}$  est un doublet de fonctions  $\beta_w: E \rightarrow 2^B$  associant un ensemble d'attributs des arcs à chaque arc  $w$ , pour chaque  $w \in W$ .

Un graphe  $g'$ , attribué ou non-attribué (*u-graphe* ou *a-graphe*), est un sous-graphe de  $g$ , c'est-à-dire  $g' \subseteq g$ , si tous les nœuds et tous les arêtes appartenant à  $g'$  appartiennent aussi à  $g$ . En plus, les nœuds et les arêtes correspondants doivent avoir des étiquettes et des attributs identiques. Si  $g' \subseteq g$ , nous notons avec  $g-g'$  le graphe qui reste après l'enlèvement du  $g'$  de  $g$ . Les arêtes entre  $g'$  et  $g-g'$  sont considérés comme l'insertion de  $g'$  en  $g$  et sont notés avec  $EMB(g',g)$ .

Lorsque nous parlons d'un graphe sans préciser s'il est orienté ou non, les arcs entre les nœuds sont appelés *arêtes*.

Selon les suggestions de Fu et al. (Fu, et al., 1993), l'ensemble d'attributs pourrait bien être constitué des relations topologiques. De telles relations sont caractérisées par les contraintes de positionnement et d'orientation entre les features, comme les distances, les angles, les conditions de concentricité, coaxialité, parallélisme etc.

**Définition :** *une grammaire de configuration fonctionnelle flux-opération est définie comme :*

$$GCFFO = \{N, E, A, B, S, P\}$$

où :

- 1)  $N = \{N^T, N^N\}$  représente le vocabulaire des nœuds terminaux et non-terminaux ;
- 2)  $E = \{E^T, E^N\}$  est le vocabulaire des arêtes terminales et non-terminales ;
- 3)  $A$  est l'ensemble des attributs des nœuds ;
- 4)  $B$  est l'ensemble des attributs des arêtes ;
- 5)  $S$  est le symbole de départ ;
- 6)  $P$  est l'ensemble des règles de productions et de transformations de la grammaire de configuration graphe attribut aux nœuds.

Dans la définition, les ensembles  $N^T$  et respectivement  $N^N$  ont les définitions suivantes :

- $N^T$  représente le vocabulaire terminal des nœuds constitué des opérations primitives. C'est un ensemble fini, non vide des fonctions significatives et primitives du produit. Le troisième niveau de la base fonctionnel (Tableau β.3) (Hirtz, et al., 2002) définit l'ensemble des nœuds du vocabulaire terminal.
- $N^N$  représente le vocabulaire non-terminal des nœuds constitué des opérations non-primitives et du symbole de départ  $S$ . C'est un ensemble fini, non vide des fonctions significatives non-primitives. Le premier et le deuxième niveau de la base fonctionnelle (Tableau β.3) définit l'ensemble des nœuds du vocabulaire non-terminal ;

Les ensembles  $E^T$  et  $E^N$  ont les définitions suivantes :

- $E^T$  est le vocabulaire terminal des arrêtes. Un terminal dans  $E^T$ , représente une relation entre les terminaux de  $N^T$ .
- $E^N$  est le vocabulaire non-terminal des arêtes. Un non-terminal dans  $E^N$ , représente une relation entre les non-terminaux de  $N^N$ .

$A$  représente *la sémantique des opérations*. Les opérations de la base fonctionnelle (Tableau β.3) associées à leur signification *l'ensemble des attributs des nœuds*.

$S = \{s_i\}$  représente *les variables des flux* (Tableau β.1 et Tableau β.2).

La modélisation à l'aide des grammaires permet la décomposition d'une fonction en un ensemble des sous-fonctions élémentaires. L'énergie est représentée par les variables de *l'effort*  $e_i$  et le *flux*  $f_i$  (Tableau β.2).

**Tableau 3.1. Bibliothèque de flux de base recommandés**

Class (Primary)	Secondary	Tertiary	Correspondents	
Material	Human		Hand, foot, head	
	Gas		Homogeneous	
	Liquid		Incompressible, compressible, homogeneous	
	Solid	Object	Rigid-body, elastic-body, widget	
		Particulate		
		Composite		
		Plasma		
		Mixture	Gas-gas	
			Liquid-liquid	Aggregate
			Solid-solid	
		Solid-liquid		
		Liquid-gas		
		Solid-gas		
		Solid-liquid-gas		
		Colloidal	Aerosol	
Signal	Status	Auditory	Tone, word	
		Olfactory		
		Tactile	Temperature, pressure, roughness	
		Taste		
		Visual	Position, displacement	
		Control	Analog	Oscillatory
		Discrete	Binary	
Energy	Human			
	Acoustic			
	Biological			
	Chemical			
	Electrical			
	Electromagnetic	Optical		
		Solar		
		Hydraulic		
		Magnetic		
		Mechanical	Rotational	
		Translational		
	Pneumatic			
	Radioactive/Nuclear			
	Thermal			

**Tableau 3.2. List complémentaire pour la classe du flux « energy »**

Class (Primary)	Secondary	Tertiary	Power conjugate complement		
			Effort analogy	Flow analogy	
Energy	Human		Effort	Flow	
			Force	Velocity	
			Pressure	Particle velocity	
			Pressure	Volumetric flow	
			Affinity	Reaction rate	
			Electromotive force	Current	
			Effort	Flow	
			Intensity	Velocity	
			Intensity	Velocity	
			Pressure	Volumetric flow	
	Hydraulic			Magnetomotive force	Magnetic flux rate
				Effort	Flow
				Torque	Angular velocity
	Magnetic			Force	Linear velocity
				Pressure	Mass flow
	Mechanical			Intensity	Decay rate
				Temperature	Heat flow
	Pneumatic				
	Radioactive/Nuclear				
	Thermal				

Les fonctions sont des opérations sur les flux d'énergie, des matières et des signaux (Tableau 3.3) (Hirtz, et al., 2002).

**Tableau 3.3. Bibliothèque des fonctions et des sous-fonctions de base**

<b>Class (Primary)</b>	<b>Secondary</b>	<b>Tertiary</b>	<b>Correspondents</b>	
Branch	Separate		Isolate, sever, disjoin	
		Divide	Detach, isolate, release, sort, split, disconnect, subtract	
		Extract	Refine, filter, purify, percolate, strain, clear	
	Channel	Remove		Cut, drill, lathe, polish, sand
			Distribute	Diffuse, dispel, disperse, dissipate, diverge, scatter
			Import	Form, entrance, allow, input, capture
		Export	Dispose, eject, emit, empty, remove, destroy, eliminate	
		Transfer		Carry, deliver
			Transport	Advance, lift, move
			Transmit	Conduct, convey
Guide	Direct, shift, steer, straighten, switch			
Connect	Couple		Associate, connect	
		Join	Assemble, fasten	
		Link	Attach	
	Control	Mix		Add, blend, coalesce, combine, pack
		Actuate		Enable, initiate, start, turn-on
		Regulate		Control, equalize, limit, maintain
			Increase	
	Magnitude	Change	Decrease	Close, delay, interrupt
				Adjust, modulate, clear, demodulate, invert, normalize, rectify, reset, scale, vary, modify
			Increment	Amplify, enhance, magnify, multiply
Decrement			Attenuate, dampen, reduce	
Shape			Compact, compress, crush, pierce, deform, form	
Stop		Condition	Prepare, adapt, treat	
			End, halt, pause, interrupt, restrain	
		Prevent	Disable, turn-off	
		Inhibit	Shield, insulate, protect, resist	
		Convert		Condense, create, decode, differentiate, digitize, encode, evaporate, generate, integrate, liquefy, process, solidify, transform
Provision	Store		Accumulate	
		Detect	Capture, enclose	
	Collect	Absorb, consume, fill, reserve		
Signal	Supply		Provide, replenish, retrieve	
	Sense		Feel, determine	
		Detect	Discern, perceive, recognize	
	Indicate	Measure	Identify, locate	
			Announce, show, denote, register	
		Track	Mark, time	
	Process	Display	Emit, expose, select	
			Compare, calculate, check	

Class (Primary)	Secondary	Tertiary	Correspondents
Support	Stabilize		Steady
	Secure		Constrain, hold, place, fix
	Position		Align, locate, orient

Alors, la typologie des opérations sur le flux est représentée dans la Figure 3.1.

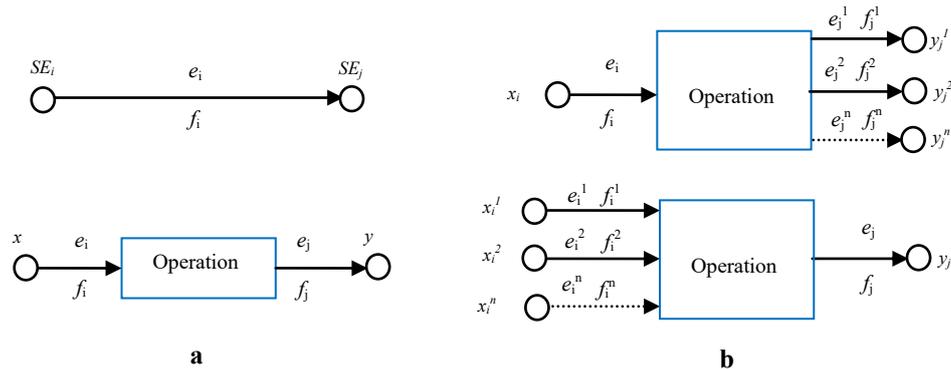


Figure 3.1. Typologie des opérations sur le flux

A partir de cette typologie et la bibliothèque de flux proposée par Hirtz et al. (Hirtz, et al., 2002), nous proposons les règles de la décomposition fonctionnelle (Ces règles sont aussi valides pour les flux de matières et signaux. Tableau 3.4).

Les règles des opérations sur les flux sont les suivantes :

- Règle 1 : un flux peut être remplacé par une opération et deux flux : un flux d'entrée et un flux de sortie.
- Règle 2 : une opération peut être remplacée par une des opérations de premier niveau de bibliothèque proposée par Hirtz.
- Règle 3 : chaque flux peut être décomposé en plusieurs flux.
- Règle 4 : plusieurs flux d'énergie peuvent être composés en un flux d'énergie.
- Règle 5 : chaque opération résultant de la règle 2 doit être remplacée par une des sous-opérations du deuxième niveau de la bibliothèque de Hirtz.
- Règle 6 : chaque opération résultant de la règle 5 doit être remplacée par une des sous-opérations du troisième niveau de la bibliothèque de Hirtz.

Tableau 3.4. Les règles de décomposition fonctionnelle

Règle	Sources	Remplacer	Sortie
R1	R1.1		
	R1.2		
R2			
R3			
R4			
R5	R5.1		
	R5.2		

Règle	Sources	Remplacer	Sortie
R5.3	Connect	→	<p>Couple → Connect</p> <p>Mix → Connect</p> <p>Couple   Mix</p>
R5.4	Provision	→	<p>Store → Provision</p> <p>Supply → Provision</p> <p>Store   Supply</p>
R5.5	Signal	→	<p>Sense → Signal</p> <p>Indicate → Signal</p> <p>Process → Signal</p> <p>Sense   Indicate   Process</p>
R5.6	Control Magnitude	→	<p>Actuate → Control Magnitude</p> <p>Regulate → Control Magnitude</p> <p>Change → Control Magnitude</p> <p>Stop → Control Magnitude</p> <p>Actuate   Regulate   Change   Stop</p>
R5.7	Support	→	<p>Stabilize → Support</p> <p>Secure → Support</p> <p>Position → Support</p> <p>Stabilize   Secure   Position</p>

Règle	Sources	Remplacer	Sortie
R6	R6.1	Transfer	
	R6.2	Guide	
	R6.3	Separate	
	R6.4	Couple	
	R6.5	Store	

Règle	Sources	Remplacer	Sortie
R6.6	Sense	→	
R6.7	Indicate	→	
R6.8	Regulate	→	
R6.9	Change	→	
R6.10	Stop	→	

### 3.4.2. Exemple d'application : Réducteurs montés en parallèle

Le réducteur est un mécanisme destiné à augmenter le couple moteur  $C_M = C_1$  afin d'entraîner en rotation un organe récepteur sous l'effet d'un nouveau couple  $C_2 > C_1$  tel que :

$$C_2 = \eta_{12} \frac{1}{k_{12}} C_1$$

où :

$$- k_{21} = \frac{\omega_2}{\omega_1} ;$$

-  $\eta_{12}$  est le rendement mécanique du réducteur.

La plupart des réducteurs de vitesse sont réversibles. Dans ce cas la fonction d'entrée peut être attribuée à l'arbre 2, la sortie étant affectée à l'arbre 1. Le mécanisme se nomme alors multiplicateur de vitesse. La couple de sortie est  $C_2 > C_1$ .

La réduction de l'encombrement global est une exigence importante des réducteurs. En divisant la puissance entrant  $P_1$  dans le réducteur conduit à la satisfaction de cette exigence. On peut écrire :

$$P_2 = \eta_1 \frac{P_1}{n} + \dots \eta_i \frac{P_1}{n} \dots \eta_n \frac{P_1}{n}$$

- $P_1$  : puissance entrant dans le réducteur
- $P_2$  : puissance sortant du réducteur
- $\eta_i$  : le rendement de chaque division (sous-réducteur)

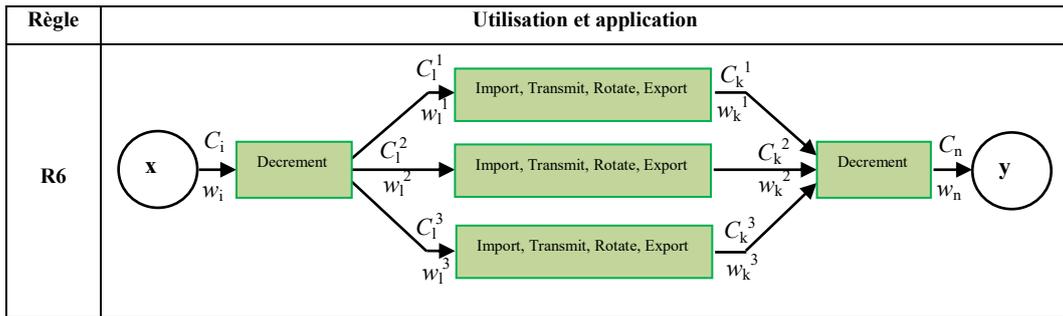
$$P_2 = \eta_{12} P_1$$

$$\text{avec : } \eta_{12} = \frac{1}{n} (\eta_1 + \eta_2 \dots + \eta_i + \dots + \eta_n)$$

Un flux d'énergie est transmis d'une source d'énergie  $x$  (l'entrée) à un récepteur  $y$  (la sortie) (Tableau 3.5). Ce flux d'énergie est représenté par le couple  $C$  et la vitesse  $\omega$ . Dans la première étape, et selon la première règle, ce flux d'énergie est remplacé par une opération et deux flux d'énergie représentés par le couple  $C_i$  et la vitesse  $\omega_i$  comme une entrée, et le couple  $C_j$  et la vitesse  $\omega_j$  comme une sortie. L'opération entre les deux flux d'énergie peut être remplacée par l'opération '*Control Magnitude*' (R2). Selon la règle R3, le flux d'énergie  $j$  peut être décomposé par exemple trois flux d'énergie :  $(C_j^1, \omega_j^1)$ ,  $(C_j^2, \omega_j^2)$ ,  $(C_j^3, \omega_j^3)$ , et à nouveau ces trois flux d'énergie peuvent être recomposés selon la règle R4 donnant une opération '*Control Magnitude*' et un flux d'énergie de sortie  $(C_n, \omega_n)$ . Nous recommençons en appliquant la règle R1 et ensuite la règle R2 sur les trois flux d'énergie décomposés  $(C_j^1, \omega_j^1)$ ,  $(C_j^2, \omega_j^2)$ ,  $(C_j^3, \omega_j^3)$  donnant pour chaque flux d'énergie une opération '*Channel*', un flux d'énergie d'entrée et un flux d'énergie de sortie, soit  $(C_l^1, \omega_l^1)$ ,  $(C_k^1, \omega_k^1)$  pour le premier,  $(C_l^2, \omega_l^2)$ ,  $(C_k^2, \omega_k^2)$  pour le deuxième et  $(C_l^3, \omega_l^3)$ ,  $(C_k^3, \omega_k^3)$  pour le troisième. Ensuite, nous appliquons la règle R5 en remplaçant les opérations de premier niveau de la bibliothèque proposée par Hirtz (Hirtz, et al., 2002), par des opérations de deuxième niveau, soit '*Change*' au lieu de '*Control Magnitude*' et '*Import*', '*Transfer*', '*Guide*' et '*Export*' au lieu de '*Channel*'. La dernière étape est d'appliquer la règle R6 en remplaçant les opérations de deuxième niveau de la bibliothèque proposée par Hirtz, par des opérations de troisième niveau, soit '*Decrement*' au lieu de '*Change*', '*Transmit*' au lieu de '*Transfer*' et '*Rotate*' au lieu de '*Guide*'.

Tableau 3.5. Application des règles de décomposition fonctionnelle de réducteur parallèle

Règle	Utilisation et application
R1	
R2	
R3	
R4	
R1 R2	
R5	



La Figure 3.2 montre un réducteur parallèle répondant à l'architecture fonctionnelle. L'entrée est représentée par l'arbre  $x$ , la sortie est représentée par l'arbre  $y$ . Les engrenages  $S_1, S_2, S_5, S_6, S_7, S_{10}, S_{11}$  et  $S_{14}$  sont utilisés pour transmettre la puissance de l'arbre d'entrée  $x$  à l'arbre de sortie  $y$ . Les trois arbres en parallèles  $S_3, S_8$  et  $S_{12}$  représentent les arbres des sous-réducteurs.  $S_4, S_9$  et  $S_{13}$  représentent le guidage en rotation des arbres.

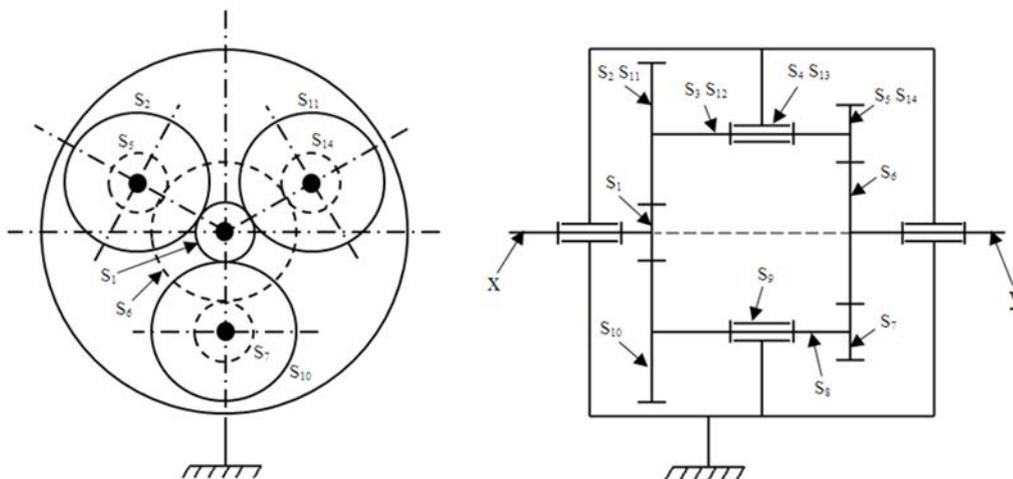


Figure 3.2. Réducteur parallèle de trois axes

### 3.4.3. Grammaire de configuration fonctionnelle flux-opération à tête fonctionnelle

Nous avons souligné que les décompositions sont récursives, d'une part, et qu'elle représente des hiérarchies. La distribution et l'intégration sont des propriétés intéressantes pour la représentation des modèles dans les systèmes de CAO. Le

formalisme que nous proposons suit les principes élaborés par Rizzi dans une série de travaux (Rizzi, 1982), (Rizzi, 1993/1994), (Rizzi, 1997), (Rizzi, 1998), (Rizzi, 2000), (Rizzi, 2002) :

- une structure à niveaux : qui comporte les différents niveaux de la décomposition ;
- une tête : qui représente une organisation autour d'une tête fonctionnelle, la tête est précédée d'un spécificateur  $\varphi$  et d'un complément  $\psi$  ;
- des projections : minimale  $X^\circ$ , intermédiaire  $X'$  et maximale XP. La tête représente une projection maximale XP.
- spécificateur  $\varphi$  et complément  $\psi$  : qui peuvent être nuls.

Tous ces éléments sont représentés dans le réseau de décomposition illustré dans la Figure 3.3.

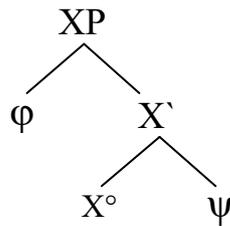


Figure 3.3. L'arbre de décompositions

Cet arbre peut être représenté par les équations suivantes :

$$XP = \{\varphi, X'\}$$

$$X' = \{X^\circ, \psi\}$$

A son tour, le flux peut être analysé et décomposé selon certaines règles. Nous proposons les règles suivantes :

$$R_I : \langle Flow / \mu_{Flow} \rangle \xrightarrow{\mu} \langle S\_input / \mu_{S\_input} \rangle \langle Flow'' / \mu_{Flow''} \rangle$$

$$R_{II} : \langle Flow'' / \mu_{Flow''} \rangle \xrightarrow{\mu} \langle Flow / \mu_{Flow} \rangle \langle S\_output / \mu_{S\_output} \rangle$$

$$R_{III} : \langle Flow / \mu_{Flow} \rangle \xrightarrow{\mu} \langle Flow / \mu_{Flow} \rangle \langle Operation'' / \mu_{Operation''} \rangle$$

$$R_{IV} : \langle \text{Operation}'' / \mu_{\text{Operation}''} \rangle \xrightarrow{\mu} \langle \text{Operation} / \mu_{\text{Operation}} \rangle \langle \text{Flow} / \mu_{\text{Flow}} \rangle$$

$$R_{V} : \langle \text{Operation}'' / \mu_{\text{Operation}''} \rangle \xrightarrow{\mu} \langle \text{Operation} / \mu_{\text{Operation}} \rangle \langle \text{G.Flow} / \mu_{\text{G.Flow}} \rangle$$

$$R_{VI} : \langle \text{G.Flow} / \mu_{\text{G.Flow}} \rangle \xrightarrow{\mu} \langle \text{G.Flow} / \mu_{\text{G.Flow}} \rangle \langle \text{Operation}'' / \mu_{\text{Operation}''} \rangle$$

$$R_{VII} : \langle \text{G.Flow} / \mu_{\text{G.Flow}} \rangle \xrightarrow{\mu} \langle \text{Flow} / \mu_{\text{Flow}} \rangle \langle \text{G.Flow} / \mu_{\text{G.Flow}} \rangle$$

$$R_{VIII} : \langle \text{G.Flow} / \mu_{\text{G.Flow}} \rangle \xrightarrow{\mu} \langle \text{Flow} / \mu_{\text{Flow}} \rangle$$

Le Tableau 3.6 montre les symboles graphiques utilisés pour représenter graphiquement les règles ci-dessus et leurs significations.

**Tableau 3.6. Les symboles graphiques des décompositions de flux d'énergie**

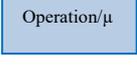
Symboles graphiques	Signification des symboles
	Source d'énergie d'entrée
	Source d'énergie de sortie
	Flux élémentaire
	Flux intermédiaire
	Groupe de flux élémentaires
	Opération élémentaire
	Opération intermédiaire
	Décomposition/composition de flux d'énergie

Tableau 3.7. La représentation graphique des formalismes de décomposition de flux

Formalisme	Signification graphique
F <sub>1</sub>	
F <sub>2</sub>	
F <sub>3</sub>	
F <sub>4</sub>	
F <sub>5</sub>	
F <sub>6</sub>	

La décomposition, en utilisant les règles de décomposition de flux (de R<sub>I</sub> à R<sub>VIII</sub>) et les symboles graphiques (Tableau 3.6), est utilisée dans le Tableau 3.7.

La Figure 3.4 représente l'application de ces règles de décomposition de flux dans la modélisation du réducteur (Figure 3.2).

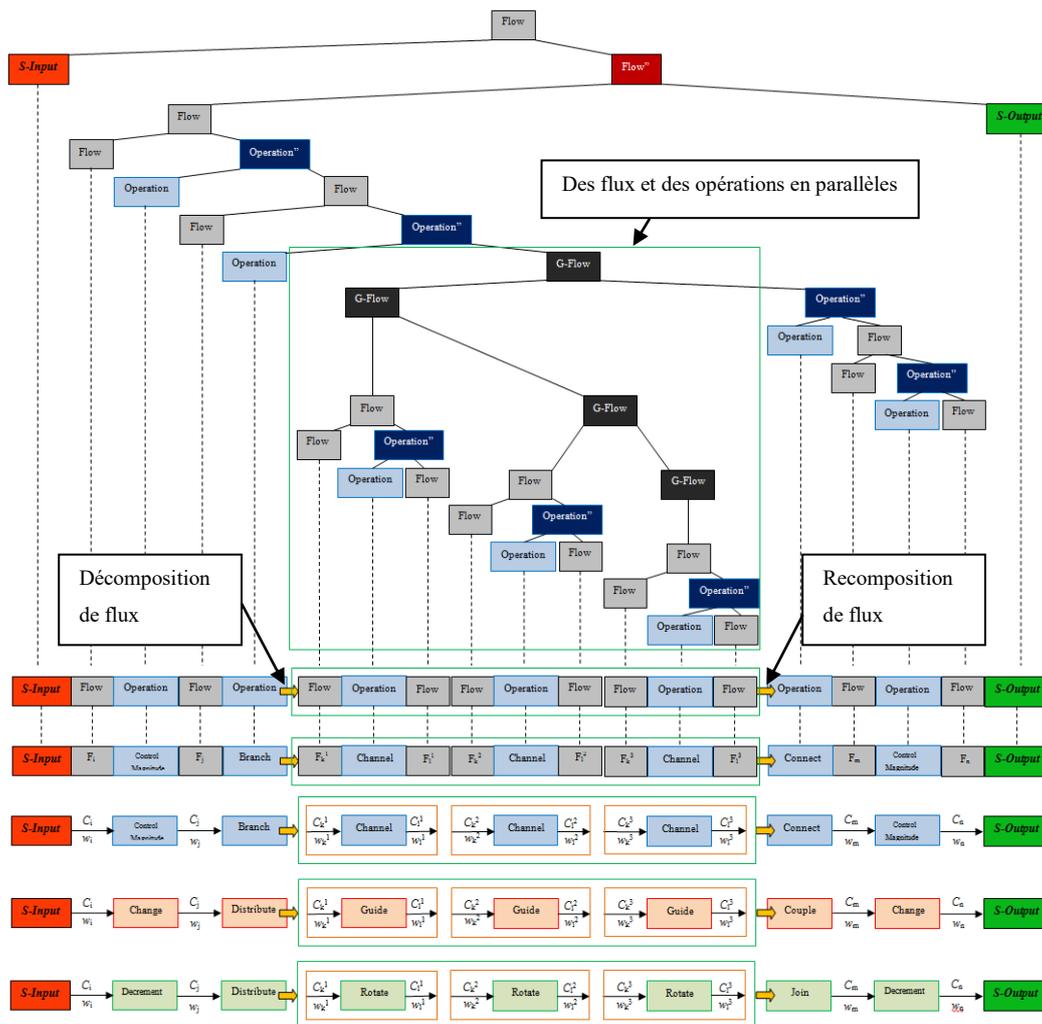


Figure 3.4. L'application de règles de décomposition de flux et règles de décomposition fonctionnelle pour le réducteur parallèle

Le cadre vert transparent signifie des flux et des opérations qui sont en parallèles, et les flèches jaunes avant et après ce cadre signifient respectivement la décomposition et la recombinaison de ces flux et opérations.

### 3.4.4. Les grammaires de configuration fonctionnelle multi-niveaux

Une autre forme de grammaires utilisée dans la modélisation des familles de produits configurables est constituée par les *grammaires multi-niveaux*. Le concept de *grammaires multi-niveaux* a été proposé initialement par Ostrosi (Ostrosi, 1998). Plus précisément les grammaires ont été proposées et développées dans le cadre d'une approche de reconnaissance des features de forme dans le modèle CAO d'une pièce.

L'approche des grammaires multi-niveaux a été étendue dans le cas de conception pour la configuration de structures (Ostrosi & Ferney, 2005), (Deciu, et al., 2007), (Ostrosi, et al., 2012a). Par rapport aux grammaires graphe, les grammaires de features de configuration permettent de définir la connexion entre les structures. Ainsi, elles définissent formellement la connexion entre les structures sur deux niveaux distincts, respectivement le niveau de *jonctions* et le niveau de *connexions*.

Une grammaire multi-niveaux est défini comme le 8-uple :

$$G = \{V_{structure}^T, V_{jonction-connexion}^T, V_{structure}^N, V_{jonction-connexion}^N, S, \nabla, \Delta, P\}$$

où :

$V_{structure}^T$  est l'ensemble fini, non vide des éléments primitifs de configuration appelé *vocabulaire terminal de structures de configuration* ;

$V_{jonction-connexion}^T$  est l'ensemble fini, non vide appelé *vocabulaire terminal des jonctions et connexions* ;

$V_{structure}^N$  est l'ensemble fini, non vide des éléments non primitifs de configuration appelé *vocabulaire non-terminal des structures de configuration* ;

$V_{jonction-connexion}^N$  est l'ensemble fini, non vide appelé *vocabulaire non-terminal des jonctions et connexions* ;

$S, \nabla, \Delta$  sont respectivement l'axiome des structures (de configuration), l'axiome des jonctions et l'axiome des connexions ;

$P : \left\{ \left[ \begin{array}{c} \alpha \\ \Gamma_\alpha \\ \Delta_\alpha \end{array} \right] \rightarrow \left[ \begin{array}{c} \beta \\ \Gamma_\beta \\ \Delta_\beta \end{array} \right] \right\}$  est l'ensemble fini, non vide de productions.

Les conditions suivantes doivent être respectées concernant les vocabulaires terminaux et non-terminaux, des structures et respectivement des jonctions-connexions :

$$V_{structure}^T \cap V_{structure}^N = \emptyset \text{ et}$$

$$V_{jonction-connexion}^T \cap V_{jonction-connexion}^N = \emptyset,$$

$$(V_{structure}^T \cup V_{structure}^N) \cap (V_{jonction-connexion}^T \cup V_{jonction-connexion}^N) = \emptyset.$$

Nous avons considéré les fonctions comme des décompositions. De plus, nous considérons les fonctions comme des structures interactives. Alors, nous proposons de formaliser la modélisation fonctionnelle à l'aide des grammaires multi-niveaux.

Alors, les propriétés pour représenter et générer une famille des produits mécaniques configurables sont définies comme suit :

**Propriété 1** : trois niveaux de fonctions floues sont distingués :

- (a) *les fonctions primitives floues*,
- (b) *les fonctions intermédiaires floues*,
- (c) *la fonction finale floue*.

Par conséquent, deux ensembles flous sont définis. Le premier ensemble flou, noté  $\tilde{V}_{fonction}^T$ , est l'ensemble fini non-vide de fonctions primitives floues ou les *terminaux flous*. Le second ensemble flou, noté  $\tilde{V}_{fonction}^N$ , est l'ensemble fini non-vide de *non-terminaux flous*. Les fonctions intermédiaires floues et la fonction finale floue, à la fois définissent les *non-terminaux flous*.

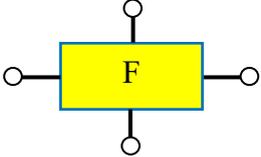
**Propriété 2** : chaque fonction floue est munie d'un ensemble flou d'éléments particuliers, appelé *fonctions floues de connexion*. Les *fonctions floues de connexion* donnent la possibilité à une fonction floue de se connecter avec d'autres fonctions floues.

**Propriété 3** : une nouvelle fonction floue est générée par l'interconnexion entre les fonctions floues.

L'interconnexion entre les fonctions floues est réalisée par les *fonctions floues de connexion*. Elle produit : (a) les *fonctions floues de jonction*, et (b) les nouvelles *fonctions floues de connexion* de la nouvelle fonction floue générée. Cette procédure est récursive. Ainsi, de nouvelles *fonctions floues de connexion*, permettent à la fonction floue générée d'interconnecter avec d'autres fonctions floues pour former une nouvelle fonction floue, et ainsi de suite jusqu'à ce que la fonction floue finale soit générée.

Les symboles de la *fonction floue*, de la *fonction floue de connexion* et de la *fonction floue de jonction* sont présentés dans le Tableau 3.8.

**Tableau 3.8. Les symboles et leurs significations**

Symboles graphiques	Signification des symboles
	Une fonction floue est fournie avec un ensemble flou de fonctions floues de connexion
	Une fonction floue de connexion de la nouvelle fonction floue générée
	Une fonction floue de jonction formée à partir des fonctions floues de connexion
	Une fonction floue de jonction de la fonction floue

Par conséquent, deux nouveaux ensembles flous sont définis. Le premier ensemble flou, noté  $\tilde{V}_{fonction\text{-}jonction\text{-}connexion}^T$ , est utilisé pour identifier les *fonctions floues de connexion* des fonctions terminales floues dans  $\tilde{V}_{fonction}^T$ . Le second ensemble flou, noté  $\tilde{V}_{fonction\text{-}jonction\text{-}connexion}^N$ , est utilisé pour identifier les *fonctions floues de jonction* et les *fonctions floues de connexion* des fonctions non-terminales dans  $\tilde{V}_{fonction}^N$ . Les interconnexions des fonctions floues terminales ou fonctions floues non-terminales ne peuvent être effectuées qu'au travers de *fonctions floues de connexion* correspondantes spécifiées.

Ainsi, sur la base de ces propriétés, nous allons nous concentrer sur la recherche d'une grammaire fonctionnelle floue, qui fournit la description générique et productive d'un langage fonctionnel flou. Un langage fonctionnel flou peut décrire la génération des *fonctions floues*, des *fonctions floues de jonction* et des *fonctions floues de connexion*. Une grammaire de configuration fonctionnelle multi-niveaux fournit la description générique finie de ce langage. Dans ces conditions, une *grammaire de configuration fonctionnelle multi-niveaux* peut être définie comme un 8-uple :

$$\tilde{G} = \left\{ \tilde{V}_{fonction}^T, \tilde{V}_{fonction}^N, S, \tilde{V}_{fonction\text{-}jonction\text{-}connexion}^T, \tilde{V}_{fonction\text{-}jonction\text{-}connexion}^N, \nabla, \Lambda, \tilde{P} \right\}$$

où :

- $\tilde{V}_{fonction}^T$  est l'ensemble flou fini non-vidé de *fonctions primitives* ou *fonctions terminales* appelé le *vocabulaire terminal flou des fonctions* ;
- $\tilde{V}_{fonction}^N$  est un ensemble flou fini non-vidé de *fonctions non-primitives* ou *fonctions non-terminales* appelé le *vocabulaire flou non-terminal des fonctions*.

Il est requis que  $\tilde{V}_{fonction}^T \cap \tilde{V}_{fonction}^N = \emptyset$  ;

- $S \in \tilde{V}_{fonction}^N$  est la *fonction floue finale* appelée l'*axiome de fonctions* ;
- $\tilde{V}_{fonction\ jonction\text{-}connexion}^T$  est un ensemble flou fini non-vidé de *fonctions de connexion terminales* appelé *vocabulaire terminal flou des jonctions et des connexions*. La fonction terminale floue de la configuration de connexion nulle '0' n'est pas associée à aucune fonction floue de connexion ni à aucune fonction floue de jonction, et elle est utilisée pour désigner la relation "*fonction floue terminale qui n'est pas impliquée dans la formation de la fonction floue de jonction ou à la formation de la fonction floue de connexion*".
- $\tilde{V}_{fonction\ jonction\text{-}connexion}^N$  est un ensemble flou fini non-vidé de *fonctions de connexion non-terminales* appelé le *vocabulaire non-terminal flou des jonctions et des connexions*. La fonction non-terminale floue de la configuration de connexion nulle '0' n'est pas associée à aucune fonction floue de connexion ni à aucune fonction floue de jonction, et elle est utilisée pour désigner la relation "*fonction floue non-terminale qui n'est pas impliquée dans la formation de la fonction floue de jonction ou à la formation de la fonction floue de connexion*".

Il est requis que  $\tilde{V}_{fonction\ jonction\text{-}connexion}^T \cap \tilde{V}_{fonction\ jonction\text{-}connexion}^N = \emptyset$

and

$$(\tilde{V}_{fonction}^T \cup \tilde{V}_{fonction}^N) \cap (\tilde{V}_{fonction\ jonction\text{-}connexion}^T \cup \tilde{V}_{fonction\ jonction\text{-}connexion}^N) = \emptyset$$

- $\nabla, \Lambda$  sont respectivement l'*axiome de configuration de fonctions floue de jonction*, et l'*axiome de configuration de fonctions floue de connexion*;
- $\tilde{P}$  est un ensemble fini de *règles floues de production* ou l'*ensemble flou de production*.

Les règles floues de production de la Grammaire Floue de Configuration ont le format ci-dessous :

$$\left\{ \begin{array}{l} \left[ \begin{array}{c} \tilde{\alpha} \\ \tilde{\Gamma}(\tilde{\alpha}) \\ \tilde{\Delta}(\tilde{\alpha}) \end{array} \right] \xrightarrow{\mu} \left[ \begin{array}{c} \tilde{\beta} \\ \tilde{\Gamma}(\tilde{\beta}) \\ \tilde{\Delta}(\tilde{\beta}) \end{array} \right] \\ \text{Niveau 1 ou niveau de fonctions} \\ \text{Niveau 2 ou niveau de fonctions de jonction} \\ \text{Niveau 3 ou niveau de fonctions de connexion} \end{array} \right.$$

où :

- $\tilde{\alpha} = [\alpha_j]$ ,  $j \in J_{\tilde{\alpha}}$ ,  $J_{\tilde{\alpha}} = \{1\}$  est appelé le côté gauche de la matrice de fonction de configuration ;
- $\tilde{\beta} = [\beta_j]$ ,  $j \in J_{\tilde{\beta}}$ ,  $J_{\tilde{\beta}} = \{1, 2, \dots, m\}$  est appelé le côté droit de la matrice de fonction de configuration,  $m$  est le nombre de fonctions floues de configuration ;
- $\tilde{\Gamma}(\tilde{\alpha}) = [\gamma_i(\tilde{\alpha})]$ ,  $i \in I_{\tilde{\Gamma}(\tilde{\alpha})}$ ,  $I_{\tilde{\Gamma}(\tilde{\alpha})} = \{1, 2, \dots, n\}$  est appelé le côté gauche de la matrice des fonctions de jonction ;  $n$  est le nombre de fonctions floues de jonction;
- $\tilde{\Gamma}(\tilde{\beta}) = [\gamma_{ij}(\tilde{\beta})]$ ,  $(i, j) \in I_{\tilde{\Gamma}(\tilde{\beta})} \times J_{\tilde{\Gamma}(\tilde{\beta})}$ ,  $I_{\tilde{\Gamma}(\tilde{\beta})} = I_{\tilde{\Gamma}(\tilde{\alpha})}$ ,  $J_{\tilde{\Gamma}(\tilde{\beta})} = J_{\tilde{\beta}}$  est appelé le côté droit de la matrice des fonctions de jonction ;
- $\tilde{\Delta}(\tilde{\alpha}) = [\delta_i(\tilde{\alpha})]$ ,  $i \in I_{\tilde{\Delta}(\tilde{\alpha})}$ ,  $I_{\tilde{\Delta}(\tilde{\alpha})} = \{1, 2, \dots, s\}$  est appelé le côté gauche de la matrice des fonctions de connexion ;  $s$  est le nombre de fonctions floues de connexion ;
- $\tilde{\Delta}(\tilde{\beta}) = [\delta_{ij}(\tilde{\beta})]$ ,  $(i, j) \in I_{\tilde{\Delta}(\tilde{\beta})} \times J_{\tilde{\Delta}(\tilde{\beta})}$ ,  $I_{\tilde{\Delta}(\tilde{\beta})} = I_{\tilde{\Delta}(\tilde{\alpha})}$ ,  $J_{\tilde{\Delta}(\tilde{\beta})} = J_{\tilde{\beta}}$  est appelé le côté droit de la matrice des fonctions de connexion.

Il existe trois niveaux de règles de production pour la Grammaire Fonctionnelle. Le premier est le niveau de *configuration de la fonction floue*. Ce niveau détermine la façon dont les fonctions floues  $\beta_j$  interconnectent pour former une fonction floue non-terminale unique  $\tilde{\alpha}$ . Formellement, ce niveau a des règles de la forme  $[\alpha_1] \xrightarrow{\mu} [\beta_j]$  caractérisées par la fonction d'appartenance  $\mu_{\alpha \rightarrow \beta}$  où  $\alpha_1 \in \tilde{V}_{fonction}^N$ ;  $[\beta_j]$  définit une

relation d'ordre pour ses fonctions floues ;  $\beta_j$  est une fonction floue terminale ou une fonction floue non-terminale.

Le deuxième niveau est le niveau de *fonctions floues de jonction*. Ce niveau détermine la *fonction floue de connexion* d'une *fonction floue* qui doit se connecter avec d'autres *fonctions floues de connexion* d'une autre *fonction floue* pour former la *fonction floue de jonction*. Si la fonction floue  $j$  (terminale ou non-terminale) n'est pas impliquée dans une *fonction floue de jonction*, les identificateurs nuls doivent apparaître dans la colonne  $j$ . Exactement, une ligne est requise par une fonction floue de jonction formée. Ensuite, formellement, le niveau de la *fonction floue de jonction* comporte des règles du format :

$$[\gamma_i(\tilde{\alpha})] \xrightarrow{\mu} [\gamma_{ij}(\tilde{\beta})]$$

où :

- $\gamma_i(\tilde{\alpha}) \in \tilde{V}_{\text{jonction-connexion}}^N$  est la configuration de la fonction floue de jonction formée ;
- $\gamma_{ij}(\tilde{\beta})$  est une *fonction floue de connexion* de la *fonction floue*  $j$ , définie selon l'ordre dans le côté droit de la matrice de *fonction floue de configuration*, qui participe à la formation de la *fonction floue de jonction*  $\gamma_i(\tilde{\alpha})$ .

Le troisième niveau est le niveau de *fonctions floues de connexion*. Ce niveau forme les *fonctions floues de connexion* de la *fonction floue* formée en donnant la correspondance entre les branchements externes pour le côté gauche et le côté droit. Il précise quelle *fonction floue de connexion* de la *fonction floue* sera connectée à chaque *fonction floue de connexion* formée. Leur forme de représentation et de formation est similaire à celui de niveau de *fonctions floues de jonction*. Formellement, ces règles ont la forme :

$$[\delta_i(\tilde{\alpha})] \xrightarrow{\mu} [\delta_{ij}(\tilde{\beta})]$$

où :

- $\delta_i(\tilde{\alpha}) \in \tilde{V}_{\text{fonction jonction-connexion}}^N$  est une *fonction floue de connexion* formée ;

- $\delta_{ij}(\tilde{\beta})$  est une *fonction floue de connexion* de la *fonction floue*  $j$ , définie selon l'ordre dans le côté droit de la matrice de *fonction floue de configuration*, qui participe à la formation de la *fonction floue de connexion*  $\delta_i(\tilde{\alpha})$ .

Si le concepteur connaît les solutions floues de configuration  $[\beta_j]$  caractérisées par la fonction d'appartenance  $\mu_{\beta_j}$ , donné une règle floue  $[\alpha_1] \xrightarrow{\mu} [\beta_j]$  caractérisée par la fonction d'appartenance  $\mu_{\alpha \rightarrow \beta}$ , il peut calculer la fonction d'appartenance de la fonction floue générée  $\alpha_1 \in \tilde{V}_{solution}^N$ . La technique utilisée dans la théorie floue est l'opération *min*. Dans cette interprétation, le concepteur peut déterminer la fonction d'appartenance de chaque non-terminal flou dans  $\tilde{V}_{solution}^N$ . Cette technique peut être appliquée aux trois niveaux de règle de productions floue.

### 3.4.5. Application de la modélisation avec des grammaires floues

L'utilisation d'une *grammaire de configuration fonctionnelle multi-niveaux* pour la modélisation des produits dans les systèmes de CAO nécessite :

1. le développement de *grammaire de configuration fonctionnelle multi-niveaux*, qui est, la construction de leurs vocabulaires flous et les règles floues de production ;
2. l'application de *grammaire de configuration fonctionnelle multi-niveaux*, qui est, de l'invocation d'une série de règles floues de l'ensemble des règles floues de production et la dérivation du produit.

Dans cette section, nous présentons une étude de cas de conception en utilisant la méthode de modélisation proposée avec les *grammaires de configuration fonctionnelle multi-niveaux*. L'étude a été réalisée dans la conception de systèmes de fixation dans certains moteurs. Dans le moteur turbo, nous avons besoin d'un conduit pour l'air qui va entrer dans le moteur. Un système de fixation est un ensemble de pièces qui permet un conduit pour être fixé sur un châssis, Figure 3.5. Ce système de fixation doit assurer la transmission des forces du conduit sur le châssis. La partie principale du système est

considérée comme le support (la patte). Par conséquent, la fonction principale de la patte est de fixer le conduit sur le châssis à l'aide de soudage et fixations : vis et écrous.

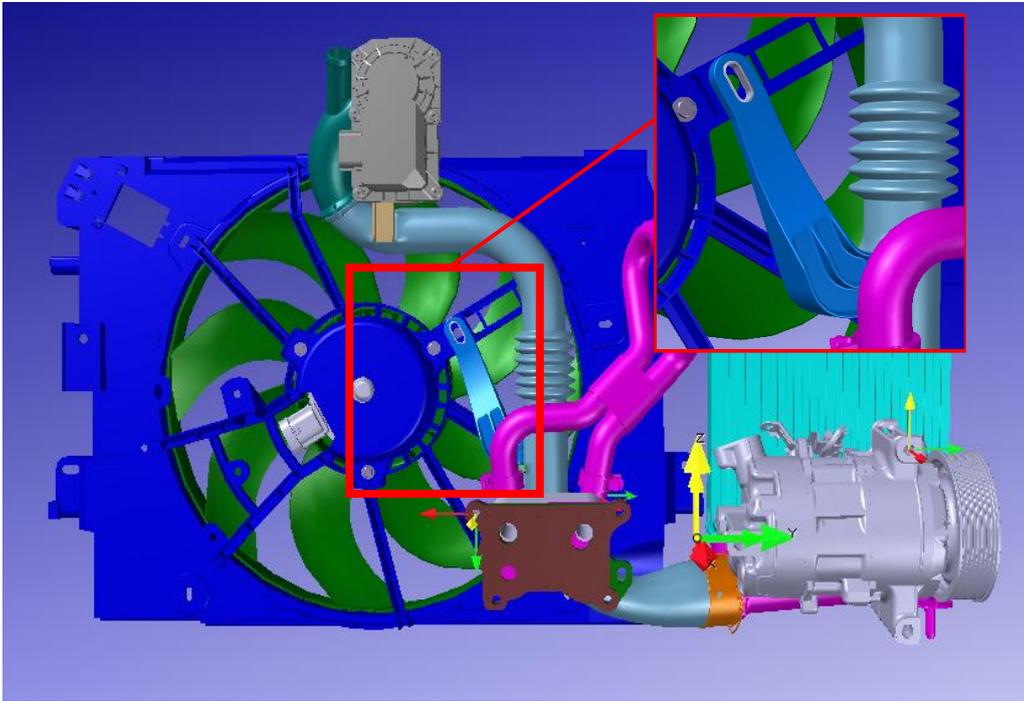


Figure 3.5. La position de la patte de fixation dans le moteur entre le conduit et le châssis

### 3.4.5.1. La décomposition fonctionnelle de la patte de fixation

La Figure 3.6 montre la structure principale de la décomposition fonctionnelle de la patte de fixation.

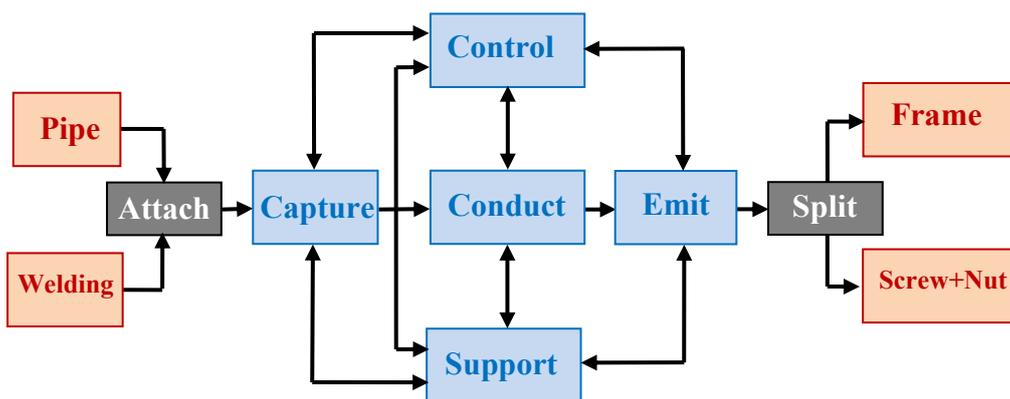


Figure 3.6. La structure de la décomposition fonctionnelle principale

La fonction principale « fixer le conduit ‘*Pipe*’ sur le châssis ‘*Frame*’ à l'aide de soudage et fixations : vis et écrous » peut être exprimée comme suit :

$F_1 : \langle \text{Fix} \rangle \langle \text{Pipe} \rangle \langle \text{Frame} \rangle$

Elle peut être décomposée en :

$F_{1.1} : \langle \text{Attach} \rangle \langle \text{Force\_Of\_Pipe} \rangle$

$F_{1.2} : \langle \text{Capture} \rangle \langle \text{Force\_Of\_Pipe} \rangle$

$F_{1.3} : \langle \text{Conduct} \rangle \langle \text{Force\_Of\_Pipe} \rangle$

$F_{1.4} : \langle \text{Emit} \rangle \langle \text{Force\_Of\_Pipe} \rangle$

$F_{1.5} : \langle \text{Support} \rangle \langle \text{Force\_Of\_Pipe} \rangle$

$F_{1.6} : \langle \text{Control} \rangle \langle \text{Force\_Of\_Pipe} \rangle$

$F_{1.7} : \langle \text{Split} \rangle \langle \text{Force\_Of\_Pipe} \rangle$

Chaque élément de la fonction globale requise représente une entité de fonctions qui ont une forme exacte de l'auto-similarité de la fonction primaire. Par exemple, la fonction  $\langle \text{Capture} \rangle$  est représentée par les fonctions internes illustrées dans la Figure 3.7:

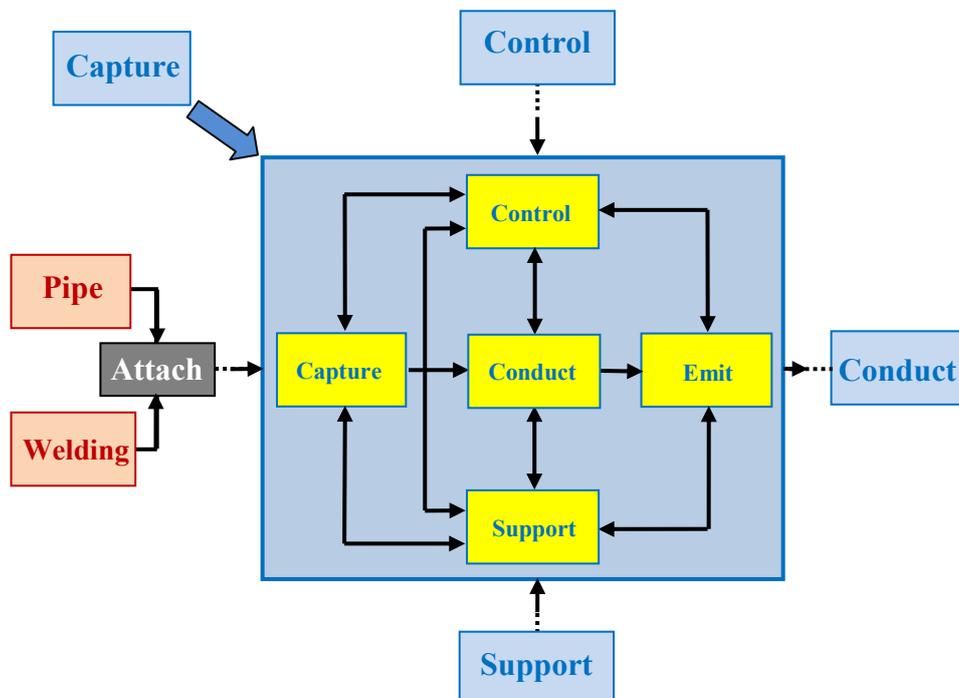


Figure 3.7. La structure de la décomposition auto-similaire de la fonction (Capture)

Notre hypothèse de décomposition est la suivante : chaque *sous-fonction floue* est auto-similaire. Par conséquent, chaque *sous-fonction floue* peut être décomposée suivant les mêmes règles. Par exemple, la Figure 3.8 montre la décomposition floue de la sous-fonction  $\langle \text{Capture} \rangle$ .

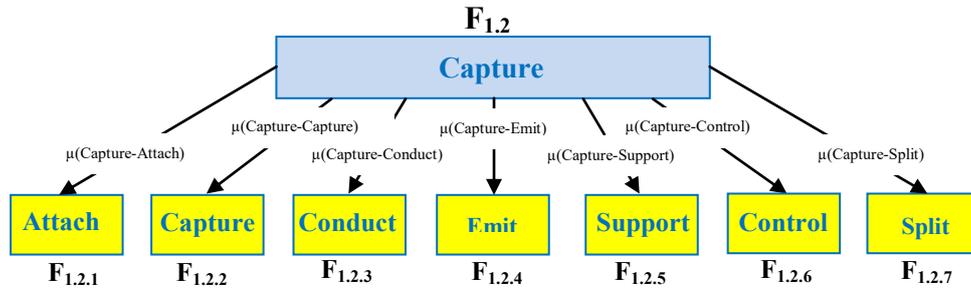


Figure 3.8. La décomposition floue auto-similaire des fonctions

La Figure 3.9 montre une décomposition auto-similaire fonctionnelle de la fonction globale  $S$  de la patte de fixation.

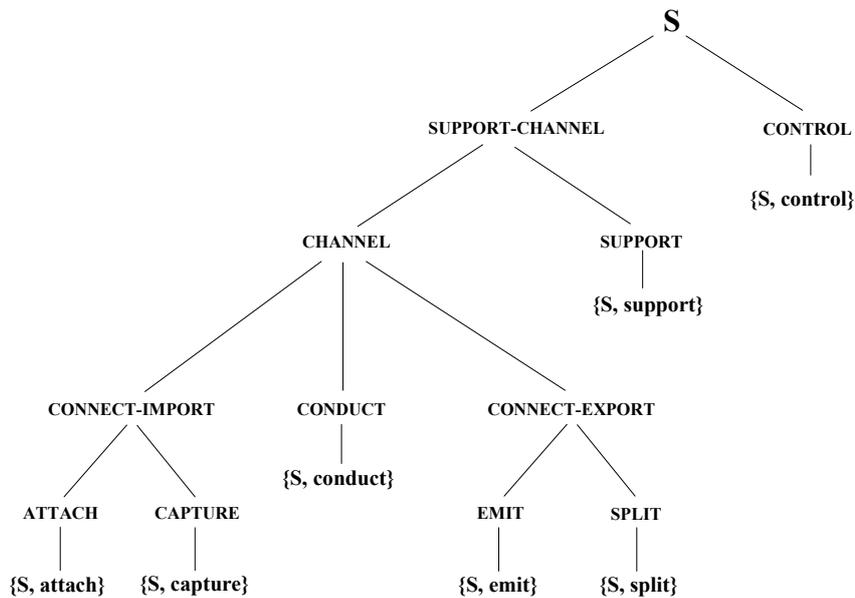
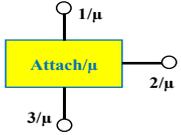
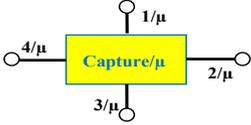
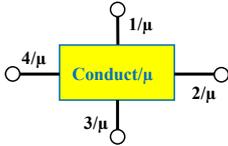
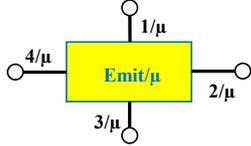
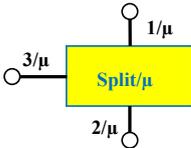
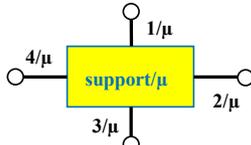
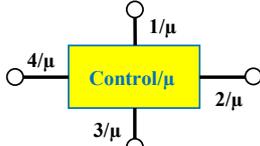


Figure 3.9. La décomposition auto-similaire fonctionnelle de  $S$

### 3.4.5.2. La création de sous-fonctions floues terminales

De l'hypothèse d'auto-similarité, cela peut être démontré que les fonctions terminales de la Grammaire Floues sont les *sous-fonctions* indiquées dans le Tableau 3.9.

Tableau 3.9. Les symboles de fonctions terminales et leurs significations

	Symboles Graphiques	Signification des Symboles
1		Fonction terminale floue <Attach> avec trois fonctions floues de connexion
2		Fonction terminale floue <Capture> avec quatre fonctions floues de connexion
3		Fonction terminale floue <Conduct> avec quatre fonctions floues de connexion
4		Fonction terminale floue <Emit> avec quatre fonctions floues de connexion
5		Fonction terminale floue <Split> avec trois fonctions floues de connexion
6		Fonction terminale floue <Support> avec quatre fonctions floues de connexion
7		Fonction terminale floue <Control> avec quatre fonctions floues de connexion

Chaque sous-fonction terminale classée dans le Tableau 3.9 a été générée en appliquant les Grammaires floues comme suit :

**1. La fonction terminale < ATTACH > :**

$$\langle ATTACH \rangle \xrightarrow{\mu} \langle attach \rangle$$

$$\text{Niveau 1 : } [\langle ATTACH / \mu_{ATTACH} \rangle] \xrightarrow{\mu} [\langle attach / \mu_{attach} \rangle] \quad J_{\alpha} = \{1\}, J_{\beta} = \{1\}$$

Niveau 2 :  $[\langle \Phi \rangle] \xrightarrow{\mu} [\langle \phi \rangle]$ , ‘Cette fonction est primitive et n’a pas de fonctions floues de jonction’

$$\text{Niveau 3 : } \begin{bmatrix} I / \mu_I \\ II / \mu_{II} \\ III / \mu_{III} \end{bmatrix} \xrightarrow{\mu} \begin{bmatrix} 1 / \mu_1 \\ 2 / \mu_2 \\ 3 / \mu_3 \end{bmatrix} \quad I_{\Delta(\alpha)} = I_{\Delta(\beta)} = \{3\}$$

**Tableau 3.10. Identifiants de fonctions floues de connexion pour la fonction terminale <ATTACH>**

Identifiants de fonction floue de connexion	Nom de fonction floue de connexion
1	ATTACH-PIPE
2	ATTACH-CAPTURE
3	ATTACH-WELDING

## 2. La fonction terminale < CAPTURE > :

$$\langle \text{CAPTURE} \rangle \xrightarrow{\mu} \langle \text{capture} \rangle$$

$$\text{Niveau 1 : } [\langle \text{CAPTURE} / \mu_{\text{CAPTURE}} \rangle] \xrightarrow{\mu} [\langle \text{capture} / \mu_{\text{capture}} \rangle] \quad J_{\alpha} = \{1\}, J_{\beta} = \{1\}$$

Niveau 2 :  $[\langle \Phi \rangle] \xrightarrow{\mu} [\langle \phi \rangle]$ , ‘Cette fonction est primitive et n’a pas de fonctions floues de jonction’

$$\text{Niveau 3 : } \begin{bmatrix} I / \mu_I \\ II / \mu_{II} \\ III / \mu_{III} \\ IV / \mu_{IV} \end{bmatrix} \xrightarrow{\mu} \begin{bmatrix} 1 / \mu_1 \\ 2 / \mu_2 \\ 3 / \mu_3 \\ 4 / \mu_4 \end{bmatrix} \quad I_{\Delta(\alpha)} = I_{\Delta(\beta)} = \{4\}$$

**Tableau 3.11. Identifiants de fonctions floues de connexion pour la fonction terminale <CAPTURE>**

Identifiants de fonction floue de connexion	Nom de fonction floue de connexion
1	CAPTURE-CONTROL
2	CAPTURE-CONDUCT
3	CAPTURE-SUPPORT
4	CAPTURE-ATTACH

## 3. La fonction terminale < CONDUCT > :

$$\langle \text{CONDUCT} \rangle \xrightarrow{\mu} \langle \text{conduct} \rangle$$

Niveau 1 :  $[\langle CONDUCT / \mu_{CONDUCT} \rangle] \xrightarrow{\mu} [\langle conduct / \mu_{conduct} \rangle] \quad J_{\alpha} = \{1\},$   
 $J_{\beta} = \{1\}$

Niveau 2 :  $[\langle \Phi \rangle] \xrightarrow{\mu} [\langle \phi \rangle]$ , ‘Cette fonction est primitive et n’a pas de fonctions floues de jonction’

Niveau 3 : 
$$\begin{array}{c} I / \mu_I \\ II / \mu_{II} \\ III / \mu_{III} \\ IV / \mu_{IV} \end{array} \xrightarrow{\mu} \begin{array}{c} 1 / \mu_1 \\ 2 / \mu_2 \\ 3 / \mu_3 \\ 4 / \mu_4 \end{array} \quad I_{\Delta(\alpha)} = I_{\Delta(\beta)} = \{4\}$$

**Tableau 3.12. Identifiants de fonctions floues de connexion pour la fonction terminale <CONDUCT>**

Identifiants de fonction floue de connexion	Nom de fonction floue de connexion
1	CONDUCT-CONTROL
2	CONDUCT-EMIT
3	CONDUCT-SUPPORT
4	CONDUCT-CAPTURE

#### 4. La fonction terminale <EMIT > :

$\langle EMIT \rangle \xrightarrow{\mu} \langle emit \rangle$

Niveau 1 :  $[\langle EMIT / \mu_{EMIT} \rangle] \xrightarrow{\mu} [\langle emit / \mu_{emit} \rangle] \quad J_{\alpha} = \{1\}, J_{\beta} = \{1\}$

Niveau 2 :  $[\langle \Phi \rangle] \xrightarrow{\mu} [\langle \phi \rangle]$ , ‘Cette fonction est primitive et n’a pas de fonctions floues de jonction’

Niveau 3 : 
$$\begin{array}{c} I / \mu_I \\ II / \mu_{II} \\ III / \mu_{III} \\ IV / \mu_{IV} \end{array} \xrightarrow{\mu} \begin{array}{c} 1 / \mu_1 \\ 2 / \mu_2 \\ 3 / \mu_3 \\ 4 / \mu_4 \end{array} \quad I_{\Delta(\alpha)} = I_{\Delta(\beta)} = \{4\}$$

**Tableau 3.13. Identifiants de fonctions floues de connexion pour la fonction terminale <EMIT>**

Identifiants de fonction floue de connexion	Nom de fonction floue de connexion
1	EMIT-CONTROL
2	EMIT-SPLIT
3	EMIT-SUPPORT
4	EMIT-CONDUCT

**5. La fonction terminale < SPLIT > :**

$$\langle SPLIT \rangle \xrightarrow{\mu} \langle split \rangle$$

$$\text{Niveau 1 : } [\langle SPLIT / \mu_{SPLIT} \rangle] \xrightarrow{\mu} [\langle split / \mu_{split} \rangle] \quad J_{\alpha} = \{1\}, J_{\beta} = \{1\}$$

Niveau 2 :  $[\langle \Phi \rangle] \xrightarrow{\mu} [\langle \phi \rangle]$ , ‘Cette fonction est primitive et n’a pas de fonctions floues de jonction’

$$\text{Niveau 3 : } \begin{bmatrix} I / \mu_I \\ II / \mu_{II} \\ III / \mu_{III} \end{bmatrix} \xrightarrow{\mu} \begin{bmatrix} 1 / \mu_1 \\ 2 / \mu_2 \\ 3 / \mu_3 \end{bmatrix} \quad I_{\Delta(\alpha)} = I_{\Delta(\beta)} = \{3\}$$

**Tableau 3.14. Identifiants de fonctions floues de connexion pour la fonction terminale <SPLIT>**

Identifiants de fonction floue de connexion	Nom de fonction floue de connexion
1	SPLIT-FRAME
2	SPLIT-(SCREW+NUT)
3	SPLIT-EMIT

**6. La fonction terminale < SUPPORT > :**

$$\langle SUPPORT \rangle \xrightarrow{\mu} \langle support \rangle$$

$$\text{Niveau 1 : } [\langle SUPPORT / \mu_{SUPPORT} \rangle] \xrightarrow{\mu} [\langle support / \mu_{support} \rangle] \quad J_{\alpha} = \{1\}, J_{\beta} = \{1\}$$

Niveau 2 :  $[\langle \Phi \rangle] \xrightarrow{\mu} [\langle \phi \rangle]$ , ‘Cette fonction est primitive et n’a pas de fonctions floues de jonction’

$$\text{Niveau 3 : } \begin{bmatrix} I / \mu_I \\ II / \mu_{II} \\ III / \mu_{III} \\ IV / \mu_{IV} \end{bmatrix} \xrightarrow{\mu} \begin{bmatrix} 1 / \mu_1 \\ 2 / \mu_2 \\ 3 / \mu_3 \\ 4 / \mu_4 \end{bmatrix} \quad I_{\Delta(\alpha)} = I_{\Delta(\beta)} = \{4\}$$

**Tableau 3.15. Identifiants de fonctions floues de connexion pour la fonction terminale <SUPPORT>**

Identifiants de fonction floue de connexion	Nom de fonction floue de connexion
1	SUPPORT-CONTROL
2	SUPPORT-EMIT
3	SUPPORT-CONDUCT
4	SUPPORT-CAPTURE

### 7. La fonction terminale < CONTROL > :

$$\langle CONTROL \rangle \xrightarrow{\mu} \langle control \rangle$$

$$\text{Niveau 1 : } [\langle CONTROL / \mu_{CONTROL} \rangle] \xrightarrow{\mu} [\langle control / \mu_{control} \rangle] \quad J_{\alpha} = \{1\}, J_{\beta} = \{1\}$$

Niveau 2 :  $[\langle \Phi \rangle] \xrightarrow{\mu} [\langle \phi \rangle]$ , ‘Cette fonction est primitive et n’a pas de fonctions floues de jonction’

$$\text{Niveau 3 : } \begin{bmatrix} I / \mu_I \\ II / \mu_{II} \\ III / \mu_{III} \\ IV / \mu_{IV} \end{bmatrix} \xrightarrow{\mu} \begin{bmatrix} 1 / \mu_1 \\ 2 / \mu_2 \\ 3 / \mu_3 \\ 4 / \mu_4 \end{bmatrix} \quad I_{\Delta(\alpha)} = I_{\Delta(\beta)} = \{4\}$$

**Tableau 3.16. Identifiants de fonctions floues de connexion pour la fonction terminale <CONTROL>**

Identifiants de fonction floue de connexion	Nom de fonction floue de connexion
1	CONTROL-CONDUCT
2	CONTROL-EMIT
3	CONTROL-SUPPORT
4	CONTROL-CAPTURE

### 3.4.5.3. La création de sous-fonctions floues non-terminales

Après avoir généré les sous-fonctions floues terminales et ses fonctions floues de connexion, nous présentons la règle pour la génération des fonctions floues non-terminales. Les triplets de règles de production sont définis simultanément dans trois niveaux pour chaque sous-fonction floue non-terminale.

## 1. La fonction non-terminale $\langle \text{CONNECT} - \text{IMPORT} \rangle$ :

Dans le niveau de la configuration de la fonction floue, une règle montre comment les fonctions commandées du côté droit forment une seule fonction non-terminale dans le côté gauche. Par exemple, la première règle pour  $\langle \text{CONNECT} - \text{IMPORT} \rangle$  est :

$$\left[ \langle \text{CONNECT} - \text{IMPORT} / \mu_{\text{CONNECT-IMPORT}} \rangle \right] \xrightarrow{\mu} \left[ \langle \text{ATTACH} / \mu_{\text{ATTACH}} \rangle \langle \text{CAPTURE} / \mu_{\text{CAPTURE}} \rangle \right] \quad \text{avec } J_{\alpha} = \{1\} \text{ et } J_{\beta} = \{2\}.$$

Cette règle indique que  $\langle \text{CONNECT} - \text{IMPORT} \rangle$  dans le côté gauche est composée de la fonction non-terminale floue  $\langle \text{ATTACH} \rangle$  et de la fonction non-terminale floue  $\langle \text{CAPTURE} \rangle$ , qui sont commandées dans le côté droit.

Le deuxième niveau est le niveau de *fonctions floues de jonction*. Ainsi, la règle est :

$$\left[ \nabla_1 / \mu_{\nabla_1} \right] \xrightarrow{\mu} \left[ \langle \text{II} / \mu_{\text{II}} \rangle \langle \text{IV} / \mu_{\text{IV}} \rangle \right].$$

Cette règle montre que la *fonction floue de jonction*  $\nabla_1$  est formée par la *fonction floue de connexion*  $\langle \text{II} \rangle$  qui appartient à la fonction floue  $\langle \text{ATTACH} \rangle$  et la *fonction floue de connexion*  $\langle \text{IV} \rangle$  qui appartient à la fonction floue  $\langle \text{CAPTURE} \rangle$ .

La règle du second niveau  $\left[ \nabla_1 / \mu_{\nabla_1} \right] \xrightarrow{\mu} \left[ \langle \text{II} / \mu_{\text{II}} \rangle \langle \text{IV} / \mu_{\text{IV}} \rangle \right]$  montre qu'une seule *fonction floue de jonction* est formée car le nombre de lignes est 1. Le nombre de colonnes pour le côté gauche et le côté droit sont respectivement 1 (correspondant à  $\langle \text{CONNECT} - \text{IMPORT} \rangle$ ) et 2 (correspondant à  $\langle \text{ATTACH} \rangle$  et  $\langle \text{CAPTURE} \rangle$ ). Si la fonction floue  $j$  (terminale ou non-terminale) n'est pas impliquée dans une configuration de fonction floue de jonction, les identificateurs nuls (0) apparaissent dans la colonne  $j$ .

Le troisième niveau est le niveau de *fonctions floues de connexion*. La structure  $\langle \text{CONNECT} - \text{IMPORT} \rangle$  doit avoir certaines *fonctions floues de connexion*, qui peuvent être générées à partir de l'interconnexion de fonctions  $\langle \text{ATTACH} \rangle$  et  $\langle \text{CAPTURE} \rangle$ . Par conséquent, le troisième niveau est :

$$\begin{bmatrix} I / \mu_I \\ II / \mu_{II} \\ III / \mu_{III} \\ IV / \mu_{IV} \\ V / \mu_V \end{bmatrix} \xrightarrow{\mu} \begin{bmatrix} \langle 0 / \mu_0 \rangle & \langle I / \mu_I \rangle \\ \langle 0 / \mu_0 \rangle & \langle II / \mu_{II} \rangle \\ \langle 0 / \mu_0 \rangle & \langle III / \mu_{III} \rangle \\ \langle III / \mu_{III} \rangle & \langle 0 / \mu_0 \rangle \\ \langle I / \mu_I \rangle & \langle 0 / \mu_0 \rangle \end{bmatrix}, \text{ avec } I_{\Delta(\alpha)} = I_{\Delta(\beta)} = \{5\}.$$

Ce niveau montre que les cinq fonctions floues sont formées, car le nombre de lignes est 5. Le nombre de colonnes pour le côté gauche et le côté droit sont respectivement 1 (correspondant à  $\langle CONNECT - IMPORT \rangle$ ) et 2 (correspondant à  $\langle ATTACH \rangle$  et  $\langle CAPTURE \rangle$ ). Par exemple, la règle montre que la fonction floue de connexion  $\langle V \rangle$  est formée par la fonction floue de connexion  $\langle I \rangle$  de la fonction  $\langle ATTACH \rangle$  et  $\langle 0 \rangle$  de la fonction  $\langle CAPTURE \rangle$ . Le terminal nul 0 dans la deuxième colonne montre que la fonction non-terminale  $\langle CAPTURE \rangle$  n'est pas impliquée dans la fonction floue de connexion non-terminale  $\langle V \rangle$ .

La fonction non-terminale générée  $\langle CONNECT - IMPORT \rangle$  est montrée dans la Figure 3.10. Le Tableau 3.17 donne la correspondance entre les identifiants de fonctions floues de connexion et leurs noms.

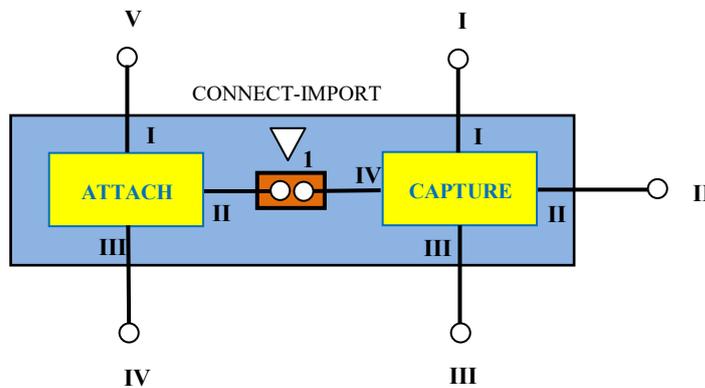


Figure 3.10. La génération de la fonction floue non-terminale  $\langle CONNECT-IMPORT \rangle$

Tableau 3.17. Identifiants de fonctions floues de connexion pour la fonction  $\langle CONNECT-IMPORT \rangle$

Identifiants de fonction floue de connexion	Nom de fonction floue de connexion
I	(CONNECT-IMPORT)-CONTROL
II	(CONNECT-IMPORT)-CONDUCT
III	(CONNECT-IMPORT)-SUPPORT
IV	(CONNECT-IMPORT)-WELDING
V	(CONNECT-IMPORT)-PIPE

## 2. La fonction non-terminale < CONNECT – EXPORT > :

D'une façon similaire nous configurons la fonction floue non-terminale < CONNECT – EXPORT >.

Dans le niveau de configuration de la fonction floue, nous trouvons :

$$\left[ \begin{array}{l} \langle \text{CONNECT} - \text{EXPORT} / \mu_{\text{CONNECT-EXPOERT}} \rangle \\ \langle \text{EMIT} / \mu_{\text{EMIT}} \rangle \quad \langle \text{SPLIT} / \mu_{\text{SPLIT}} \rangle \end{array} \right] \xrightarrow{\mu} \text{ avec } J_{\alpha} = \{1\} \text{ et } J_{\beta} = \{2\}.$$

Cette règle indique que < CONNECT – EXPORT > dans le côté gauche est composée de la fonction non-terminale floue < EMIT > et de la fonction non-terminale floue < SPLIT >, qui sont commandées dans le côté droit.

Pour le deuxième niveau :

$$\left[ \nabla_1 / \mu_{\nabla_1} \right] \xrightarrow{\mu} \left[ \langle \text{II} / \mu_{\text{II}} \rangle \quad \langle \text{III} / \mu_{\text{III}} \rangle \right]$$

Cette règle montre que la *fonction floue de jonction*  $\nabla_1$  est formée par la *fonction floue de connexion* < II > qui appartient à la fonction floue < EMIT > et de la *fonction floue de connexion* < III > qui appartient à la fonction floue < SPLIT >.

Le troisième niveau est comme suit :

$$\left[ \begin{array}{l} \text{I} / \mu_{\text{I}} \\ \text{II} / \mu_{\text{II}} \\ \text{III} / \mu_{\text{III}} \\ \text{IV} / \mu_{\text{IV}} \\ \text{V} / \mu_{\text{V}} \end{array} \right] \xrightarrow{\mu} \left[ \begin{array}{ll} \langle \text{0} / \mu_0 \rangle & \langle \text{I} / \mu_{\text{I}} \rangle \\ \langle \text{0} / \mu_0 \rangle & \langle \text{II} / \mu_{\text{II}} \rangle \\ \langle \text{III} / \mu_{\text{III}} \rangle & \langle \text{0} / \mu_0 \rangle \\ \langle \text{IV} / \mu_{\text{IV}} \rangle & \langle \text{0} / \mu_0 \rangle \\ \langle \text{I} / \mu_{\text{I}} \rangle & \langle \text{0} / \mu_0 \rangle \end{array} \right], \text{ avec } I_{\Delta(\alpha)} = I_{\Delta(\beta)} = \{5\}.$$

La fonction non-terminale générée < CONNECT – EXPORT > est montrée dans la Figure 3.11. Le Tableau 3.18 donne la correspondance entre les identifiants de fonctions floues de connexion et leurs noms.

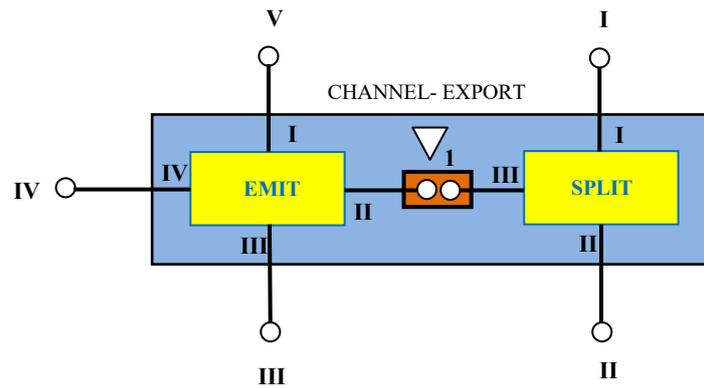


Figure 3.11. La génération de la fonction floue non-terminale <CONNECT-EXPORT>

Tableau 3.18. Identifiants de fonctions floues de connexion pour la fonction <CONNECT-EXPORT>

Identifiants de fonction floue de connexion	Nom de fonction floue de connexion
I	(CONNECT-EXPORT)-FRAME
II	(CONNECT-EXPORT)-(SCREW+NUT)
III	(CONNECT-EXPORT)-SUPPORT
IV	(CONNECT-EXPORT)-CONDUCT
V	(CONNECT-EXPORT)-CONTROL

### 3. La fonction non-terminale < CHANNEL > :

La fonction floue non-terminale < CHANNEL > est composée de trois sous-fonctions floues non-terminales dans le côté gauche, ces sous-fonctions sont : < CONNECT – IMPORT >, < CONDUCT > et < CONNECT – EXPORT > .

Par conséquent, dans le niveau de configuration de la fonction floue, nous trouvons :

$$[< CHANNEL / \mu_{CHANNEL} >] \xrightarrow{\mu} [ < CONNECT – IMPORT / \mu_{CONNECT-IMPORT} > < CONDUCT / \mu_{CONDUCT} > < CONNECT – EXPORT / \mu_{CONNECT-EXPORT} > ]$$

$$J_{\alpha} = \{1\}, J_{\beta} = \{3\}$$

Pour le niveau de fonctions floues de jonction, nous avons deux fonctions floues de jonction comme suit :

$$\begin{bmatrix} \nabla_1 / \mu_{\nabla_1} \\ \nabla_2 / \mu_{\nabla_2} \end{bmatrix} \xrightarrow{\mu} \begin{bmatrix} < II / \mu_{II} > < IV / \mu_{IV} > < 0 / \mu_0 > \\ < 0 / \mu_0 > < II / \mu_{II} > < IV / \mu_{IV} > \end{bmatrix}, I_{\Gamma(\alpha)} = I_{\Gamma(\beta)} = \{2\}.$$

Cette règle montre que la *fonction floue de jonction*  $\nabla_1$  est formée par la *fonction floue de connexion*  $\langle II \rangle$  qui appartient à la fonction floue  $\langle \text{CONNECT} - \text{IMPOERT} \rangle$  et de la *fonction floue de connexion*  $\langle IV \rangle$  qui appartient à la fonction floue  $\langle \text{CONDUCT} \rangle$ . Alors que la *fonction floue de jonction*  $\nabla_2$  est formée par la *fonction floue de connexion*  $\langle II \rangle$  qui appartient à la fonction floue  $\langle \text{CONDUCT} \rangle$  et de la *fonction floue de connexion*  $\langle IV \rangle$  qui appartient à la fonction floue  $\langle \text{CONNECT} - \text{EXPORT} \rangle$ .

Le troisième niveau est comme suit :

$$\left[ \begin{array}{l} I/\mu_I \\ II/\mu_{II} \\ III/\mu_{III} \\ IV/\mu_{IV} \\ V/\mu_V \\ VI/\mu_{VI} \\ VII/\mu_{VII} \\ VIII/\mu_{VIII} \\ IX/\mu_{IX} \\ X/\mu_X \end{array} \right] \xrightarrow{\mu} \left[ \begin{array}{ccc} \langle 0/\mu_0 \rangle & \langle 0/\mu_0 \rangle & \langle I/\mu_I \rangle \\ \langle 0/\mu_0 \rangle & \langle 0/\mu_0 \rangle & \langle II/\mu_{II} \rangle \\ \langle 0/\mu_0 \rangle & \langle 0/\mu_0 \rangle & \langle III/\mu_{III} \rangle \\ \langle 0/\mu_0 \rangle & \langle III/\mu_{III} \rangle & \langle 0/\mu_0 \rangle \\ \langle III/\mu_{III} \rangle & \langle 0/\mu_0 \rangle & \langle 0/\mu_0 \rangle \\ \langle IV/\mu_{IV} \rangle & \langle 0/\mu_0 \rangle & \langle 0/\mu_0 \rangle \\ \langle V/\mu_V \rangle & \langle 0/\mu_0 \rangle & \langle 0/\mu_0 \rangle \\ \langle I/\mu_I \rangle & \langle 0/\mu_0 \rangle & \langle 0/\mu_0 \rangle \\ \langle 0/\mu_0 \rangle & \langle I/\mu_I \rangle & \langle 0/\mu_0 \rangle \\ \langle 0/\mu_0 \rangle & \langle 0/\mu_0 \rangle & \langle V/\mu_V \rangle \end{array} \right], I_{\Delta(\alpha)} = I_{\Delta(\beta)} = \{10\}.$$

La fonction non-terminale générée  $\langle \text{CHANNEL} \rangle$  est montrée dans la Figure 3.12. Le Tableau 3.19 donne la correspondance entre les identifiants de fonctions floues de connexion et leurs noms.

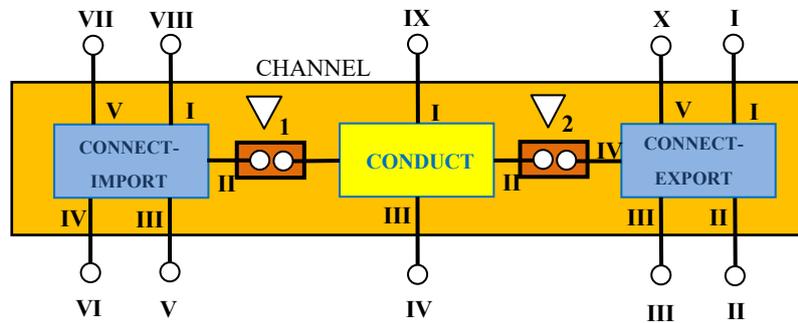


Figure 3.12. La génération de la fonction floue non-terminale  $\langle \text{CHANNEL} \rangle$

**Tableau 3.19. Identifiants de fonctions floues de connexion pour la fonction <CHANNEL>**

Identifiants de fonction floue de connexion	Nom de fonction floue de connexion
I	CHANNEL-FRAME
II	CHANNEL-(SCREW+NUT)
III	CHANNEL-SUPPORT
IV	CHANNEL-SUPPORT
V	CHANNEL-SUPPORT
VI	CHANNEL-WELDING
VII	CHANNEL-PIPE
VIII	CHANNEL-CONTROL
IX	CHANNEL-CONTROL
X	CHANNEL-CONTROL

**4. La fonction non-terminale < SUPPORT – CHANNEL > :**

Cette fonction floue est composée de la fonction floue < CHANNEL > et de la fonction floue < SUPPORT >.

Le premier niveau est représenté comme suit :

$$\left[ \langle SUPPORT - CHANNEL / \mu_{SUPPORT-CHANNEL} \rangle \right] \xrightarrow{\mu} \left[ \langle CHANNEL / \mu_{CHANNEL} \rangle \quad \langle SUPPORT / \mu_{SUPPORT} \rangle \right]$$

$$J_{\alpha} = \{1\}, J_{\beta} = \{2\}.$$

Pour le niveau de fonctions floues de jonction, nous avons trois *fonctions floues de jonction* comme suit :

$$\begin{bmatrix} \nabla_1 / \mu_{\nabla_1} \\ \nabla_2 / \mu_{\nabla_2} \\ \nabla_3 / \mu_{\nabla_3} \end{bmatrix} \xrightarrow{\mu} \begin{bmatrix} \langle V / \mu_V \rangle & \langle IV / \mu_{IV} \rangle \\ \langle IV / \mu_{IV} \rangle & \langle I / \mu_I \rangle \\ \langle III / \mu_{III} \rangle & \langle II / \mu_{II} \rangle \end{bmatrix}, I_{\Gamma(\alpha)} = I_{\Gamma(\beta)} = \{3\}.$$

Nous distinguons que la *fonction floue de jonction*  $\nabla_1$  est formée par la *fonction floue de connexion* < V > qui appartient à la fonction floue < CHANNEL > et de la *fonction floue de connexion* < IV > qui appartient à la fonction floue < SUPPORT >. Alors que la *fonction floue de jonction*  $\nabla_2$  est formée par la *fonction floue de connexion* < IV > qui appartient à la fonction floue < CHANNEL > et de la *fonction floue de connexion* < I > qui appartient à la fonction floue < SUPPORT >. Enfin, la *fonction floue de*

jonction  $\nabla_3$  est formée par la fonction floue de connexion  $\langle III \rangle$  qui appartient à la fonction floue  $\langle CHANNEL \rangle$  et de la fonction floue de connexion  $\langle II \rangle$  qui appartient à la fonction floue  $\langle SUPPORT \rangle$ .

Le niveau de fonctions floues de connexion est représenté comme suit :

$$\begin{array}{l}
 I/\mu_I \\
 II/\mu_{II} \\
 III/\mu_{III} \\
 IV/\mu_{IV} \\
 V/\mu_V \\
 VI/\mu_{VI} \\
 VII/\mu_{VII} \\
 VIII/\mu_{VIII}
 \end{array}
 \xrightarrow{\mu}
 \begin{array}{l}
 \langle I/\mu_I \rangle \quad \langle 0/\mu_0 \rangle \\
 \langle II/\mu_{II} \rangle \quad \langle 0/\mu_0 \rangle \\
 \langle 0/\mu_0 \rangle \quad \langle III/\mu_{III} \rangle \\
 \langle VI/\mu_{VI} \rangle \quad \langle 0/\mu_0 \rangle \\
 \langle VII/\mu_{VII} \rangle \quad \langle 0/\mu_0 \rangle \\
 \langle VIII/\mu_{VIII} \rangle \quad \langle 0/\mu_0 \rangle \\
 \langle IX/\mu_{IX} \rangle \quad \langle 0/\mu_0 \rangle \\
 \langle X/\mu_X \rangle \quad \langle 0/\mu_0 \rangle
 \end{array}
 \text{ avec } I_{\Delta(\alpha)} = I_{\Delta(\beta)} = \{8\}.$$

La fonction non-terminale générée  $\langle SUPPORT-CHANNEL \rangle$  est montrée dans la Figure 3.13. Le Tableau 3.20 donne la correspondance entre les identifiants de fonctions floues de connexion et leurs noms.

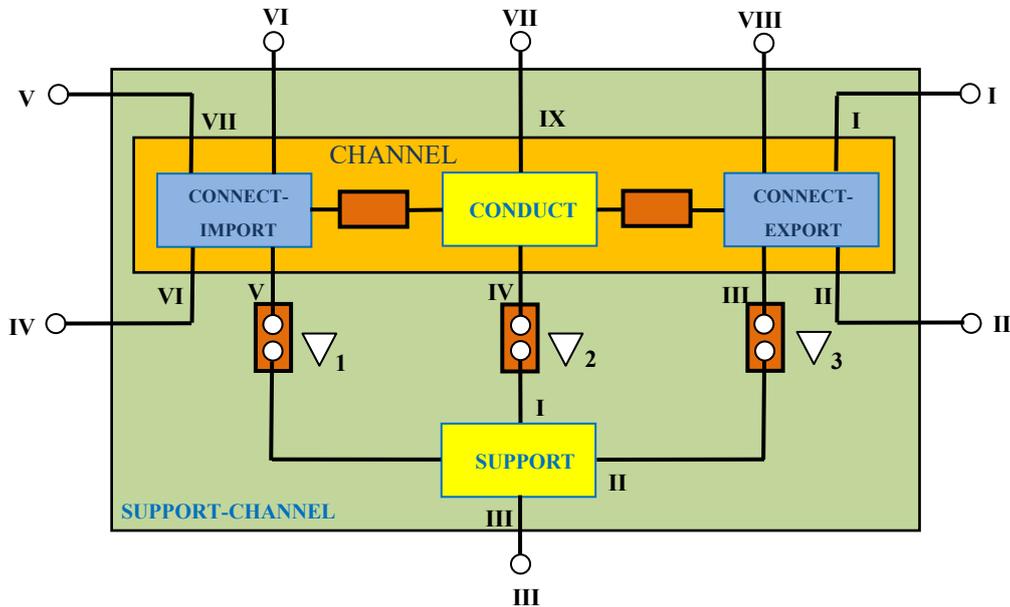


Figure 3.13. La génération de la fonction floue non-terminale  $\langle SUPPORT-CHANNEL \rangle$

**Tableau 3.20. Identifiants de fonctions floues de connexion pour la fonction <SUPPORT-CHANNEL>**

Identifiants de fonction floue de connexion	Nom de fonction floue de connexion
I	(SUPPORT-CHANNEL)-FRAME
II	(SUPPORT-CHANNEL)-(SCREW+NUT)
III	(SUPPORT-CHANNEL)-CONTROL
IV	(SUPPORT-CHANNEL)-WELDING
V	(SUPPORT-CHANNEL)-PIPE
VI	(SUPPORT-CHANNEL)-CONTROL
VII	(SUPPORT-CHANNEL)-CONTROL
VIII	(SUPPORT-CHANNEL)-CONTROL

#### 4. La fonction non-terminale < S > :

Cette fonction floue représente la fonction floue globale de la patte de fixation. Elle est composée de la fonction floue <SUPPORT – CHANNEL > et de la fonction floue <CONTROL >.

Le premier niveau est représenté comme suit :

$$\left[ S / \mu_S \right] \xrightarrow{\mu} \left[ \langle \text{SUPPORT} - \text{CHANNEL} / \mu_{\text{SUPPORT-CHANNEL}} \rangle \right. \\ \left. \langle \text{CONTROL} / \mu_{\text{CONTROL}} \rangle \right]$$

$$J_\alpha = \{1\}, J_\beta = \{2\}.$$

Pour le niveau de fonctions floues de jonction, nous avons quatre *fonctions floues de jonction* comme suit :

$$\begin{bmatrix} \nabla_1 / \mu_{\nabla_1} \\ \nabla_2 / \mu_{\nabla_2} \\ \nabla_3 / \mu_{\nabla_3} \\ \nabla_4 / \mu_{\nabla_4} \end{bmatrix} \xrightarrow{\mu} \begin{bmatrix} \langle \text{III} / \mu_{\text{III}} \rangle & \langle \text{I} / \mu_{\text{I}} \rangle \\ \langle \text{VI} / \mu_{\text{VI}} \rangle & \langle \text{IV} / \mu_{\text{IV}} \rangle \\ \langle \text{VII} / \mu_{\text{VII}} \rangle & \langle \text{III} / \mu_{\text{III}} \rangle \\ \langle \text{VIII} / \mu_{\text{VIII}} \rangle & \langle \text{II} / \mu_{\text{II}} \rangle \end{bmatrix}, I_{\Gamma(\alpha)} = I_{\Gamma(\beta)} = \{4\}$$

Ces quatre *fonctions floues de jonction* sont produites comme suit :

$\nabla_1$  est formée par la *fonction floue de connexion* <III > qui appartient à la fonction floue <SUPPORT – CHANNEL > et de la *fonction floue de connexion* <I > qui appartient à la fonction floue <CONTROL >.

$\nabla_2$  est formée par la *fonction floue de connexion*  $\langle VI \rangle$  qui appartient à la fonction floue  $\langle SUPPORT - CHANNEL \rangle$  et de la *fonction floue de connexion*  $\langle IV \rangle$  qui appartient à la fonction floue  $\langle CONTROL \rangle$ .

$\nabla_3$  est formée par la *fonction floue de connexion*  $\langle VII \rangle$  qui appartient à la fonction floue  $\langle SUPPORT - CHANNEL \rangle$  et de la *fonction floue de connexion*  $\langle III \rangle$  qui appartient à la fonction floue  $\langle CONTROL \rangle$ .

$\nabla_4$  est formée par la *fonction floue de connexion*  $\langle VIII \rangle$  qui appartient à la fonction floue  $\langle SUPPORT - CHANNEL \rangle$  et de la *fonction floue de connexion*  $\langle II \rangle$  qui appartient à la fonction floue  $\langle CONTROL \rangle$ .

Le niveau de fonctions floues de connexion est représenté comme suit :

$$\begin{bmatrix} I / \mu_I \\ II / \mu_{II} \\ III / \mu_{III} \\ IV / \mu_{IV} \end{bmatrix} \xrightarrow{\mu} \begin{bmatrix} \langle I / \mu_I \rangle & \langle 0 / \mu_0 \rangle \\ \langle II / \mu_{II} \rangle & \langle 0 / \mu_0 \rangle \\ \langle IV / \mu_{IV} \rangle & \langle 0 / \mu_0 \rangle \\ \langle V / \mu_V \rangle & \langle 0 / \mu_0 \rangle \end{bmatrix}, I_{\Delta(\alpha)} = I_{\Delta(\beta)} = \{4\}.$$

La fonction non-terminale générée  $\langle S \rangle$  est montrée dans la Figure 3.14. Le Tableau 3.21 donne la correspondance entre les identifiants de fonctions floues de connexion et leurs noms.

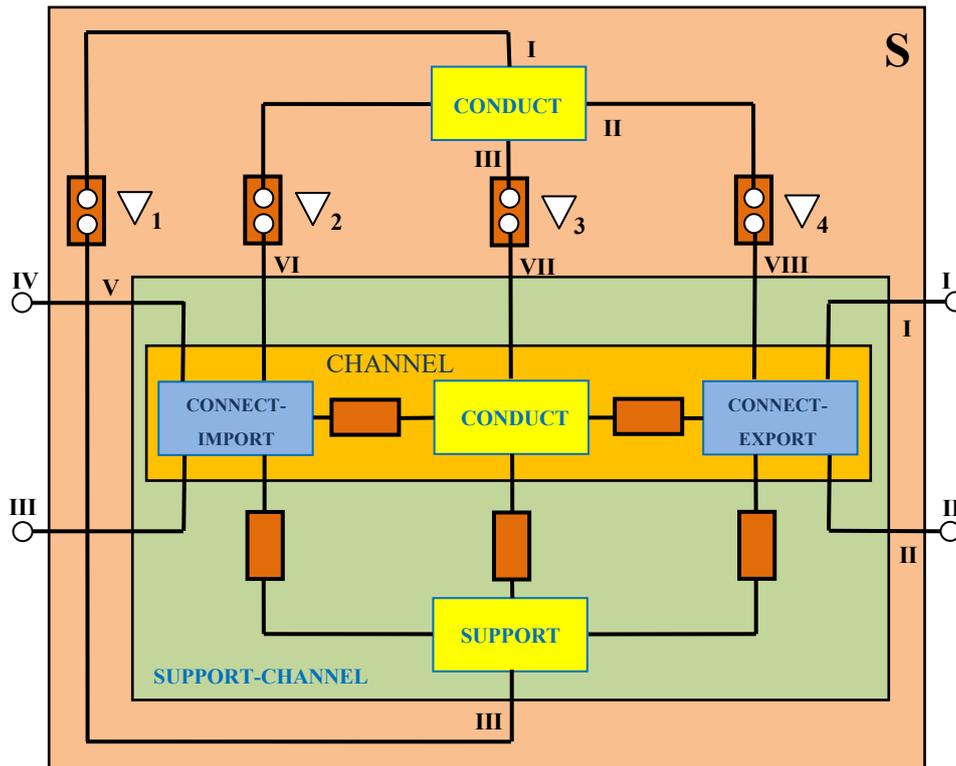


Figure 3.14. La génération de la fonction floue non-terminale <S>

Tableau 3.21. Identifiants de fonctions floues de connexion pour la fonction globale <S>

Identifiants de fonction floue de connexion	Nom de fonction floue de connexion
I	S-FRAME
II	S-(SCREW+NUT)
III	S-WELDING
IV	S-PIPE

Une fois la structure de la fonction floue finale générée (Figure 3.6 et Figure 3.14), utilisant le processus de mise en correspondance entre les spécifications fonctionnelles dans le domaine fonctionnel et des formes dans le domaine physique (équation 1) et les *Grammaires Structurelles Floues*, nous générons plusieurs configurations de la structure de la patte de fixation, comme dans la Figure 3.15.

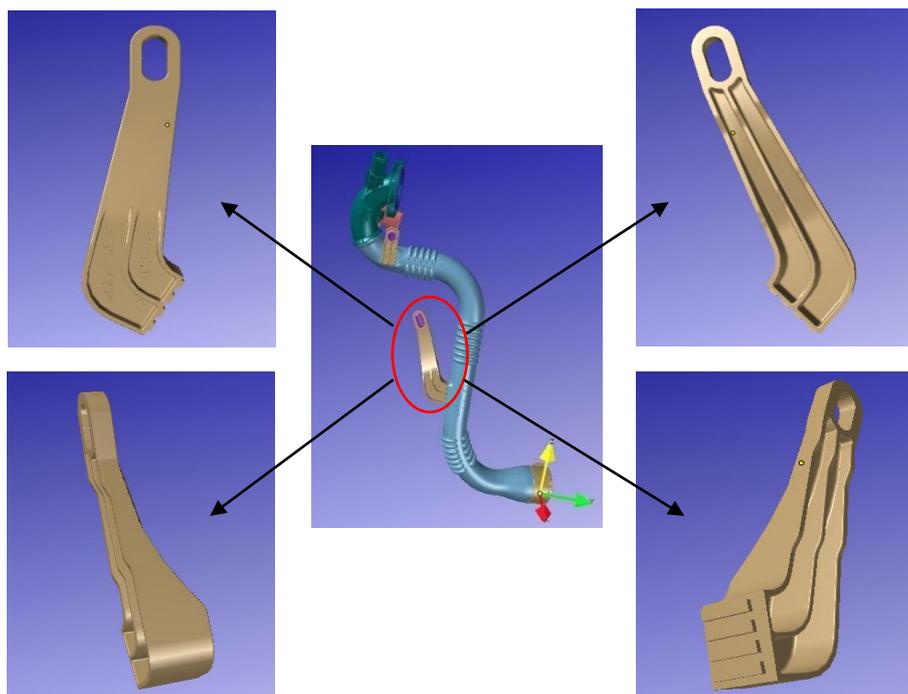


Figure 3.15. Les configurations générées pour la <Patte> Structure

### 3.5. Conclusion

Dans ce chapitre nous avons proposé la représentation et la modélisation fonctionnelle à l'aide des grammaires, à savoir :

- a) la modélisation à base d'une grammaire de configuration fonctionnelle flux-opération
- b) la modélisation à base d'une grammaire de configuration fonctionnelle flux-opération à tête fonctionnelle.
- c) la modélisation sur une grammaire de configuration fonctionnelle multi-niveaux.

La *grammaire de configuration fonctionnelle flux-opération* a été développée à partir des grammaires graphe attribut. La *grammaire de configuration fonctionnelle flux-opération à tête fonctionnelle* à partir de décomposition hiérarchique de la fonction. La *grammaire de configuration fonctionnelle multi-niveaux* a été développée à partir des *grammaires multi-niveaux* (Ostrosi, 1998).

Notre approche de grammaires apporte les contributions suivantes:

- Elle emploie la puissante propriété de représentation graphe qui caractérise les grammaires graphe.
- Elle permet la modélisation et l'inférence des productions sur les différents niveaux des fonctions grâce à une représentation *tête fonctionnelle*.
- La *grammaire de configuration fonctionnelle multi-niveaux* définit la connexion entre les différents niveaux des fonctions par l'intermédiaire des fonctions de connexion. Elle permet la représentation et l'inférence des productions sur les différents niveaux de fonctions.

L'application a montré que les structures (de solutions) générées n'ont pas de sens physique et ne peuvent être validées que seulement rapportées à leurs structures fonctionnelles correspondantes. Cette conclusion est en accord avec la conclusion du deuxième chapitre sur l'aspect suivant : la variété des solutions est générée à partir de la variation du réseau fonctionnel du produit.

Malgré les avantages apportés par l'approche proposée dans la conception pour configuration des familles de produit, elle ne résout que seulement l'espace fonctionnel de conception. Afin de résoudre les problèmes liés à la représentation et à la modélisation des familles de produits, conjointement dans les espaces fonctionnel et structurel, nous proposons, dans le chapitre suivant, une approche de modélisation holonique des configurations.



**CHAPITRE 4**

**MODELISATION HOLONIQUE FLOUE POUR LA**

**CONFIGURATION**



# CHAPITRE 4 : MODELISATION HOLONIQUE FLOUE

## POUR LA CONFIGURATION

### 4.1. Introduction

Dans le chapitre précédent, nous avons vu que les fonctions sont des décompositions et qu'elles définissent une relation d'ordre. Les grammaires fonctionnelles permettent de maîtriser l'espace fonctionnel. Malgré les avantages apportés par l'approche proposée pour la modélisation fonctionnelle, celle-ci ne traite que l'espace fonctionnel de conception. Afin de maîtriser la modélisation des configurations, conjointement dans les espaces fonctionnel et structurel, nous proposons, dans ce chapitre, une approche de modélisation holonique des configurations. Théoriquement et pratiquement, cela permet de maîtriser la continuité-discontinuité du processus de la conception pour la configuration.

Alors, les hypothèses de travail sont les suivantes :

- 1) **Hypothèse coévolution** : les espaces fonctionnels et des solutions co-évoluent. Les structures physiques (solutions) générées n'ont pas de sens physique et ne peuvent être validées que par rapport à leurs structures fonctionnelles correspondantes.
- 2) **Hypothèse holistique** : l'holon permet de représenter l'évolution et la dynamique des deux espaces.
- 3) **Hypothèse d'attracteur** : les attracteurs, *fonctions et/ou solutions*, définissent la trajectoire de l'évolution des deux espaces.

L'holon est un concept très intéressant pour maîtriser la distinction continue-discontinue dans la conception pour la configuration (Issa, et al., 2015). L'holon permet de contrôler la dichotomie entre les parties, et pour tenir compte à la fois de la distribution et de l'intégration d'un organisme intelligent (Valckenaers & Van Brussel, 2005).

Un autre concept important, pour analyser le phénomène de conception pour la configuration, est l'attracteur. Un attracteur est un *Holon Fonctions* ou un *Holon Solutions* vers lequel une conception tend à évoluer.

Nous utilisons le concept de *complétude* et de *discrimination* pour analyser et comprendre la dynamique du processus de configuration. La *complétude* peut être considérée comme la mesure dans laquelle un holon est reconnu pour être pleinement satisfait dans un holon dont il fait partie. La *discrimination* peut être considérée comme la mesure dans laquelle un holon refuse de reconnaître les autres holons dont il ne fait pas partie (Issa, et al., 2015), (Issa, et al., 2014a), (Issa, et al., 2014b).

La logique floue est aussi une partie intégrante de la modélisation holonique. Nous utilisons ce formalisme dans une logique de continuité avec les modèles proposés dans les chapitres 2 et 3.

Ce chapitre est organisé comme suit : dans la deuxième section, la définition des holons flous et leurs propriétés, ainsi que l'approche pour la génération des structures holoniques floues sont proposées. Dans la troisième section, la théorie est suivie par une application pratique. Les conclusions et les perspectives de cette étude sont finalement présentées.

## **4.2. Modélisation holonique floue**

Cette section présente les *Holons Conception Floue*, leurs propriétés étendues dans le domaine flou et la génération des structures des holons.

### **4.2.1. Holons Conception Floue et leur propriétés**

Nous définissons un *Holon Conception Floue* comme un ensemble flou qui fait partie d'un ensemble flou plus vaste, et qui contient des composants plus petits qui sont à leur tour des sous-ensembles flous. Une conception doit être considérée comme une holarchie à plusieurs niveaux de sous-ensembles flous semi-autonomes, branchés à des sous-ensembles flous d'un ordre inférieur, et ainsi de suite, pour former une structure holonique floue. Chaque sous-ensemble flou à l'intérieur de l'arbre holarchique possède deux propriétés :

- (a) il est un ensemble par rapport à ses propres éléments constitutifs,
- (b) il est une partie de l'ensemble plus large dans la holarchie.

L'une des exigences essentielles de l'Holon Conception Floue est la capacité pour les actions indépendantes. Ainsi, lorsque plusieurs éléments de l'Holon Conception Floue sont définis sur le même substrat, à travers leur interaction entre eux, souvent, ils peuvent se retrouver dans des conflits.

Le conflit entre ces différents éléments peut être spatialement organisé dans une configuration structurellement stable, lui-même régi par un substrat de niveau supérieur. Ainsi, un Holon Conception Floue est caractérisé par deux types simultanés de relations interdépendantes: (1) la relation de distribution, et (2) la relation d'interaction.

Le terme « relation de distribution » définit la répartition des rôles entre les Holons Fonctions Floues et les Holons Solutions Floues. Un Holon Fonctions Floues qualifie ce que le Holon Solutions Floues fait ou devrait faire, quand il agit ou interagit avec son environnement. Un Holon Solutions Floues qualifie la disposition floue d'un artefact.

Le terme « relation d'interaction » définit la collaboration entre les Holons Fonctions Floues et les Holons Solutions Floues. Les Holons Fonctions Floues et les Holons Solutions Floues interagissent dans un environnement de conception floue. Ils sont intégrés dans un *Holon Conception Floue*, de telle manière que chaque holon influence l'autre holon, et dans le même temps est influencé par l'autre holon.

Une conception holarchique peut être représentée par une structure d'holon flou défini par :

1. Holons flous de fonction représentés par un réseau holonique flou des fonctions floues  $\tilde{F} = \{(f_i, \mu_{\tilde{F}}(f_i))\}$  sur  $F$  avec la fonction d'appartenance  $\mu_{\tilde{F}}(f_i)$ ,
2. Holons flous de solution représentés par un réseau holonique flou de solutions floues  $\tilde{S} = \{(s_i, \mu_{\tilde{S}}(s_i))\}$  sur  $S$  avec la fonction d'appartenance  $\mu_{\tilde{S}}(s_i)$ , et
3. Holon Conception Floue, qui représente la relation entre les Holons Fonctions Floues et les Holons Solutions Floues, construite à partir de la relation floue entre les fonctions et solutions  $\tilde{\mathfrak{R}}_3 = (F, S)$ .

Le concept d'*Holon Conception Floue* signifie la recherche et la création de « *Holon Conception Floue dans un Holon Conception Floue* ». Ainsi, le concept d'Holon Conception Floue permet de structurer à la fois l'espace fonctionnel et l'espace

structurel en différents niveaux de « *Holons Conception Floue dans un Holon Conception Floue* », ou autrement en différents niveaux de « *modules intelligents dans le module intelligent* ». Les holons module peuvent largement se structurer suivant le principe que les relations *intra-holon* sont de plus en plus intensives que les relations *inter-holons*.

L'hypothèse d'attracteur postule que la dynamique, et par conséquent la forme des modules, dépendent de quelques Holons Fonctions Floues ou Holons Solutions Floues. Ils sont appelés '*attracteurs flous*'.

Alors, les propriétés relatives à la formation des « *Holons Conception Floue dans un Holon Conception Floue* » sont les suivantes :

- *Propriété 1* : cette propriété postule qu'un *module flou* est un *Holon Conception Floue*. Cette propriété est utilisée pour la recherche « *des modules flous dans un module flou* ».
- *Propriété 2* : une fonction floue (respectivement solution floue) est un Holon Fonctions Floues (respectivement un Holon Solutions Floues). Un *Holon Conception Floue* est défini par deux holons de base : l'Holon Fonctions Floues et l'Holon Solutions Floues. Cette propriété implique que si un Holon Fonctions Floues et un Holon Solutions Floues sont en relation, alors ils peuvent être couplés dans un *Holon Conception Floue*.
- *Propriété 3* : un attracteur flou est un Holon Fonctions Floues (ou un Holon Solutions Floues) vers lequel la conception tend à évoluer. Cette propriété stipule qu'un Holon Solutions Floues (respectivement Holon Fonctions Floues), défini comme l'attracteur flou initial, doit être d'abord affecté à un *module flou*.
- *Propriété 4* : un attracteur flou exerce une *force d'attraction*, soit sur les Holons Fonctions Floues, soit sur les Holons Solutions Floues.
- *Propriété 5* : cette propriété stipule que la contribution d'un Holon Fonctions Floues ou d'un Holon Solutions Floues, à un module flou, doit être supérieure ou égale à une valeur acceptable de la force d'attraction, appelée « *Force d'Attraction Acceptable* », '*Acceptable Force of Attraction*' (*AFA*). La *Force d'Attraction Acceptable* varie entre 0 et 1. Si la valeur de la *Force d'Attraction*

*Acceptable* est importante, par exemple égale à 1, alors l'attraction entre les holons est considérée maximale.

- *Propriété 6* : cette propriété stipule que la contribution d'un Holon Fonctions Floues  $i$  (respectivement Holon Solutions Floues  $j$ ), à son propre module flou, doit être supérieure à sa contribution à tous les autres modules flous.
- *Propriété 7* : cette propriété stipule que la construction des modules flous équivalents repose sur la possibilité que l'Holon Fonctions Floues  $i$  (respectivement Holon Solutions Floues  $j$ ) doive être en mesure de contribuer, de même façon, à plusieurs modules flous.
- *Propriété 8* : cette propriété stipule qu'un concepteur peut construire une relation de préférence dans l'ensemble des Holons Fonctions Floues (respectivement Holons Solutions Floues). Dans ce cas, l'Holon Fonctions Floues  $i$  (respectivement Holon Solutions Floues de  $j$ ) peut être pondéré par le poids  $w_i$  (respectivement  $w_j$ ). En outre, les limites d'acceptabilité pour les valeurs des variables sont familières aux ingénieurs dans l'industrie (Ward, et al., 1994). Pour considérer les degrés de préférences du concepteur pour les éléments dans un ensemble flou, les intervalles acceptables  $\alpha$ -levels, sur lesquels la préférence du concepteur est égale ou supérieure à une valeur de seuil préférée, peuvent être utilisés.

#### **4.2.2. Formation des modules flous : Holons Conception Floue**

Un algorithme, qui génère des structures fractales, est adopté pour la création des «modules flous dans un module flou» (Ostrosi, et al., 2003). Les données d'entrée sont préparées par l'Agent d'Entrée (propriété 8). Un Agent de Contrôle gère la formation des *modules flous*, que nous rappelons qu'ils sont des holons. Il varie la *Force d'Attraction Acceptable (AFA)* (propriété 4). L'Agent de Contrôle peut faire varier la valeur de la *Force d'Attraction Acceptable (AFA)* en fonction du résultat de la sortie. L'Agent Processeur forme les *modules flous*. Il effectue les opérations de sélection de l'*Attracteur flou* (propriété 3) et l'opération de *Couplage* (propriété 2), il vérifie la *Condition de l'Attraction* (propriété 5) et la *Condition du Transfert* résultant de la *compétition entre les modules flous* (propriété 6).

Ainsi, la formation des modules flous est réalisée dans les étapes suivantes :

➤ **Étape 1 : (Identification de l'Attracteur flou)**

*Identifier l'Holon Solutions Floues  $j$  comme un attracteur qui crée probablement un nouveau module flou (propriété 3).*

➤ **Étape 2 : (Attraction des Holons Fonctions Floues)**

*Tous les Holons Fonctions Floues  $i$ , dépendants de l'attracteur flou  $j$ , sont examinés pour le couplage (propriété 4).*

➤ **Étape 3 : (Attraction des Holons Solutions Floues)**

*Tous les Holons Solutions Floues  $j$ , requis par l'Holon Fonctions Floues  $i$  dans le module flou, sont considérés pour le couplage (propriété 2). Si l'Holon Solutions Floues  $j$  vérifie la condition de l'attraction (propriété 5), alors l'Holon Solutions Floues  $j$  est affecté dans le module flou. Sinon, il est rejeté.*

➤ **Étape 4 : (Modules flous équivalents et Transfert)**

*La propriété 7 et la propriété 6 sont vérifiées. Si l'Holon Fonctions Floues  $i$  est transféré d'un ancien module flou au nouveau du module flou, alors l'ancien module flou est dissout. Tous les Holons Fonctions Floues  $i$  et tous les Holons Solutions Floues  $j$  dans les anciens modules deviennent éligibles pour créer un nouveau module flou.*

➤ **Étape 5 : (Nouveaux modules flous)**

*Si un Attracteur flou se trouve à l'étape 1, alors les étapes 2-4 sont répétées. Dans le cas contraire, la formation des modules flous est terminée, et les résultats sont transmis à l'Agent de Sortie.*

L'Agent de Sortie prépare les entrées pour l'Agent d'Entrée. Ainsi, il prépare les conditions pour la création des « *modules flou dans un module de conception floue* » (propriété 1). Dans chaque module flou, les Holons Fonctions Floues sont réduits dans un Holon Fonctions Floues, et les Holons Solutions Floues sont réduits dans un Holon Solutions Floues. Ainsi, un Holon Fonctions Floues (respectivement Holon Solutions Floues) est un ensemble flou qui fait partie d'un ensemble flou plus vaste. Si une nouvelle relation entre les Holons Fonctions Floues et les Holons Solutions Floues est

trouvée, alors cette relation floue sera considérée comme l'entrée, donc un nouveau cycle commence. Sinon, l'exécution est terminée.

### 4.2.3. Comportement de création des Holons Conception Floue

Le type typologique de l'attracteur flou n'est pas stable. Nous distinguons six types d'Attracteur flou. Ces types d'Attracteur flou, avec leurs propriétés, sont illustrés dans le Tableau 4.1.

Tableau 4.1. Les types d'Attracteur flou

Type d'Attracteur Flou	Propriétés
1 Attracteur Possible (Attracteur Candidat)	Chaque attracteur qui satisfait à la règle de la sélection
2 Attracteur Fort (Attracteur Admissible, Eligible, Acceptable)	Chaque Attracteur Possible, ce qui satisfait à la condition de l'AFA (propriété 6)
3 Attracteur Constitutif	Chaque Attracteur Fort qui crée des modules
4 Attracteur Insuffisant	Chaque Attracteur Fort qui n'est pas capable de créer des modules
5 Attracteur Détruit	Chaque Attracteur Fort dont le module est détruit
6 Attracteur Faible (Attracteur non Admissible, non Eligible, non Acceptable)	Chaque Attracteur Possible qui ne satisfait pas à la condition de l'AFA

En considérant la création des modules flous comme un indicateur de l'état du processus de la conception pour la configuration, nous étudions comment le comportement de ce processus varie en fonction des variables de contrôle. Nous considérerons deux variables de contrôle : la *Complétude* et la *Discrimination*.

Si le module devrait être complet à l'égard des Holons Solutions Floues, mais que la discrimination en termes des Holons Fonctions Floues n'est pas requise, alors la création des modules flous, autour des attracteurs de type Holons Solutions Floues, est attendue. En revanche, si les modules flous devraient être complets à l'égard des Holons Fonctions Floues, mais que la discrimination en termes des Holons Solutions Floues

n'est pas requise, alors la création des modules autour des attracteurs de type Holons Fonctions Floues est attendue.

Si le module doit être :

- a) complet à la fois à l'égard des Holons Solutions Floues et des Holons Fonctions Floues, ou
- b) complet à l'égard des Holons Solutions Floues et discriminant en termes des Holons Fonctions Floues,

alors, les deux facteurs de contrôle semblent être en conflit.

Les états possibles de comportement du processus de configuration sont donc les suivants :

- 1) *Impossibilité* : caractérisée par l'impossibilité de la création de module flou par l'attracteur flou ;
- 2) *Création-Développement* : caractérisée par la création et le développement naturel du module flou ;
- 3) *Création-Destruction* : caractérisée parfois par la création des modules flous et parfois par la destruction des modules flous ;
- 4) *Échec* : caractérisé par l'interruption du développement du module flou et de la destruction du module flou déjà créé.

Ces quatre états de comportement des Holons Conception Floue, donc de la modularisation multi-échelle, et leurs caractéristiques, sont illustrés dans le Tableau 4.2.

**Tableau 4.2. Types d'état de comportement d'Holon Conception Floue**

Etat	Caractéristiques
Impossibilité	L' <i>Attracteur Possible</i> qui ne satisfait pas l'AFA, par conséquent, il ne peut pas créer un module.
Création-Développement	1. Un module x est créé et développé par un <i>Attracteur Constitutif</i> . 2. Il n'y a pas de transfert des modules considérés x à un autre ancien module.
Création-Destruction ou (Création-modification)	1. Un module x est créé et développé par un <i>Attracteur Constitutif</i> . 2. Un module y est créé et développé par un <i>Attracteur Constitutif</i> . 3. Il y a de transfert de fonctions (solutions) du module y au module x.
Echec	1. Un module x est tenté d'être créé par un <i>Attracteur Insuffisant</i> .

Soit un ensemble flou de fonctions floues  $\tilde{F} = \{(f_i, \mu_{\tilde{F}}(f_i))\}$ , sur  $F = \{f_i\}$ ,  $i \in I_F$ ,  $I_F = \{1, 2, \dots, m\}$ ,  $m=23$ , avec une fonction d'appartenance  $\mu_{\tilde{F}}(f)$ , et un ensemble flou de solutions floues  $\tilde{S} = \{(s_i, \mu_{\tilde{S}}(s_i))\}$ , sur  $S = \{s_i\}$ ,  $i \in I_S$ ,  $I_S = \{1, 2, \dots, q\}$ ,  $q=25$ , avec une fonction d'appartenance  $\mu_{\tilde{S}}(f)$  et une relation floue entre les fonctions floues et les solutions floues  $\tilde{\mathfrak{R}}_3 = (F, S)$ , (Figure 4.1). La fonction d'appartenance est définie dans  $[0, 1]$ , et indique dans quel degré une fonction de produit peut être satisfaite par l'ensemble des solutions physiques alternatives. Les Holons Conception Floue sont trouvés par l'identification des attracteurs de type « fonctions floues », ainsi que des attracteurs de type « solutions floues ».

	S 1	S 2	S 3	S 4	S 5	S 6	S 7	S 8	S 9	S 10	S 11	S 12	S 13	S 14	S 15	S 16	S 17	S 18	S 19	S 20	S 21	S 22	S 23	S 24	S 25
F 1	0.95	0.1	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1	0.2	0.1	0.2	0.2	0.2	0.8	0.35	0.2	0.35	0.35	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
F 2	0.2	0.35	0.2	0.35	0.2	0.1	0.35	0.35	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.35	0.35	0.95	0.2	0.65	0.35	0.35	0.2	0.1	0.2	0.1	0.2
F 3	0.1	0.95	0.2	0.1	0.1	0.2	0.2	0.2	0.1	0.35	0.1	0.1	0.2	0.2	0.35	0.2	0.65	0.1	0.2	0.2	0.1	0.2	0.1	0.1	0.35
F 4	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1	0.2	0.1	0.35	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	0.2	0.8	0.2	0.2	0.1	0.35	0.2	0.95	0.2	0.2	0.2
F 5	0.1	0.35	0.2	0.35	0.2	0.8	0.35	0.35	0.1	0.2	0.1	0.1	0.2	0.35	0.35	0.95	0.2	0.1	0.2	0.35	0.35	0.2	0.2	0.2	0.2
F 6	0.1	0.2	0.35	0.35	0.1	0.8	0.1	0.1	0.35	0.2	0.1	0.2	0.1	0.65	0.2	0.2	0.2	0.35	0.2	0.35	0.65	0.2	0.1	0.2	0.2
F 7	0.2	0.2	0.2	0.35	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1	0.2	0.1	0.2	0.35	0.1	0.2	0.8	0.2	0.2	0.1	0.8	0.2	0.2	0.2	0.1
F 8	0.2	0.2	0.35	0.35	0.2	0.8	0.35	0.2	0.35	0.35	0.1	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.8	0.2	0.2	0.8	0.1	0.2	0.35
F 9	0.35	0.2	0.35	0.2	0.1	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.95	0.1	0.2	0.8	0.2	0.95	0.2	0.1	0.8	0.2	0.2	0.2	0.2
F 10	0.2	0.2	0.2	0.1	0.35	0.2	0.2	0.2	0.65	0.2	0.35	0.35	0.65	0.2	0.2	0.2	0.65	0.8	0.65	0.2	0.65	0.8	0.1	0.1	0.2
F 11	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.95	0.35	0.2	0.35	0.2	0.8	0.35	0.65	0.1	0.2	0.95	0.8	0.2	0.95	0.2	0.95	0.8	0.35	0.2	0.2
F 12	0.2	0.2	0.2	0.95	0.2	0.2	0.35	0.2	0.2	0.35	0.1	0.2	0.2	0.1	0.2	0.2	0.2	0.65	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1	0.35
F 13	0.2	0.35	0.95	0.2	0.35	0.2	0.1	0.2	0.2	0.2	0.2	0.35	0.2	0.2	0.2	0.2	0.65	0.1	0.35	0.35	0.2	0.35	0.35	0.2	0.2
F 14	0.1	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.35	0.35	0.35	0.2	0.8	0.1	0.65	0.2	0.35	0.2	0.2	0.35	0.2	0.2	0.2
F 15	0.2	0.35	0.2	0.1	0.2	0.65	0.1	0.1	0.95	0.35	0.8	0.95	0.65	0.8	0.35	0.2	0.2	0.8	0.8	0.2	0.2	0.8	0.2	0.2	0.35
F 16	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.35	0.2	0.2	0.95	0.2	0.35	0.2	0.1	0.2	0.2	0.2	0.95	0.2	0.2	0.2	0.1	0.2
F 17	0.2	0.1	0.2	0.2	0.65	0.1	0.1	0.2	0.35	0.2	0.2	0.95	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.35	0.2	0.2	0.35	0.35	0.35	0.2	0.1
F 18	0.2	0.2	0.1	0.1	0.95	0.2	0.95	0.35	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.35	0.35	0.2	0.2	0.2	0.35	0.2
F 19	0.2	0.35	0.2	0.35	0.35	0.35	0.8	0.1	0.2	0.2	0.1	0.2	0.1	0.35	0.35	0.2	0.2	0.35	0.35	0.35	0.2	0.35	0.2	0.95	0.2
F 20	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.8	0.1	0.2	0.1	0.2	0.1	0.1	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.35	0.35	0.2	0.1	0.2	0.35	0.8
F 21	0.2	0.35	0.35	0.2	0.1	0.2	0.1	0.1	0.2	0.2	0.2	0.95	0.2	0.35	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.95	0.2	0.2	0.8	0.2	0.1
F 22	0.2	0.35	0.1	0.35	0.95	0.35	0.95	0.35	0.2	0.35	0.1	0.2	0.2	0.35	0.35	0.1	0.2	0.35	0.35	0.35	0.2	0.35	0.2	0.2	0.35
F 23	0.2	0.1	0.2	0.35	0.2	0.2	0.1	0.95	0.35	0.95	0.2	0.35	0.35	0.35	0.35	0.2	0.35	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.35	0.2

Figure 4.1. Aperçu de la matrice relationnelle floue [F,S] de premier cas d'application

Afin d'évaluer la cote de performance de l'intervalle acceptable ( $\alpha$ -level) et la Force d'Attraction Acceptable (AFA), des valeurs linguistiques sont utilisées. Elles appartiennent à un ensemble  $S = \{s_0, s_1, \dots, s_T\}$ . L'ensemble suivant est utilisé pour exprimer l'évaluation de concepteur :  $S = \{s_0 = \text{worst}, s_1 = \text{very poor}, s_2 = \text{poor}, s_3 = \text{fair}, s_4 = \text{good}, s_5 = \text{very good}, s_6 = \text{excellent}\}$ . Un concepteur choisit une valeur linguistique de l'ensemble  $S$  pour exprimer son évaluation. Le Tableau 4.3 indique la valeur de

référence, ainsi que la valeur d'intervalle pour chaque valeur linguistique (Ostrosi, et al., 2012b). De cette manière, le concepteur peut attribuer un degré d'appartenance ou un degré de croyance à l'*intervalle acceptable* ( $\alpha$ -level), et la *Force d'Attraction Acceptable* (AFA).

**Tableau 4.3. Les Valeurs Linguistiques**

Valeur Linguistique	Valeur de Référence	Intervalle Floue
Worst (pire)	0.05	(0, 0.15)
very poor (très pauvre)	0.2	(0.1, 0.3)
poor (pauvre)	0.35	(0.2, 0.5)
fair (acceptable)	0.5	(0.3, 0.7)
good (bien)	0.65	(0.5, 0.8)
very good (très bien)	0.8	(0.7, 0.9)
excellent (excellent)	0.95	(0.85, 1.0)

Le logiciel développé sous MatLab : *Systèmes d'Aide à la Modélisation Holonique* (Issa & Ostrosi, 2016) implémente l'algorithme de formation des modules flous : Holons Conception Floue. Quelques résultats de simulation, pour le cas d'application de la matrice d'entrée [23,25], sont illustrés dans la Figure 4.2, la Figure 4.3, la Figure 4.4 et la Figure 4.5. Ces résultats sont obtenus à partir des différentes valeurs de l'*Intervalle Acceptable* ( $\alpha$ -levels) et des différentes valeurs de la *Force d'Attraction Acceptable* (AFA), et en utilisant « *Maximum de relation* » comme règle de la sélection de l'attracteur. Pour chaque niveau des Holons Conception Floue, lequel représente le *niveau de modularisation*, les Attracteurs Flous Possibles, les Attracteurs Flous Forts et les Etats de comportement sont présentés.

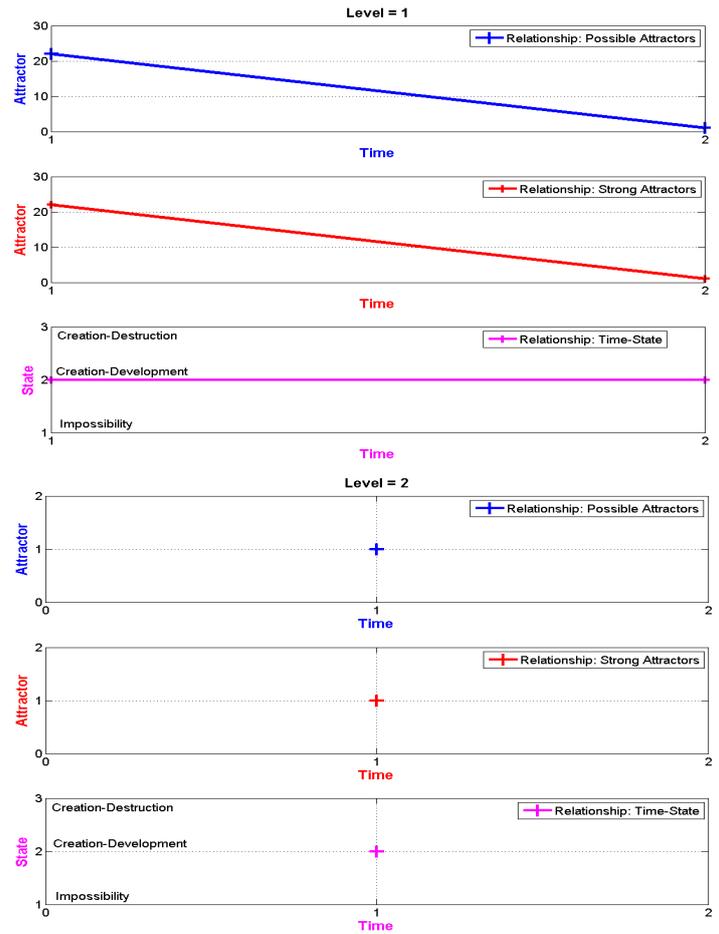
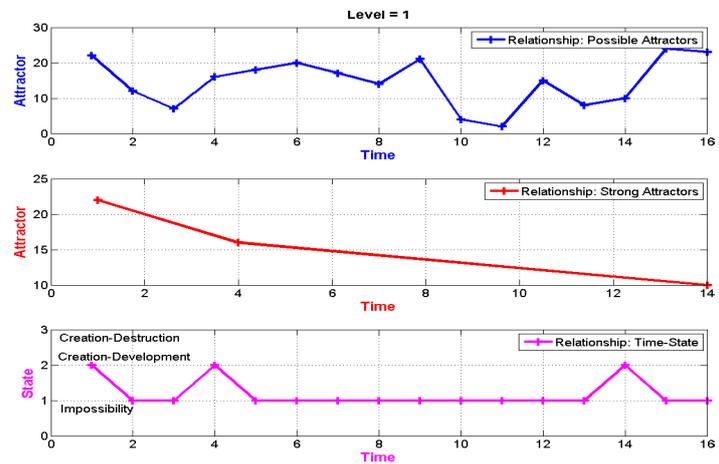


Figure 4.2. Les niveaux d'Holon Conception Floue avec  $\alpha$ -level= 0.3 et AFA=0.1



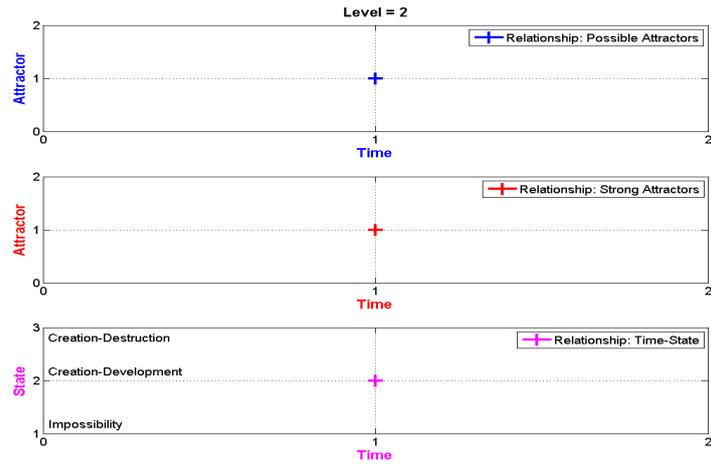


Figure 4.3. Les niveaux d'Holon Conception Floue avec  $\alpha$ -level= 0.3 et AFA=0.6

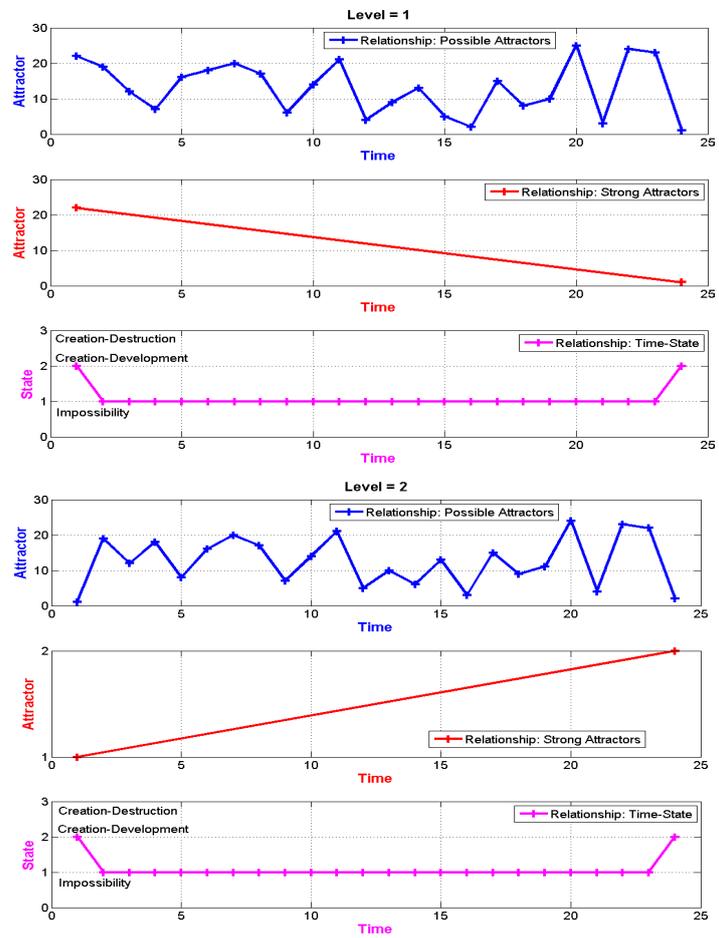


Figure 4.4. Les niveaux d'Holon Conception Floue avec  $\alpha$ -level= 0.3 et AFA=0.9

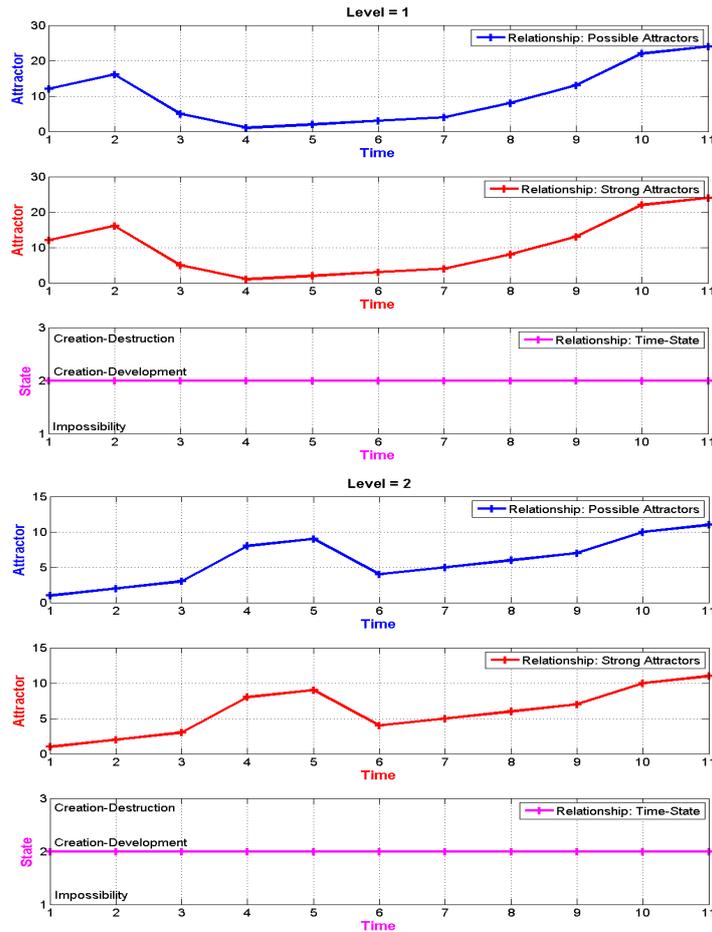


Figure 4.5. Les niveaux d'Holon Conception Floue avec  $\alpha$ -level= 0.9 pour AFA=0.1, 0.6, 0.9

La Figure 4.6 montre la variation des attracteurs potentiels pour la valeur de l'Intervalle Acceptable  $\alpha$ -level égale à 0,6 et la valeur de la Force d'Attraction Acceptable AFA égale à 0,1. Il y a un seul état de comportement : *Création-Développement*. L'Holon Conception Floue est créé et développé autour des attracteurs de type solutions floues. Par conséquent, ces attracteurs sont forts.

Holon Level 3				Holon Level 2																Holon Level 1																Holon Level 0																Axiom																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
F3_1				F2_1				F1_1				F				S 1				S 2				S 3				S 4				S 5				S 6				S 7				S 8				S 9				S 10				S 11				S 12				S 13				S 14				S 15				S 16				S 17				S 18				S 19				S 20				S 21				S 22				S 23				S 24				S 25				S 26				S 27				S 28				S 29				S 30				S 31				S 32				S 33				S 34				S 35				S 36				S 37				S 38				S 39				S 40				S 41				S 42				S 43				S 44				S 45				S 46				S 47				S 48				S 49				S 50				S 51				S 52				S 53				S 54				S 55				S 56				S 57				S 58				S 59				S 60				S 61				S 62				S 63				S 64				S 65				S 66				S 67				S 68				S 69				S 70				S 71				S 72				S 73				S 74				S 75				S 76				S 77				S 78				S 79				S 80				S 81				S 82				S 83				S 84				S 85				S 86				S 87				S 88				S 89				S 90				S 91				S 92				S 93				S 94				S 95				S 96				S 97				S 98				S 99				S 100				S 101				S 102				S 103				S 104				S 105				S 106				S 107				S 108				S 109				S 110				S 111				S 112				S 113				S 114				S 115				S 116				S 117				S 118				S 119				S 120				S 121				S 122				S 123				S 124				S 125				S 126				S 127				S 128				S 129				S 130				S 131				S 132				S 133				S 134				S 135				S 136				S 137				S 138				S 139				S 140				S 141				S 142				S 143				S 144				S 145				S 146				S 147				S 148				S 149				S 150				S 151				S 152				S 153				S 154				S 155				S 156				S 157				S 158				S 159				S 160				S 161				S 162				S 163				S 164				S 165				S 166				S 167				S 168				S 169				S 170				S 171				S 172				S 173				S 174				S 175				S 176				S 177				S 178				S 179				S 180				S 181				S 182				S 183				S 184				S 185				S 186				S 187				S 188				S 189				S 190				S 191				S 192				S 193				S 194				S 195				S 196				S 197				S 198				S 199				S 200				S 201				S 202				S 203				S 204				S 205				S 206				S 207				S 208				S 209				S 210				S 211				S 212				S 213				S 214				S 215				S 216				S 217				S 218				S 219				S 220				S 221				S 222				S 223				S 224				S 225				S 226				S 227				S 228				S 229				S 230				S 231				S 232				S 233				S 234				S 235				S 236				S 237				S 238				S 239				S 240				S 241				S 242				S 243				S 244				S 245				S 246				S 247				S 248				S 249				S 250				S 251				S 252				S 253				S 254				S 255				S 256				S 257				S 258				S 259				S 260				S 261				S 262				S 263				S 264				S 265				S 266				S 267				S 268				S 269				S 270				S 271				S 272				S 273				S 274				S 275				S 276				S 277				S 278				S 279				S 280				S 281				S 282				S 283				S 284				S 285				S 286				S 287				S 288				S 289				S 290				S 291				S 292				S 293				S 294				S 295				S 296				S 297				S 298				S 299				S 300				S 301				S 302				S 303				S 304				S 305				S 306				S 307				S 308				S 309				S 310				S 311				S 312				S 313				S 314				S 315				S 316				S 317				S 318				S 319				S 320				S 321				S 322				S 323				S 324				S 325				S 326				S 327				S 328				S 329				S 330				S 331				S 332				S 333				S 334				S 335				S 336				S 337				S 338				S 339				S 340				S 341				S 342				S 343				S 344				S 345				S 346				S 347				S 348				S 349				S 350				S 351				S 352				S 353				S 354				S 355				S 356				S 357				S 358				S 359				S 360				S 361				S 362				S 363				S 364				S 365				S 366				S 367				S 368				S 369				S 370				S 371				S 372				S 373				S 374				S 375				S 376				S 377				S 378				S 379				S 380				S 381				S 382				S 383				S 384				S 385				S 386				S 387				S 388				S 389				S 390				S 391				S 392				S 393				S 394				S 395				S 396				S 397				S 398				S 399				S 400				S 401				S 402				S 403				S 404				S 405				S 406				S 407				S 408				S 409				S 410				S 411				S 412				S 413				S 414				S 415				S 416				S 417				S 418				S 419				S 420				S 421				S 422				S 423				S 424				S 425				S 426				S 427				S 428				S 429				S 430				S 431				S 432				S 433				S 434				S 435				S 436				S 437				S 438				S 439				S 440				S 441				S 442				S 443				S 444				S 445				S 446				S 447				S 448				S 449				S 450				S 451				S 452				S 453				S 454				S 455				S 456				S 457				S 458				S 459				S 460				S 461				S 462				S 463				S 464				S 465				S 466				S 467				S 468				S 469				S 470				S 471				S 472				S 473				S 474				S 475				S 476				S 477				S 478				S 479				S 480				S 481				S 482				S 483				S 484				S 485				S 486				S 487				S 488				S 489				S 490				S 491				S 492				S 493				S 494				S 495				S 496				S 497				S 498				S 499				S 500				S 501				S 502				S 503				S 504				S 505				S 506				S 507				S 508				S 509				S 510				S 511				S 512				S 513				S 514				S 515				S 516				S 517				S 518				S 519				S 520				S 521				S 522				S 523				S 524				S 525				S 526				S 527				S 528				S 529				S 530				S 531				S 532				S 533				S 534				S 535				S 536				S 537				S 538				S 539				S 540				S 541				S 542				S 543				S 544				S 545				S 546				S 547				S 548				S 549				S 550				S 551				S 552				S 553				S 554				S 555				S 556				S 557				S 558				S 559				S 560				S 561				S 562				S 563				S 564				S 565				S 566				S 567				S 568				S 569				S 570				S 571				S 572				S 573				S 574				S 575				S 576				S 577				S 578				S 579				S 580				S 581				S 582				S 583				S 584				S 585				S 586				S 587				S 588				S 589				S 590				S 591				S 592				S 593				S 594				S 595				S 596				S 597				S 598				S 599				S 600				S 601				S 602				S 603				S 604				S 605				S 606				S 607				S 608				S 609				S 610				S 611				S 612				S 613				S 614				S 615				S 616				S 617				S 618				S 619				S 620				S 621				S 622				S 623				S 624				S 625				S 626				S 627				S 628				S 629				S 630				S 631				S 632				S 633				S 634				S 635				S 636				S 637				S 638				S 639				S 640				S 641				S 642				S 643				S 644				S 645				S 646				S 647				S 648				S 649				S 650				S 651				S 652				S 653				S 654				S 655				S 656				S 657				S 658				S 659				S 660				S 661				S 662				S 663				S 664				S 665				S 666				S 667				S 668				S 669				S 670				S 671				S 672				S 673				S 674				S 675				S 676				S 677				S 678				S 679				S 680				S 681				S 682				S 683				S 684				S 685				S 686				S 687				S 688				S 689				S 690				S 691				S 692				S 693				S 694				S 695				S 696				S 697				S 698				S 699				S 700				S 701				S 702				S 703				S 704				S 705				S 706				S 707				S 708				S 709				S 710				S 711				S 712				S 713				S 714				S 715				S 716				S 717				S 718				S 719				S 720				S 721				S 722				S 723				S 724				S 725				S 726				S 727				S 728				S 729				S 730				S 731				S 732				S 733				S 734				S 735				S 736				S 737				S 738				S 739				S 740				S 741				S 742				S 743				S 744				S 745				S 746				S 747				S 748				S 749				S 750				S 751				S 752				S 753				S 754				S 755				S 756				S 757				S 758				S 759				S 760				S 761				S 762				S 763				S 764				S 765				S 766				S 767				S 768				S 769				S 770				S 771				S 772				S 773				S 774				S 775				S 776				S 777				S 778				S 779				S 780				S 781				S 782				S 783				S 784				S 785				S 786				S 787				S 788				S 789				S 790				S 791				S 792				S 793				S 794				S 795				S 796				S 797				S 798				S 799				S 800				S 801				S 802				S 803				S 804				S 805				S 806				S 807				S 808				S 809				S 810				S 811				S 812				S 813				S 814				S 815				S 816				S 817				S 818				S 819				S 820				S 821				S 822				S 823				S 824				S 825				S 826				S 827				S 828				S 829				S 830				S 831				S 832				S 833				S 834				S 835				S 836				S 837				S 838				S 839				S 840				S 841				S 842				S 843				S 844				S 845				S 846				S 847				S 848				S 849				S 850				S 851				S 852				S 853				S 854				S 855				S 856				S 857				S 858				S 859				S 860				S 861				S 862				S 863				S 864				S 865				S 866				S 867				S 868				S 869				S 870				S 871				S 872				S 873				S 874				S 875				S 876				S 877				S 878				S 879				S 880			

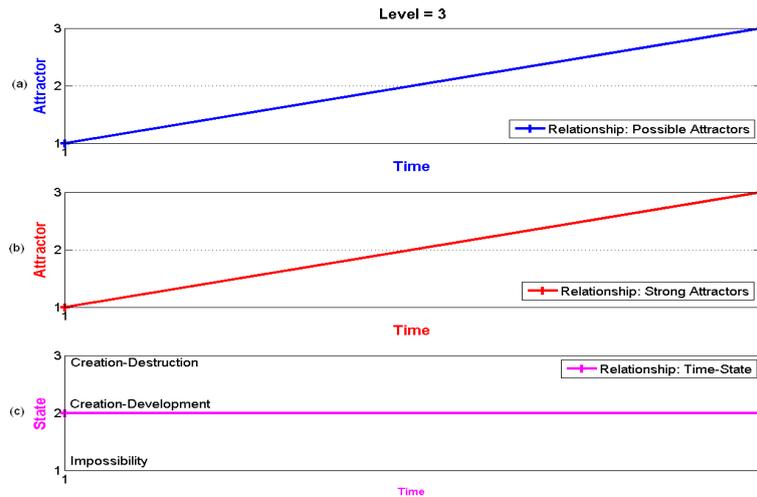


Figure 4.6. Trois niveaux d'Holon Conception Floue avec  $AFA = 0,1$ . Pour chaque niveau : (a) Attracteurs flous possibles; (b) Attracteurs flous forts; (c) Les États.

Le Tableau 4.4 et le Tableau 4.5 montrent respectivement les données d'entrée fournies par l'Agent d'Entrée et les résultats de sortie pour la valeur de l'*Intervalle Acceptable  $\alpha$ -level* égale à 0,6, et la valeur de la *Force d'Attraction Acceptable AFA* égale à 0,1.

Tableau 4.4. Les entrées pour l'Holon Conception Floue ( $\alpha$ -level = 0.6 et AFA = 0,1)

Type of Fuzzy Attractor is:	<input type="checkbox"/> Fuzzy Function Holon	<input checked="" type="checkbox"/> Fuzzy Solution Holon
Selection Rule	<input checked="" type="checkbox"/> Maximum	<input type="checkbox"/> Minimum
Fuzzy Attractor Identification is based on:	<input checked="" type="checkbox"/> Fuzzy Function-Solution Relationship	<input type="checkbox"/> Designer Know-How
Non-assigned fuzzy function holon is:	<input type="checkbox"/> Assigned to a exceptional fuzzy design holon	<input checked="" type="checkbox"/> Defined as singleton fuzzy function holon
Non-admitted fuzzy solution holon is:	<input type="checkbox"/> Assigned to a common fuzzy design holon	<input checked="" type="checkbox"/> Defined as singleton fuzzy solution holon
Condition of Attraction (AFA) is:	<input checked="" type="checkbox"/> Constant, Value is: 0.1	<input type="checkbox"/> Evolutive , Values are:
Acceptable interval $\alpha$ -level is	<input checked="" type="checkbox"/> Constant, Value is: 0.6	<input type="checkbox"/> Evolutive , Values are
Condition of Transfer is:	<input checked="" type="checkbox"/> Active	<input type="checkbox"/> Non-Active

Tableau 4.5. Les résultats de l'Holon Conception Floue ( $\alpha$ -level = 0.6 et AFA = 0,1)

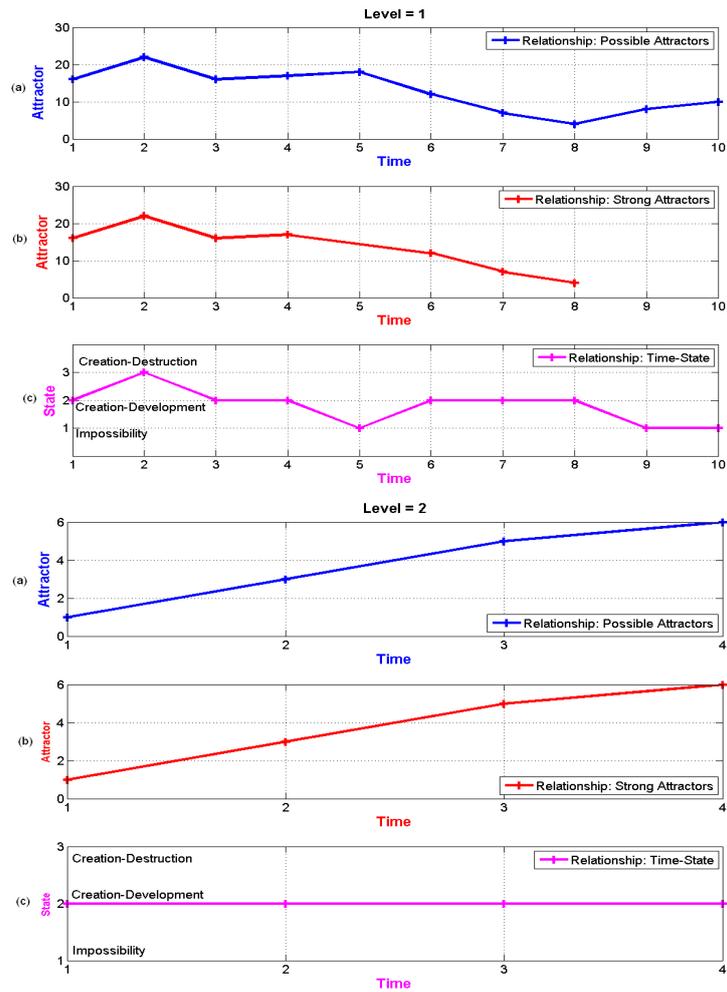
Level of fuzzy holon	Fuzzy holon number	Fuzzy function holons	Fuzzy solution holons	Fuzzy attractor
1	1	1, 2, 4, 5, 9, 11	1, 6, 11, 13, 16, 17, 18, 19, 21, 22	16
	2	15, 16, 17, 21	5, 9, 12, 14, 20, 23	12
	3	18, 19, 20, 22	7, 24, 25	7
	4	3	2	2
	5	13	3	3
	6	12	4	4
	7	23	8, 10	8
	8	14	15	15
2	1	1, 2, 4, 5, 6, 8, 9, 10, 11, 12	1, 2, 4, 5, 6, 8	1
	2	3	3	3
	3	7	7	7
3	1	1, 2	1, 2	1
	2	3	3	3

Pour certaines valeurs des variables de contrôle, pour lesquelles soit la *complétude* des Holons Solutions Floues, soit la *complétude* des Holons Fonctions Floues, est prédominante, il y aura un Holon Conception Floue avec un état de comportement 'création-développement'. Cependant, pour les valeurs centrales des variables de contrôle, pour lesquelles la *complétude* des Holons Solutions Floues et la *complétude* des Holons Fonctions Floues sont à peu près égales, des Holons Conception Floue avec deux, trois ou quatre états de comportement ont été distingués. Alors, en augmentant la valeur de la *Force d'Attraction Acceptable AFA*, les relations entre les Holons Solutions Floues, à l'intérieur des Holons Conception Floue, deviendront plus fortes. Par conséquent, certains attracteurs potentiels ne sont pas capables de créer des Holons Conception Floue. Ainsi, l'Holon Conception Floue atteint l'état de l'*Impossibilité*.

La Figure 4.7 montre, pour trois niveaux de la création d'Holon Conception Floue, la variation des attracteurs potentiels pour la valeur de l'*Intervalle Acceptable  $\alpha$ -level* égale à 0,6, et la valeur de la *Force d'Attraction Acceptable AFA* égale à 0,6. La création d'Holon Conception Floue passe par trois états de comportement dans le

premier niveau d'holon. Dans ce niveau, certains attracteurs possibles ne sont pas capables de créer des Holons Conception Floue.

Holon Level 3				Holon Level 2				Holon Level 1				Holon Level 0				Axiom																
																Non-Primitive S																
																Primitive S																
F3_1	F2_1	F1_1	F 6	0.8	0.35	0.1	0.1	0.65	0.2	0.65	0.1	0.2	0.1	0.2	0.35	0.35	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.2	0.2	0.35	0.2	0.2	0.35					
F3_1	F2_1	F1_1	F 8	0.8	0.35	0.1	0.2	0.2	0.8	0.8	0.2	0.2	0.2	0.35	0.2	0.35	0.2	0.2	0.2	0.2	0.35	0.2	0.35	0.2	0.35	0.2	0.2	0.2				
F3_1	F2_1	F1_1	F 10	0.2	0.65	0.35	0.65	0.2	0.65	0.8	0.2	0.2	0.2	0.2	0.8	0.1	0.35	0.2	0.1	0.35	0.2	0.1	0.2	0.2	0.2	0.65	0.65	0.65				
F3_1	F2_1	F1_1	F 11	0.95	0.35	0.8	0.65	0.1	0.95	0.8	0.2	0.2	0.95	0.2	0.2	0.2	0.2	0.35	0.2	0.35	0.2	0.35	0.2	0.2	0.2	0.2	0.8	0.95				
F3_1	F2_1	F1_1	F 15	0.65	0.95	0.8	0.65	0.8	0.8	0.8	0.2	0.2	0.1	0.35	0.8	0.1	0.95	0.2	0.2	0.1	0.2	0.35	0.2	0.2	0.2	0.35	0.2	0.2				
F3_1	F2_1	F1_1	F 23	0.2	0.35	0.2	0.35	0.35	0.2	0.2	0.2	0.2	0.95	0.95	0.2	0.35	0.35	0.2	0.2	0.1	0.35	0.2	0.1	0.2	0.35	0.35	0.2	0.2				
F3_1	F2_1	F1_1	F 1	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.35	0.2	0.95	0.8	0.2	0.1	0.2	0.2	0.1	0.35	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.35	0.2				
F3_1	F2_1	F1_1	F 2	0.1	0.2	0.2	0.2	0.35	0.35	0.1	0.2	0.95	0.35	0.2	0.65	0.35	0.2	0.35	0.2	0.2	0.35	0.1	0.2	0.35	0.2	0.35	0.2	0.2				
F3_1	F2_1	F1_1	F 4	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.95	0.2	0.8	0.35	0.2	0.2	0.2	0.2	0.35	0.2	0.1	0.1	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2				
F3_1	F2_1	F1_1	F 5	0.8	0.1	0.1	0.2	0.35	0.2	0.2	0.1	0.95	0.35	0.2	0.1	0.35	0.1	0.35	0.2	0.2	0.35	0.2	0.2	0.2	0.2	0.35	0.2	0.35				
F3_1	F2_1	F1_1	F 9	0.2	0.2	0.2	0.95	0.1	0.2	0.2	0.35	0.8	0.2	0.2	0.95	0.2	0.2	0.2	0.1	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.35	0.2	0.8				
F3_1	F2_4	F1_6	F 12	0.2	0.2	0.1	0.2	0.1	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.35	0.65	0.95	0.2	0.2	0.2	0.2	0.35	0.1	0.35	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2				
F3_2	F2_3	F1_4	F 16	0.2	0.35	0.2	0.2	0.35	0.2	0.2	0.2	0.1	0.2	0.2	0.2	0.2	0.95	0.95	0.1	0.2	0.2	0.1	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2				
F3_2	F2_3	F1_4	F 17	0.1	0.35	0.2	0.2	0.2	0.2	0.35	0.2	0.2	0.2	0.2	0.35	0.2	0.95	0.2	0.35	0.65	0.1	0.2	0.1	0.1	0.2	0.2	0.35	0.35				
F3_2	F2_3	F1_4	F 21	0.2	0.2	0.2	0.2	0.35	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1	0.2	0.2	0.2	0.95	0.95	0.8	0.1	0.1	0.2	0.1	0.35	0.35	0.2	0.2	0.2				
F3_2	F2_3	F1_5	F 18	0.2	0.2	0.2	0.1	0.2	0.35	0.2	0.2	0.2	0.35	0.2	0.2	0.1	0.2	0.35	0.2	0.95	0.95	0.35	0.2	0.2	0.1	0.2	0.2	0.2				
F3_2	F2_3	F1_5	F 19	0.35	0.2	0.1	0.1	0.35	0.35	0.35	0.2	0.2	0.1	0.2	0.35	0.35	0.2	0.35	0.1	0.35	0.8	0.95	0.2	0.35	0.2	0.35	0.2	0.2				
F3_2	F2_3	F1_5	F 20	0.2	0.2	0.2	0.1	0.2	0.35	0.1	0.2	0.2	0.1	0.1	0.2	0.2	0.1	0.35	0.2	0.7	0.8	0.35	0.8	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2				
F3_2	F2_3	F1_5	F 22	0.35	0.2	0.1	0.2	0.35	0.35	0.35	0.2	0.1	0.35	0.35	0.35	0.35	0.2	0.35	0.2	0.95	0.95	0.2	0.35	0.1	0.35	0.2	0.2	0.2				
F3_3	F2_2	F1_3	F 3	0.2	0.1	0.1	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.35	0.1	0.1	0.1	0.2	0.1	0.1	0.2	0.1	0.1	0.2	0.1	0.35	0.95	0.2	0.35	0.65	0.1	
F3_3	F2_2	F1_3	F 7	0.2	0.2	0.2	0.2	0.35	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1	0.2	0.35	0.1	0.1	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1	0.2	0.2	0.1	0.2	0.2	0.1	0.8	0.8	
F3_3	F2_2	F1_3	F 13	0.2	0.2	0.2	0.2	0.35	0.35	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1	0.2	0.35	0.35	0.35	0.35	0.1	0.2	0.2	0.2	0.35	0.95	0.2	0.65	0.2	0.2	0.2	0.2	
F3_3	F2_2	F1_3	F 14	0.2	0.2	0.35	0.35	0.2	0.35	0.35	0.1	0.1	0.2	0.2	0.2	0.2	0.35	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.65	0.2	0.2
Axiom	Non-Primitive F	Primitive F																														



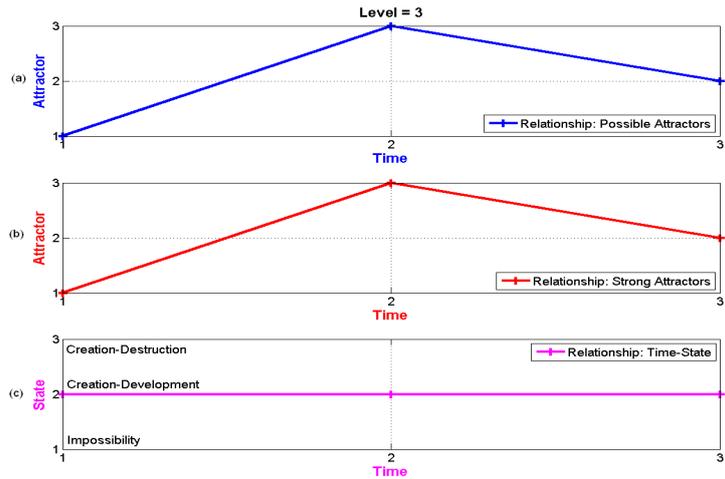


Figure 4.7. Trois niveaux d'Holon Conception Floue avec AFA = 0,6. Pour chaque niveau : (a) Attracteurs flous possibles; (b) Attracteurs flous forts; (c) Les États

Holon Level 1	Holon Level 0	S 1	S 16	S 12	S 20	S 23	S 7	S 24	S 25	S 2	S 3	S 4	S 8	S 10	S 15	S 5	S 6	S 9	S 11	S 13	S 14	S 17	S 18	S 19	S 21	S 22	Axiom		
F1_1	F 1	0.95	0.8	0.1	0.35	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.35	0.2	0.35	0.2	0.2	
F1_1	F 2	0.2	0.95	0.2	0.35	0.2	0.35	0.1	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.35	0.2	0.35	0.2	0.1	0.2	0.2	0.2	0.35	0.2	0.65	0.35	0.2	0.1	
F1_1	F 4	0.2	0.8	0.2	0.35	0.2	0.1	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.35	0.2	0.2	0.1	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	0.2	0.2	0.2	0.2	0.95	
F1_1	F 5	0.1	0.95	0.1	0.35	0.2	0.35	0.2	0.2	0.35	0.2	0.35	0.35	0.2	0.35	0.2	0.8	0.1	0.1	0.2	0.2	0.35	0.2	0.1	0.2	0.35	0.2	0.2	
F1_1	F 9	0.35	0.8	0.2	0.1	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.35	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.95	0.1	0.2	0.95	0.2	0.8	0.2	
F1_1	F 11	0.2	0.95	0.35	0.2	0.35	0.35	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.35	0.35	0.8	0.65	0.1	0.8	0.2	0.95	0.95	0.8	0.8	
F1_2	F 15	0.2	0.2	0.95	0.2	0.2	0.1	0.2	0.35	0.35	0.2	0.1	0.1	0.35	0.35	0.2	0.65	0.95	0.8	0.65	0.8	0.2	0.8	0.8	0.2	0.8	0.2	0.8	
F1_2	F 16	0.2	0.1	0.95	0.95	0.2	0.2	0.1	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.35	0.2	0.2	0.35	0.2	0.2	0.2	0.2	
F1_2	F 17	0.2	0.2	0.95	0.2	0.35	0.1	0.2	0.1	0.1	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.65	0.1	0.35	0.2	0.2	0.2	0.35	0.2	0.35	0.35	0.35		
F1_2	F 21	0.2	0.2	0.95	0.95	0.8	0.1	0.2	0.1	0.35	0.35	0.2	0.1	0.2	0.2	0.1	0.2	0.2	0.2	0.2	0.35	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	
F1_3	F 18	0.2	0.2	0.2	0.35	0.2	0.95	0.35	0.2	0.2	0.1	0.1	0.35	0.2	0.2	0.2	0.95	0.2	0.2	0.2	0.1	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.35	0.2	
F1_3	F 19	0.2	0.2	0.2	0.35	0.2	0.8	0.95	0.2	0.35	0.2	0.35	0.1	0.2	0.35	0.35	0.35	0.2	0.1	0.1	0.35	0.2	0.35	0.35	0.2	0.35	0.2	0.35	
F1_3	F 20	0.2	0.2	0.1	0.35	0.2	0.8	0.35	0.8	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.35	0.2	
F1_3	F 22	0.2	0.1	0.2	0.35	0.2	0.95	0.2	0.35	0.35	0.1	0.35	0.35	0.35	0.35	0.95	0.35	0.2	0.1	0.2	0.35	0.2	0.35	0.35	0.2	0.35	0.2	0.35	
F1_4	F 3	0.1	0.2	0.1	0.2	0.1	0.2	0.1	0.95	0.95	0.2	0.1	0.2	0.35	0.35	0.1	0.2	0.1	0.1	0.2	0.2	0.65	0.1	0.2	0.1	0.2	0.1	0.2	
F1_5	F 13	0.2	0.2	0.35	0.35	0.35	0.1	0.2	0.2	0.35	0.95	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.35	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.65	0.1	0.35	0.2	0.35
F1_6	F 12	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.35	0.1	0.35	0.2	0.2	0.95	0.2	0.35	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1	0.2	0.1	0.2	0.65	0.2	0.2	0.2	0.2	
F1_7	F 23	0.2	0.2	0.35	0.2	0.2	0.1	0.35	0.2	0.1	0.2	0.35	0.95	0.95	0.35	0.2	0.2	0.35	0.2	0.35	0.2	0.35	0.35	0.35	0.2	0.2	0.2	0.2	
F1_8	F 14	0.1	0.1	0.35	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.8	0.2	0.2	0.2	0.35	0.35	0.2	0.65	0.2	0.35	0.2	0.35	0.35	
F1_9	F 6	0.1	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	0.2	0.2	0.35	0.35	0.1	0.2	0.2	0.1	0.8	0.35	0.1	0.1	0.65	0.2	0.35	0.2	0.35	0.65	0.65	0.65	0.65	
F1_10	F 7	0.2	0.2	0.1	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1	0.2	0.2	0.35	0.2	0.1	0.1	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.35	0.8	0.2	0.2	0.8	0.2	0.2	
F1_11	F 8	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1	0.35	0.2	0.35	0.2	0.35	0.35	0.2	0.35	0.2	0.2	0.4	0.35	0.1	0.2	0.2	0.2	0.8	0.2	0.8	0.2	0.8		
F1_12	F 10	0.2	0.2	0.35	0.2	0.1	0.2	0.1	0.2	0.2	0.2	0.1	0.2	0.2	0.2	0.35	0.2	0.65	0.35	0.65	0.2	0.65	0.8	0.65	0.65	0.65	0.8	0.8	

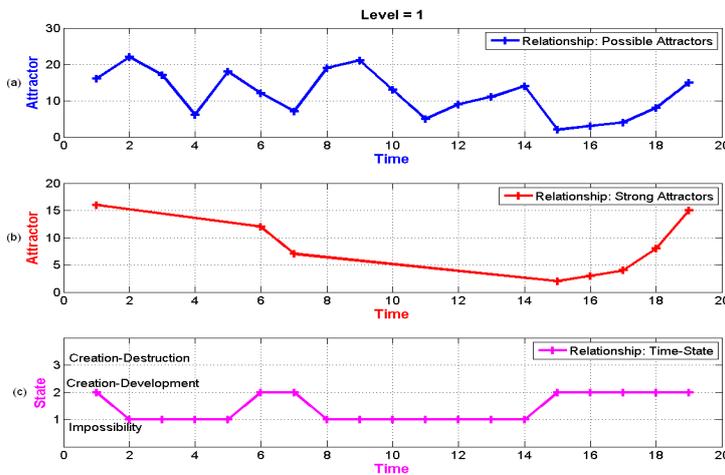


Figure 4.8. Le niveau d'Holon Conception Floue avec AFA = 0,9. Pour ce niveau : (a) Attracteurs flous possibles; (b) Attracteurs flous forts; (c) Les États

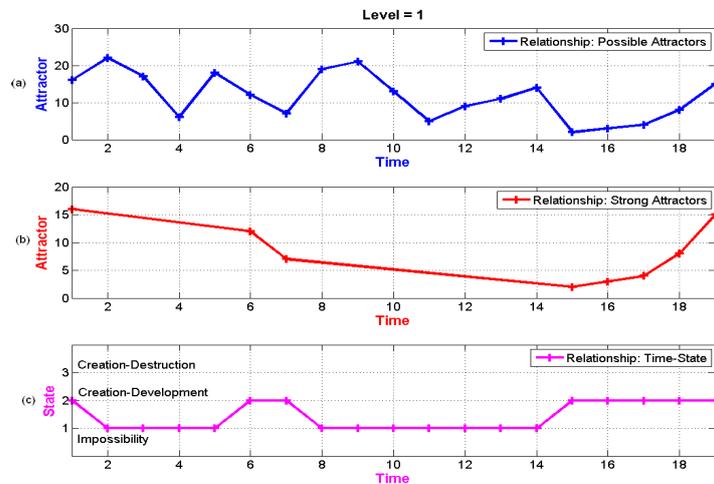
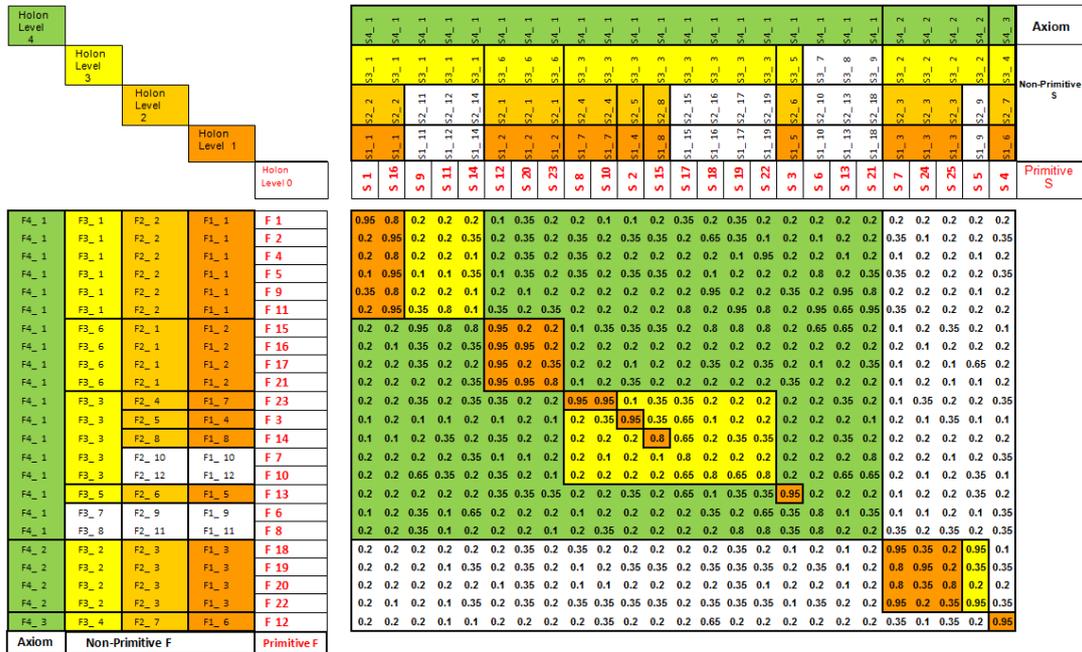
Si le degré de complétude est augmenté (en augmentant la valeur de la variable de contrôle AFA) sans affecter le degré de complétude des Holons Fonctions Floues, le comportement de l'holon évolue vers des relations plus fortes entre les Holons Solutions Floues et les Holons Fonctions Floues. Ainsi, l'Holon Conception Floue tend naturellement vers l'état de *Création-Développement*. Toutefois, si la valeur du degré de complétude est augmentée plus qu'une valeur limite, l'Holon Conception Floue tombe de l'état de la *Création-Développement* à l'état de *l'Impossibilité*. Dans ce cas, de nombreux attracteurs possibles ne sont pas capables de créer des Holons Conception Floue (Figure 4.8).

Si la complétude des Holons Fonctions Floues commence à augmenter, tandis que la complétude des Holons Solutions Floues reste à un niveau élevé, l'Holon Conception Floue reste dans l'état de la *Création-Développement*. Comme la complétude de l'Holon Fonctions Floues continue à augmenter, le comportement de l'holon tombe dans l'état de la *Création-Destruction*. La phase de développement n'est plus possible; il n'existe pas d'autre alternative mais un changement soudain. Ce changement représente une catastrophe, selon la théorie des catastrophes (Thom, 1989). Ce changement soudain du comportement de l'Holon Conception Floue pourrait être appelé une *catastrophe de résistance*. Ainsi, le modèle montre que si un Holon Conception Floue, *complet* en termes des Holons Solutions Floues, et qui se fait progressivement *complété* en termes de Holons Fonctions Floues, finira par interrompre son développement naturel et tombera dans l'état du comportement de *l'Impossibilité*.

Un modèle similaire de comportement existe lorsque les attracteurs sont des Holons Fonctions Floues. Dans un état initial dominé par la complétude de l'Holon Fonctions Floues, mais avec une augmentation suffisante de la complétude de l'Holon Solutions Floues, l'Holon Conception Floue passe de l'état de la *Création-Développement* à l'état de la *Création-Destruction*. Enfin, une augmentation suffisante de complétude de l'Holon Fonctions Floues fait tomber l'Holon Conception Floue dans l'état de *l'Impossibilité*.

La *Force d'Attraction Acceptable* entre les Holons Solutions Floues peut évoluer progressivement : d'une *grande Force d'Attraction Acceptable* à une *faible Force d'Attraction Acceptable*. Elle permet de créer et de développer des Holons Conception

Floues caractérisés par une *Force d'Attraction Acceptable* différente dans chaque niveau de l'holon. Par conséquent, la structure de l'Holon Conception Floue varie progressivement, comme montré dans la Figure 4.9, le Tableau 4.6 et le Tableau 4.7.



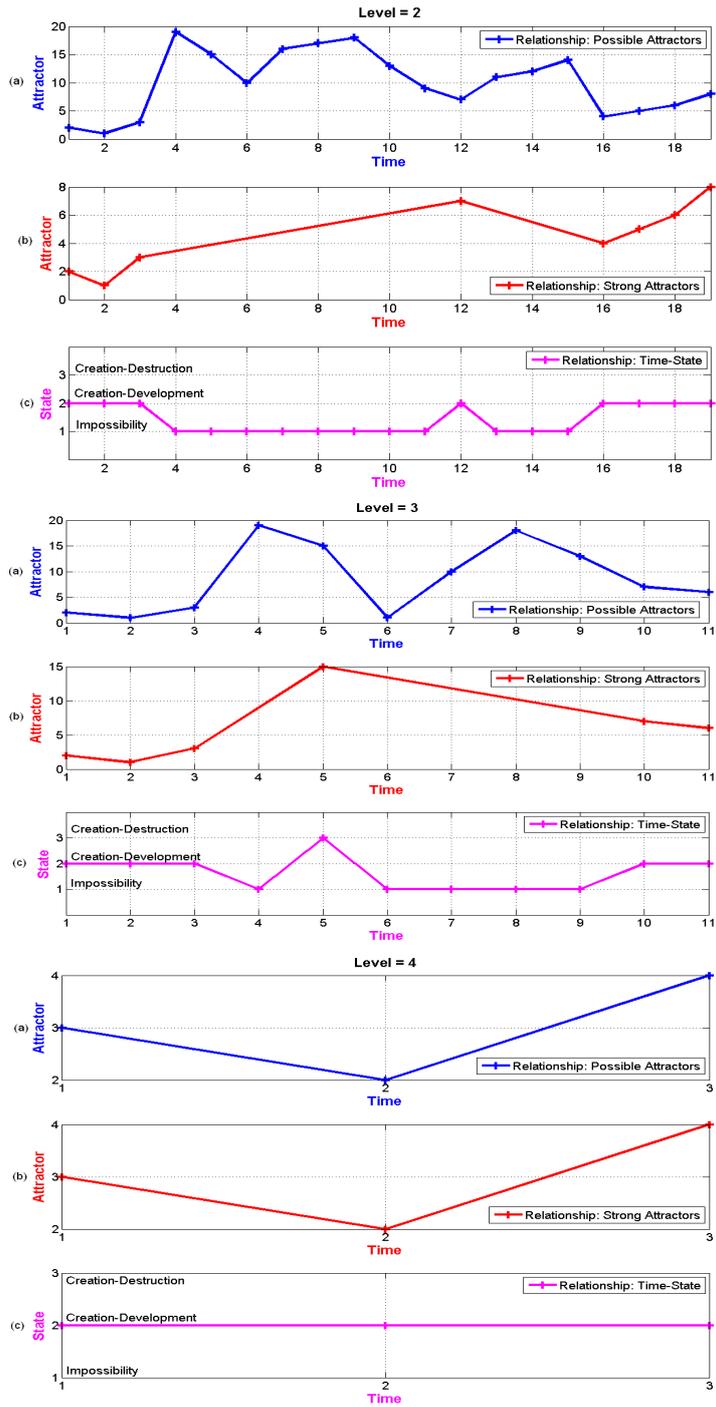


Figure 4.9. Les niveaux d'Holon Conception Floue avec AFA = 0,9;0,5;0,1. Pour chaque niveau : (a) Attracteurs flous possible; (b) Attracteurs flous forts; (c) Les États

**Tableau 4.6. Les entrées pour l'Holon Conception Floue ( $\alpha$ -level = 0.6 et AFA = 0,9;0,5;0,1)**

Type of Fuzzy Attractor is:	<input type="checkbox"/> Fuzzy Function Holon	<input checked="" type="checkbox"/> Fuzzy Solution Holon
Selection Rule	<input checked="" type="checkbox"/> Maximum	<input type="checkbox"/> Minimum
Fuzzy Attractor Identification is based on:	<input checked="" type="checkbox"/> Fuzzy Function-Solution Relationship	<input type="checkbox"/> Designer Know-How
Non-assigned fuzzy function holon is:	<input type="checkbox"/> Assigned to a exceptional fuzzy design holon	<input checked="" type="checkbox"/> Defined as singleton fuzzy function holon
Non-admitted fuzzy solution holon is:	<input type="checkbox"/> Assigned to a common fuzzy design holon	<input checked="" type="checkbox"/> Defined as singleton fuzzy solution holon
Condition of Attraction (AFA) is:	<input type="checkbox"/> Constant, Value is:	<input checked="" type="checkbox"/> Evolutive , Values are: 0.9, 0.5, 0.1
Acceptable interval $\alpha$ -level is	<input checked="" type="checkbox"/> Constant, Value is: 0.6	<input type="checkbox"/> Evolutive , Values are
Condition of Transfer is:	<input checked="" type="checkbox"/> Active	<input type="checkbox"/> Non-Active

**Tableau 4.7. Les résultats de l'Holon Conception Floue ( $\alpha$ -level = 0.6 et AFA = 0,9;0,5;0,1)**

Level of fuzzy holon	Fuzzy holon number	Fuzzy function holon	Fuzzy solution holon	Fuzzy attractor
1	1	1, 2, 4, 5, 9, 11	1, 16	16
	2	15, 16, 17, 21	12, 20, 23	12
	3	18, 19, 20, 22	7, 24, 25	7
	4	3	2	2
	5	13	3	3
	6	12	4	4
	7	23	8, 10	8
	8	14	15	15
	9-19*	6, 7, 8, 10	5, 6, 9, 11, 13,.....	
2	1	2	2, 11,12,14	2
	2	3	3, 9	3
	3	1, 4, 5, 8, 10, 12	4, 5, 8, 15, 16, 17, 19	15
	4	7	7	7
	5	6	6	6
	6	9	1	1
3	1	1, 3, 5, 6, 7	1, 3, 5, 6, 7, 8, 9	3
	2	2	2	2
	3	4	4	4

\* Chaque élément de l'état d'Impossible est renuméroté et considéré pour la création d'holon dans le prochain niveau

Pour la même relation de solution floue-fonction, la qualité des Holons Conception Floue dépend de la valeur de l'intervalle acceptable  $\alpha$ -level et de la valeur de la Force d'Attraction Acceptable AFA. Pour une valeur définie de l'intervalle acceptable  $\alpha$ -level,

si la valeur de la *Force d'Attraction Acceptable* est faible, alors la variation des états de comportement possibles est moindre, comme illustré dans le Tableau 4.8.

Tableau 4.8. Le comportement de l'Holon Conception Floue

Acceptable intervals $\alpha$ -levels	Number of States	Values of AFA			
		Stable fuzzy attractors	Disappeared fuzzy attractors	Appeared-Disappeared fuzzy attractors	Failed fuzzy attractors
0.3	One State	0.1; 0.2; 0.3			
	Two states		0.5; 0.6; 0.7; 0.8; 0.9		
	Three states		0.9->0.5->0.1		
	Four states			0.4	
0.6	One State	0.1; 0.2; 0.3; 0.4			
	Two states		0.5; 0.9		
	Three states		0.6; 0.7;		
	Four states		0.9->0.5->0.1		
0.9	One State	0.1; 0.2; 0.3; 0.4; 0.5; 0.6; 0.7; 0.8; 0.9			
	Two states				
	Three states				
	Four states				

### 4.3. Application : Réducteur parallèle

Le second exemple est le réducteur parallèle illustré dans la Figure 4.10. Ce cas considère un ensemble flou de fonctions floues  $\tilde{F} = \{(f_i, \mu_{\tilde{F}}(f_i))\}$ , sur  $F = \{f_i\}$ ,  $i \in I_F$ ,  $I_F = \{1, 2, \dots, m\}$ ,  $m=14$ , avec une fonction d'appartenance  $\mu_{\tilde{F}}(f)$ , et un ensemble flou de solutions floues  $\tilde{S} = \{(s_i, \mu_{\tilde{S}}(s_i))\}$ , sur  $S = \{s_i\}$ ,  $i \in I_S$ ,  $I_S = \{1, 2, \dots, q\}$ ,  $q=14$ , avec une fonction d'appartenance  $\mu_{\tilde{S}}(f)$  et une relation floue entre les fonctions floues et solutions floues  $\tilde{\mathfrak{R}}_3 = (F, S)$ , (Tableau 4.9). La fonction d'appartenance est définie dans

[0, 1], et indique dans quel degré une fonction de produit peut être satisfaite par l'ensemble des solutions physiques alternatives. Les Holons Conception Floue sont trouvés par l'identification des attracteurs de type « solutions floues ».

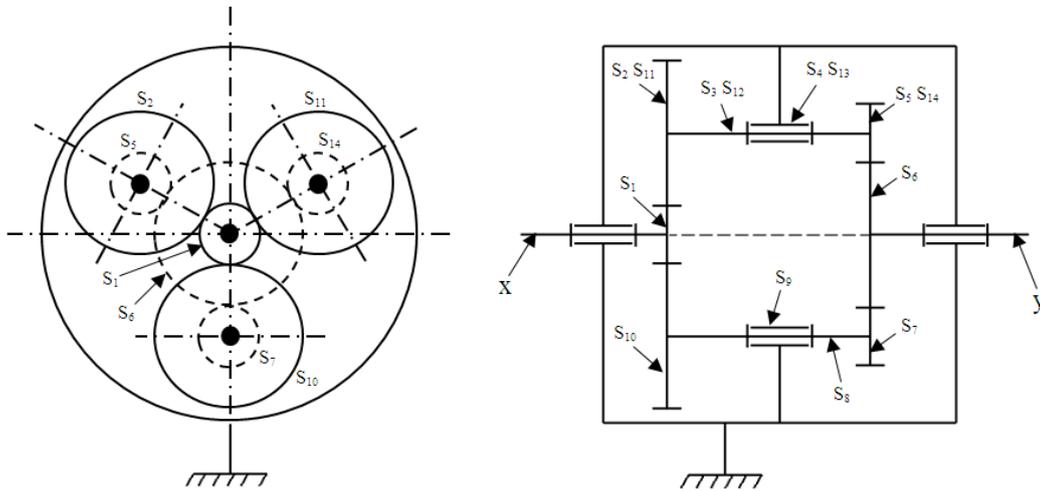


Figure 4.10. Réducteur parallèle de trois axes

Tableau 4.9. La matrice relationnelle floue [F,S] de réducteur parallèle

		S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>	S <sub>4</sub>	S <sub>5</sub>	S <sub>6</sub>	S <sub>7</sub>	S <sub>8</sub>	S <sub>9</sub>	S <sub>10</sub>	S <sub>11</sub>	S <sub>12</sub>	S <sub>13</sub>	S <sub>14</sub>
Decrement	F <sub>1</sub>	0.95	0.95	0.1	0.35	0.2	0.35	0.1	0.2	0.1	0.95	0.95	0.35	0.1	0.35
Import	F <sub>2</sub>	0.35	0.95	0.95	0.1	0.1	0.1	0.35	0.2	0.35	0.2	0.35	0.2	0.1	0.1
Transmit	F <sub>3</sub>	0.1	0.1	0.95	0.2	0.1	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.35	0.2	0.1
Rotate	F <sub>4</sub>	0.1	0.35	0.95	0.95	0.2	0.35	0.1	0.1	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
Export	F <sub>5</sub>	0.1	0.1	0.8	0.1	0.95	0.1	0.1	0.2	0.1	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1
Import	F <sub>6</sub>	0.1	0.1	0.1	0.1	0.35	0.1	0.1	0.95	0.2	0.95	0.1	0.1	0.1	0.2
Transmit	F <sub>7</sub>	0.2	0.1	0.35	0.1	0.1	0.1	0.2	0.95	0.1	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1
Rotate	F <sub>8</sub>	0.1	0.1	0.1	0.35	0.1	0.1	0.1	0.95	0.95	0.1	0.35	0.2	0.1	0.1
Export	F <sub>9</sub>	0.1	0.2	0.1	0.2	0.1	0.2	0.95	0.8	0.1	0.2	0.1	0.1	0.2	0.1
Import	F <sub>10</sub>	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.95	0.95	0.1	0.2
Transmit	F <sub>11</sub>	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2	0.95	0.1	0.2
Rotate	F <sub>12</sub>	0.1	0.1	0.2	0.1	0.1	0.2	0.2	0.1	0.2	0.1	0.1	0.95	0.95	0.1
Export	F <sub>13</sub>	0.2	0.2	0.1	0.2	0.2	0.2	0.1	0.2	0.1	0.1	0.1	0.8	0.1	0.95
Decrement	F <sub>14</sub>	0.1	0.1	0.2	0.1	0.95	0.95	0.95	0.1	0.1	0.2	0.2	0.1	0.2	0.95

Quelques résultats de simulation pour ce cas d'application de la matrice d'entrée [14,14], sont illustrés dans la Figure 4.11, la Figure 4.12, la Figure 4.13, Figure 4.14 et la Figure 4.15. Ces résultats sont obtenus en variant les valeurs de l'Intervalle Acceptable  $\alpha$ -levels, et les valeurs de la Force d'Attraction Acceptable (AFA), tout en

utilisant « *Maximum de relation* » comme règle de la sélection de l'attracteur. Pour chaque niveau d'Holon Conception Floue, les Attracteurs Flous Possibles, les Attracteurs Flous Forts et les Etats de comportement sont présentés.

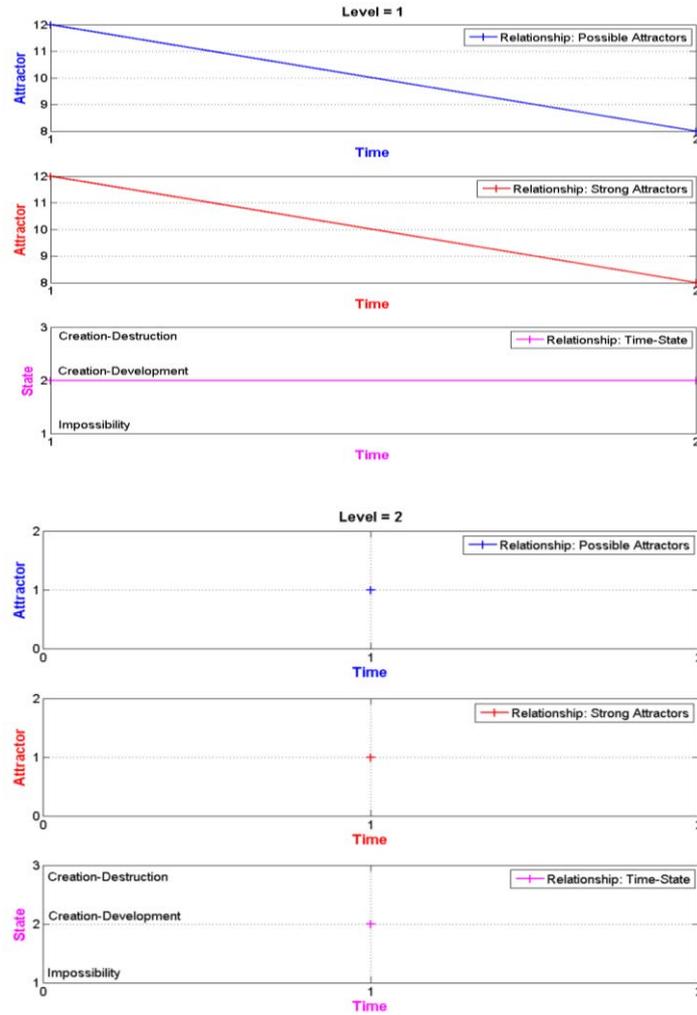


Figure 4.11. Les niveaux d'Holon Conception Floue pour un réducteur parallèle avec  $\alpha$ -level= 0.3 et AFA=0.1

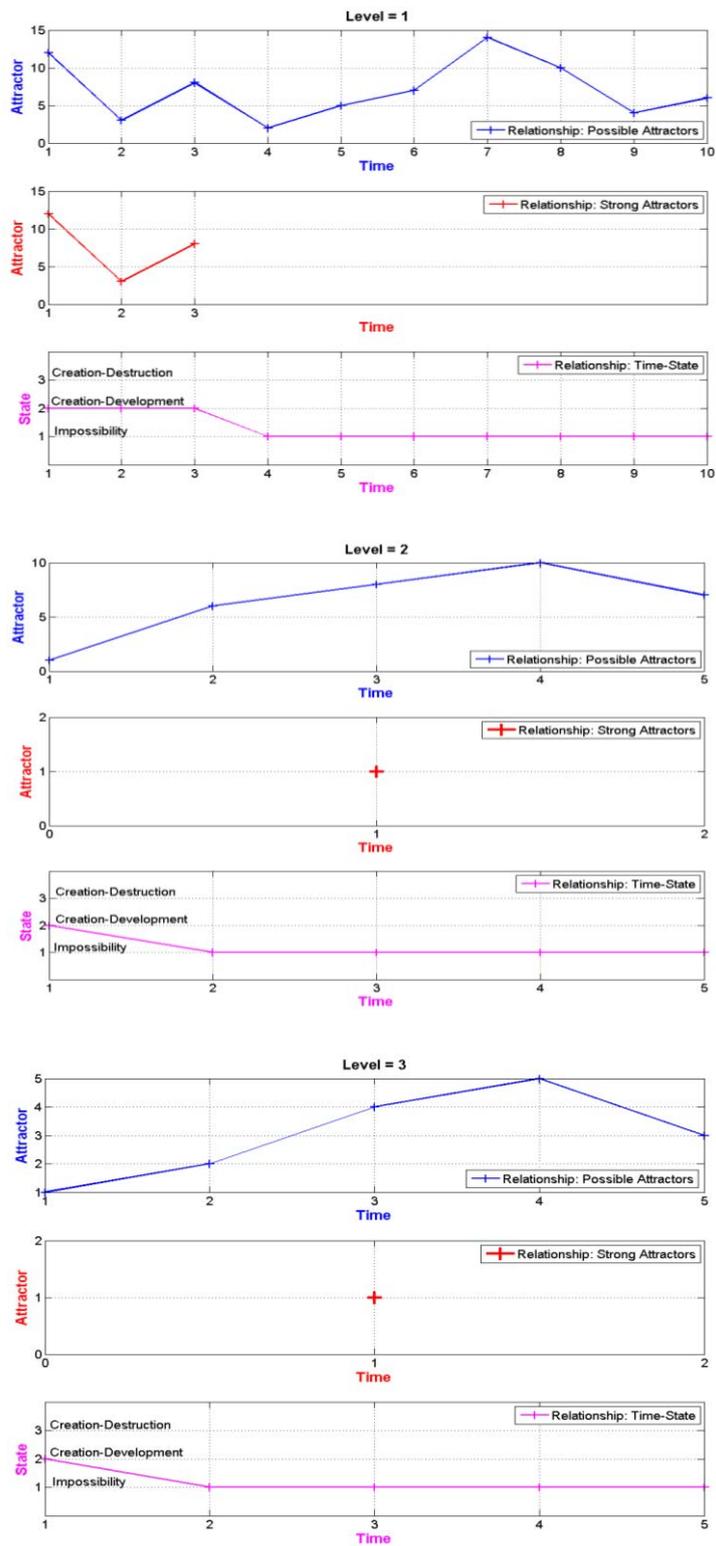


Figure 4.12. Les niveaux d'Holon Conception Floue pour un réducteur parallèle avec  $\alpha$ -level= 0.3 et AFA=0.6

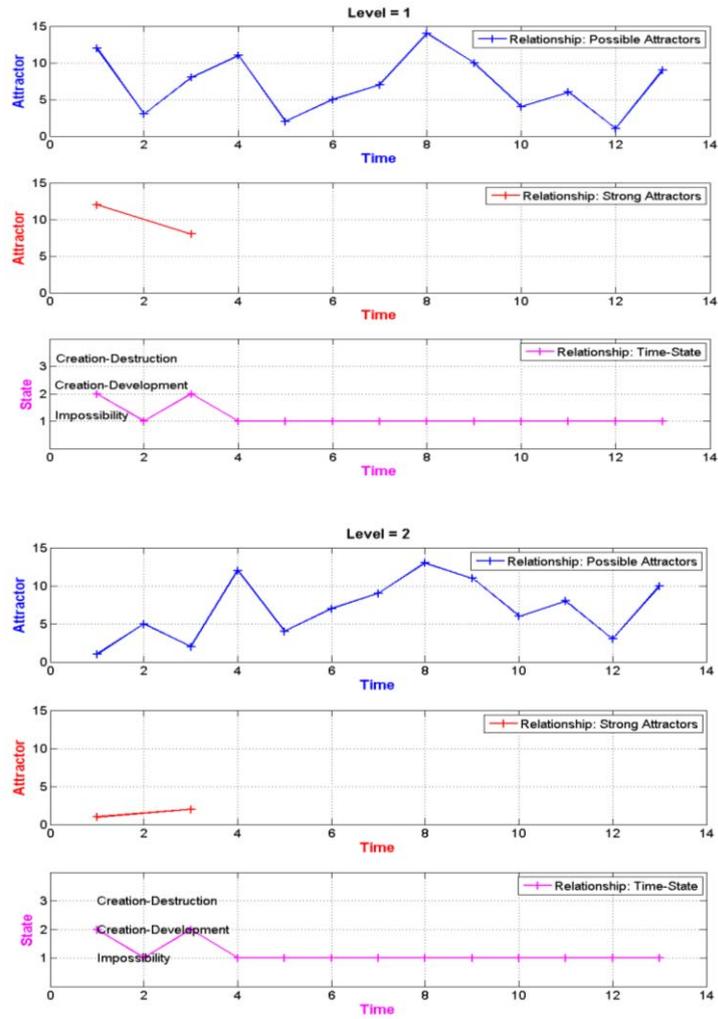
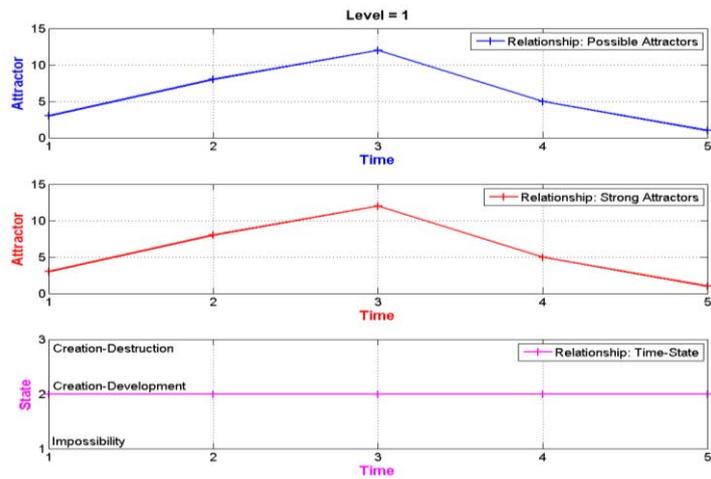


Figure 4.13. Les niveaux d'Holon Conception Floue pour un réducteur parallèle avec  $\alpha$ -level= 0.3 et AFA=0.9



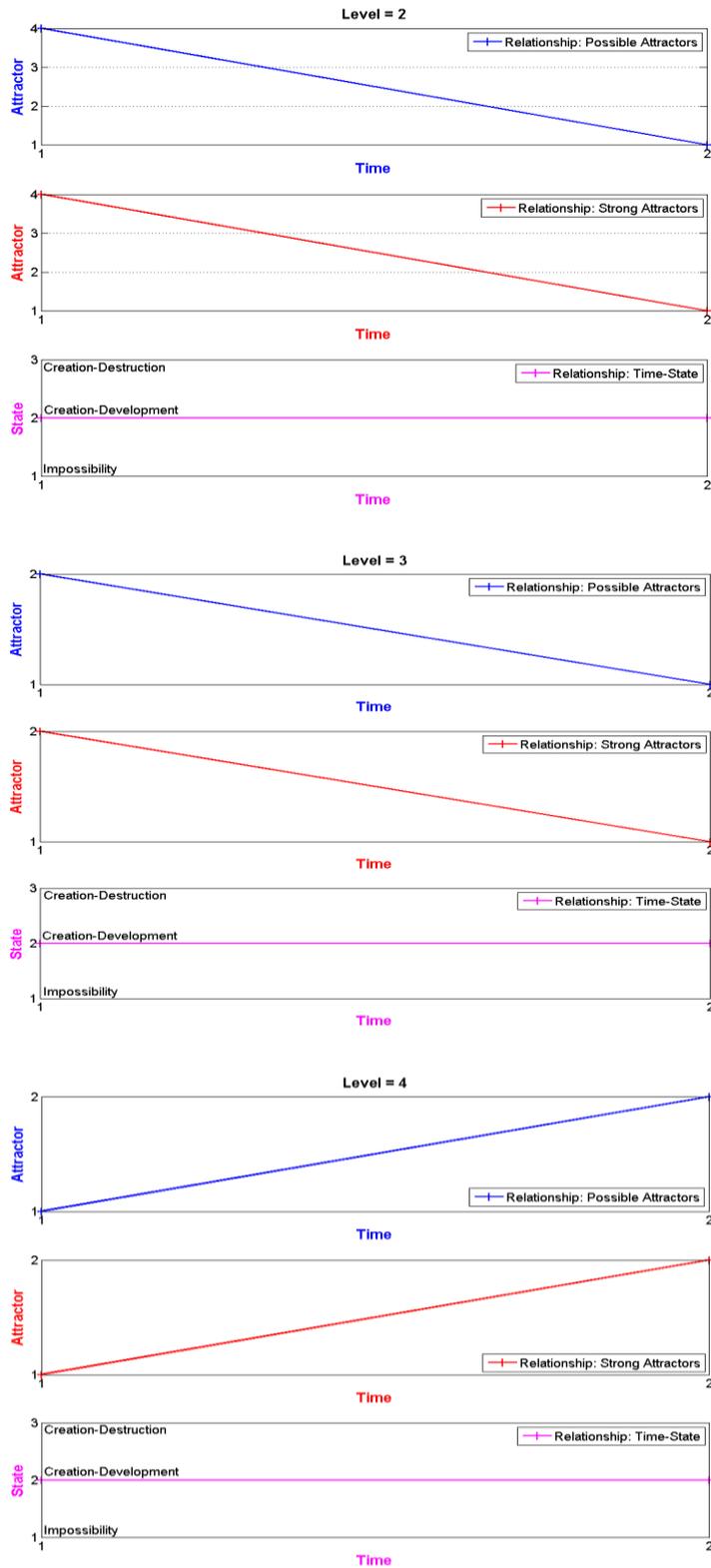


Figure 4.14. Les niveaux d'Holon Conception Floue pour un réducteur parallèle avec  $\alpha$ -level= 0.9 et AFA=0.1

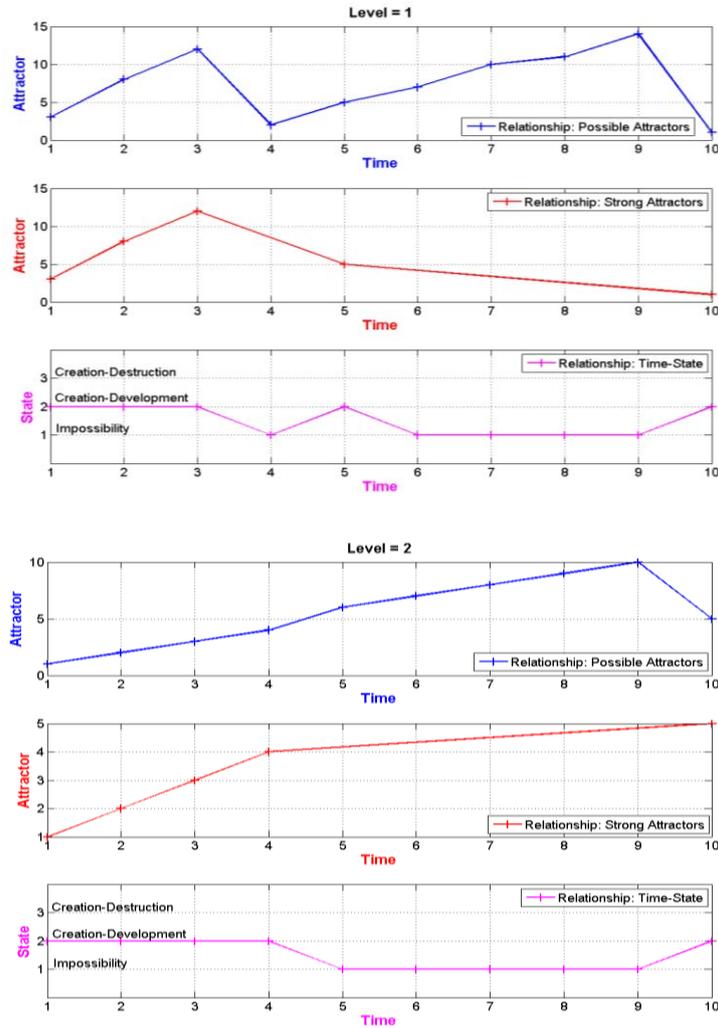


Figure 4.15. Les niveaux d'Holon Conception Floue pour un réducteur parallèle avec  $\alpha$ -level= 0.9 et AFA=0.6, 0.9

La Figure 4.16 montre la variation des attracteurs potentiels pour la valeur de l'Intervalle Acceptable  $\alpha$ -level égale à 0,6, et la valeur de la Force d'Attraction Acceptable AFA égale à 0,1. Il y a un seul état de comportement : *Création-Développement*. L'Holon Conception Floue est créé et développé autour des attracteurs de type Solutions Floues potentielles. Par conséquent, ces attracteurs sont forts.

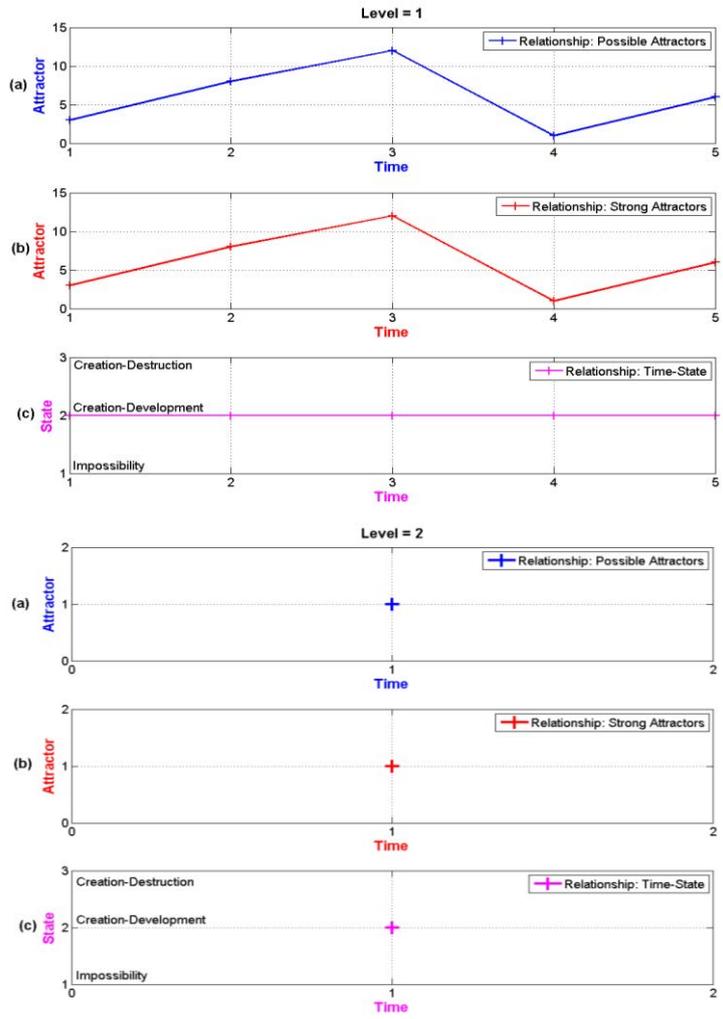
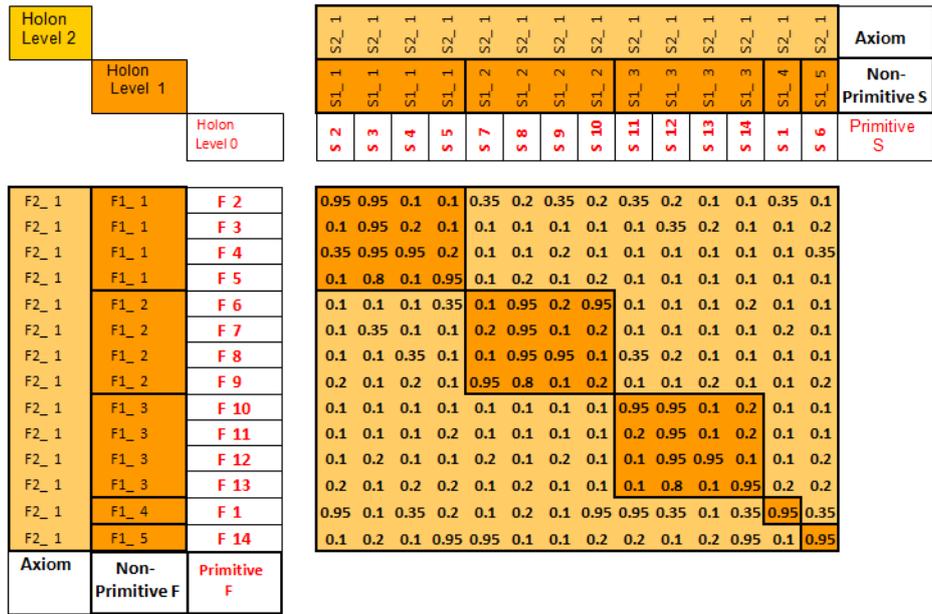


Figure 4.16. Deux niveaux d'Holon Conception Floue pour un réducteur parallèle avec AFA = 0,1. Pour chaque niveau : (a) Attracteurs flous possibles; (b) Attracteurs flous forts; (c) Les États.

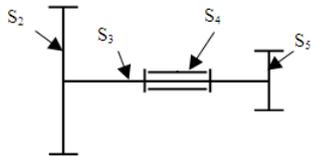
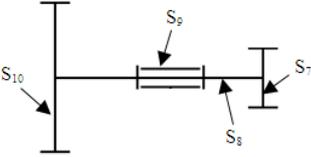
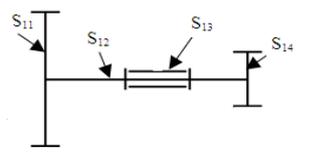
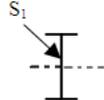
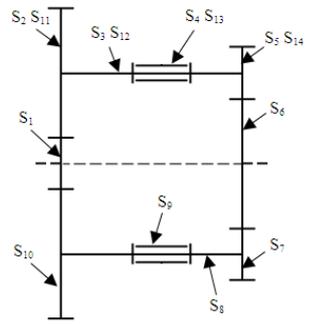
Le Tableau 4.10 et le Tableau 4.11 montrent respectivement les données d'entrée et les résultats de sortie pour la valeur de *l'Intervalle Acceptable  $\alpha$ -level* égale à 0,6 et la valeur de la *Force d'Attraction Acceptable AFA* égale à 0,1.

**Tableau 4.10. Les entrées pour l'Holon Conception Floue pour un réducteur parallèle ( $\alpha$ -level = 0,6 et AFA = 0,1)**

<b>Type of Fuzzy Attractor is:</b>	<input type="checkbox"/> Fuzzy Function Holon	<input checked="" type="checkbox"/> Fuzzy Solution Holon
<b>Selection Rule</b>	<input checked="" type="checkbox"/> Maximum	<input type="checkbox"/> Minimum
<b>Fuzzy Attractor Identification is based on:</b>	<input checked="" type="checkbox"/> Fuzzy Function-Solution Relationship	<input type="checkbox"/> Designer Know-How
<b>Non-assigned fuzzy function holon is:</b>	<input type="checkbox"/> Assigned to a exceptional fuzzy design holon	<input checked="" type="checkbox"/> Defined as singleton fuzzy function holon
<b>Non-admitted fuzzy solution holon is:</b>	<input type="checkbox"/> Assigned to a common fuzzy design holon	<input checked="" type="checkbox"/> Defined as singleton fuzzy solution holon
<b>Condition of Attraction (AFA) is:</b>	<input checked="" type="checkbox"/> Constant, Value is: 0.1	<input type="checkbox"/> Evolutive , Values are:
<b>Acceptable interval <math>\alpha</math>-level is</b>	<input checked="" type="checkbox"/> Constant, Value is: 0.6	<input type="checkbox"/> Evolutive , Values are
<b>Condition of Transfer is:</b>	<input checked="" type="checkbox"/> Active	<input type="checkbox"/> Non-Active

En augmentant la valeur de la *Force d'Attraction Acceptable AFA*, les relations entre les Holons Solutions Floues à l'intérieur des Holons Conception Floue deviendront plus fortes. Par conséquent, certains attracteurs potentiels ne sont pas capables de créer des Holons Conception Floue. Ainsi, l'Holon Conception Floue atteint l'état de *l'Impossibilité*. La Figure 4.17 montre pour le premier niveau de la création d'Holon Conception Floue (Level 1), la variation des types d'attracteurs pour la valeur de *l'Intervalle Acceptable  $\alpha$ -level* égale à 0,6, et la valeur de la *Force d'Attraction Acceptable AFA* égale à 0,6 (nous avons les mêmes résultats avec  $\alpha$ -level égale à 0,6 et AFA égale à 0,9), et l'évolution des états. Deux états sont identifiés : *Création-Développement* et *Impossibilité*. On peut constater que certains attracteurs ne sont pas capables de créer des modules d'Holon Conception Floue.

**Tableau 4.11. Les résultats de l'Holon Conception Floue pour un réducteur parallèle ( $\alpha$ -level = 0.6 et AFA = 0,1)**

Level of fuzzy holon	Fuzzy holon number	Fuzzy function holons	Fuzzy solution holons	Fuzzy attractor	Module
	1	2, 3, 4, 5	2, 3, 4, 5	3	
	2	6, 7, 8, 9	7, 8, 9, 10	8	
1	3	10, 11, 12, 13	11, 12, 13, 14	12	
	4	1	1	1	
	5	6	6		
2	1	1, 2, 3, 4, 5	1, 2, 3, 4, 5	1	

Holon Level 1		SL_1	SL_1	SL_2	SL_2	SL_3	SL_3	SL_4	SL_4	SL_5	SL_5	SL_6	SL_6	SL_7	SL_7	SL_8	SL_8	SL_9	SL_9	SL_10	SL_10	SL_11	SL_11	Axiom
	Holon Level 0	S 3	S 4	S 8	S 9	S 12	S 13	S 1	S 6	S 2	S 5	S 7	S 10	S 11	S 14									Primitive S
F1_1	F 2	0.95	0.1	0.2	0.35	0.2	0.1	0.35	0.1	0.95	0.1	0.35	0.2	0.35	0.1									
F1_1	F 3	0.95	0.2	0.1	0.1	0.35	0.2	0.1	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1									
F1_1	F 4	0.95	0.95	0.1	0.2	0.1	0.1	0.1	0.35	0.35	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1									
F1_1	F 5	0.8	0.1	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.95	0.1	0.2	0.1	0.1									
F1_2	F 6	0.1	0.1	0.95	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.35	0.1	0.95	0.1	0.2									
F1_2	F 7	0.35	0.1	0.95	0.1	0.1	0.1	0.2	0.1	0.1	0.1	0.2	0.2	0.1	0.1									
F1_2	F 8	0.1	0.35	0.95	0.95	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.35	0.1									
F1_2	F 9	0.1	0.2	0.8	0.1	0.1	0.2	0.1	0.2	0.2	0.1	0.95	0.2	0.1	0.1									
F1_3	F 10	0.1	0.1	0.1	0.1	0.95	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.95	0.2									
F1_3	F 11	0.1	0.1	0.1	0.1	0.95	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2	0.1	0.1	0.2	0.2									
F1_3	F 12	0.2	0.1	0.1	0.2	0.95	0.95	0.1	0.2	0.1	0.1	0.2	0.1	0.1	0.1									
F1_3	F 13	0.1	0.2	0.2	0.1	0.8	0.1	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.95									
F1_4	F 14	0.1	0.35	0.2	0.1	0.35	0.1	0.95	0.35	0.95	0.2	0.1	0.95	0.95	0.35									
F1_5		0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2	0.1	0.95	0.1	0.95	0.95	0.2	0.2	0.95									
Axiom	Primitive F																							

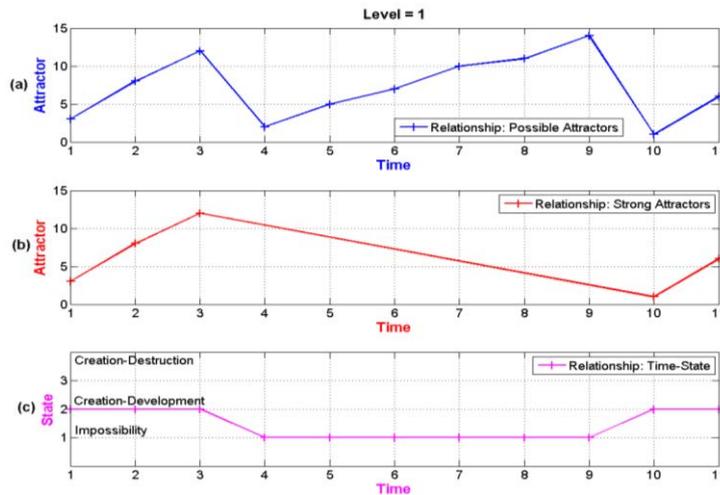
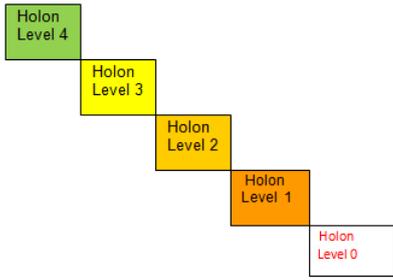


Figure 4.17. Un niveau d'Holon Conception Floue pour un réducteur parallèle avec AFA = 0,6 ; 0.9 Pour ce niveau : (a) Attracteurs flous possibles; (b) Attracteurs flous forts; (c) Les États

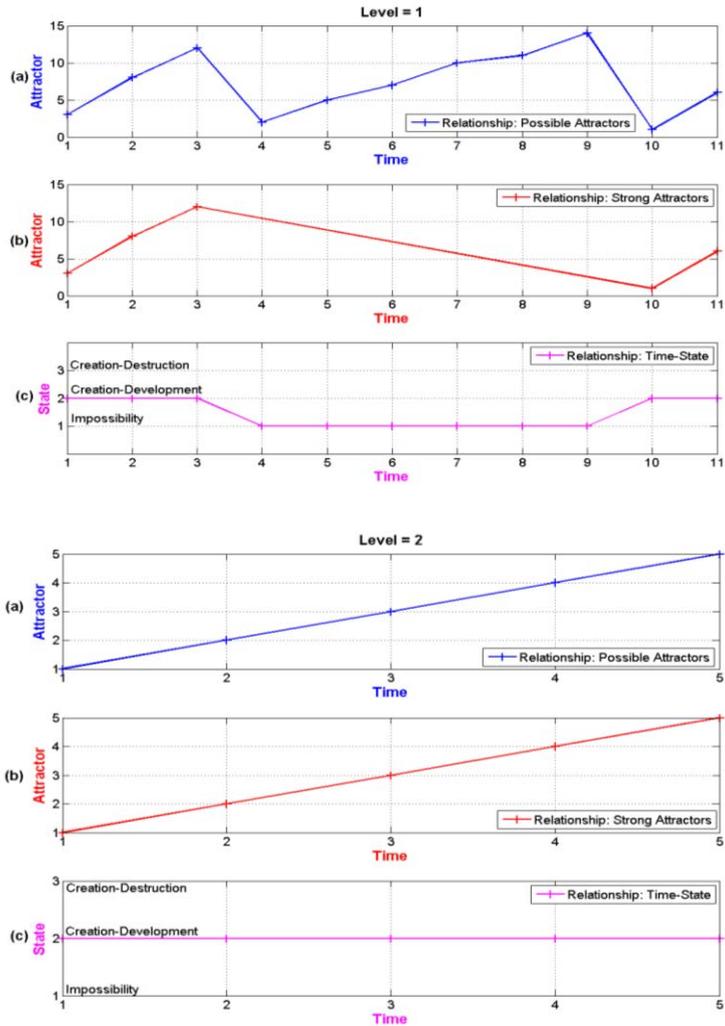
En variant progressivement la *Force d'Attraction Acceptable* entre les Holons Solutions Floues : d'une grande *Force d'Attraction Acceptable* (0.9) à une faible *Force d'Attraction Acceptable* (0.1), nous pouvons créer et développer des Holons Conception Floue caractérisés par une *Force d'Attraction Acceptable* évolutive dans chaque niveau de l'holon. Par conséquent, la structure holonique « *modules dans un module* » varie progressivement, comme montré dans la Figure 4.18, le Tableau 4.12 et le Tableau 4.13.



\$ 3	\$ 4	\$ 2	\$ 5	\$ 1	\$ 6	\$ 8	\$ 9	\$ 7	\$ 10	\$ 12	\$ 13	\$ 11	\$ 14	Axiom
\$ 3	\$ 4	\$ 2	\$ 5	\$ 1	\$ 6	\$ 8	\$ 9	\$ 7	\$ 10	\$ 12	\$ 13	\$ 11	\$ 14	Non-Primitive S
\$ 3	\$ 4	\$ 2	\$ 5	\$ 1	\$ 6	\$ 8	\$ 9	\$ 7	\$ 10	\$ 12	\$ 13	\$ 11	\$ 14	Primitive S

F4_1	F3_1	F2_1	F1_1	F 2
F4_1	F3_1	F2_1	F1_1	F 3
F4_1	F3_1	F2_1	F1_1	F 4
F4_1	F3_1	F2_1	F1_1	F 5
F4_1	F3_1	F2_4	F1_4	F 1
F4_1	F3_1	F2_5	F1_5	F 14
F4_1	F3_2	F2_2	F1_2	F 6
F4_1	F3_2	F2_2	F1_2	F 7
F4_1	F3_2	F2_2	F1_2	F 8
F4_1	F3_2	F2_2	F1_2	F 9
F4_1	F3_3	F2_3	F1_3	F 10
F4_1	F3_3	F2_3	F1_3	F 11
F4_1	F3_3	F2_3	F1_3	F 12
F4_1	F3_3	F2_3	F1_3	F 13
Axiom	Non-Primitive F			Primitive F

0.95	0.1	0.95	0.1	0.35	0.1	0.2	0.35	0.35	0.2	0.2	0.1	0.35	0.1
0.95	0.2	0.1	0.1	0.1	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.35	0.2	0.1	0.1
0.95	0.95	0.35	0.2	0.1	0.35	0.1	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
0.8	0.1	0.1	0.95	0.1	0.1	0.2	0.1	0.1	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1
0.1	0.35	0.95	0.2	0.95	0.35	0.2	0.1	0.1	0.95	0.35	0.1	0.95	0.35
0.2	0.1	0.1	0.95	0.1	0.95	0.1	0.1	0.95	0.2	0.1	0.2	0.2	0.95
0.1	0.1	0.1	0.35	0.1	0.1	0.95	0.2	0.1	0.95	0.1	0.1	0.1	0.2
0.35	0.1	0.1	0.1	0.2	0.1	0.95	0.1	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1
0.1	0.35	0.1	0.1	0.1	0.1	0.95	0.95	0.1	0.1	0.2	0.1	0.35	0.1
0.1	0.2	0.2	0.1	0.1	0.2	0.8	0.1	0.95	0.2	0.1	0.2	0.1	0.1
0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.95	0.1	0.95	0.2
0.1	0.1	0.1	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.95	0.1	0.2	0.2
0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2	0.1	0.2	0.2	0.1	0.95	0.95	0.1	0.1
0.1	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.8	0.1	0.1	0.95



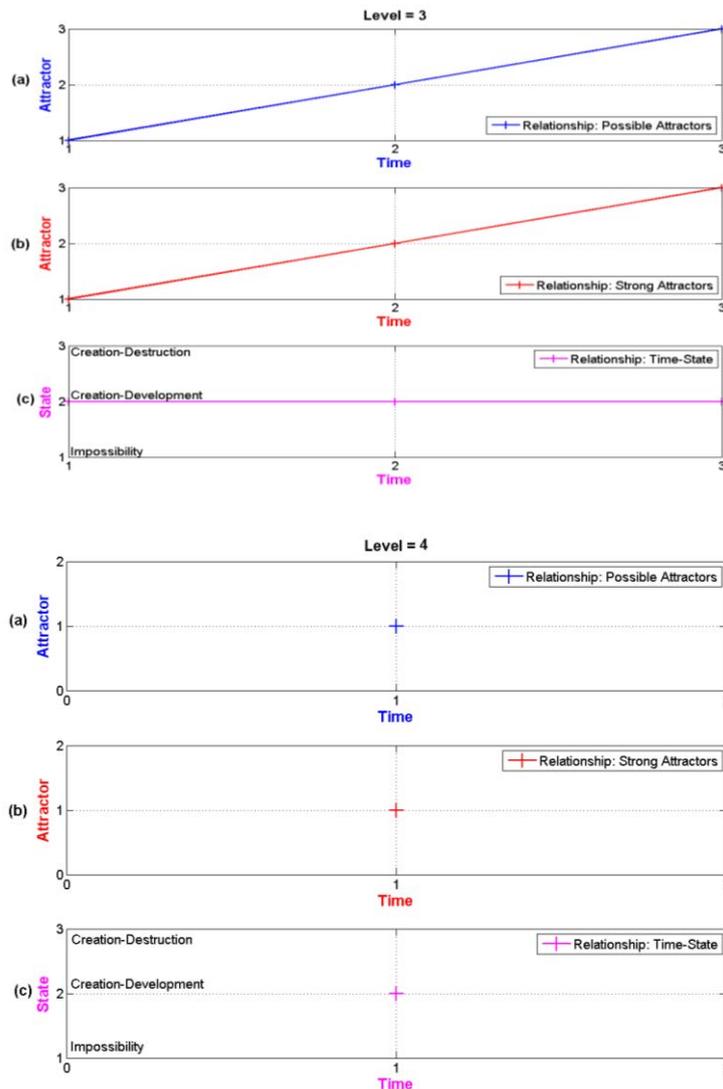
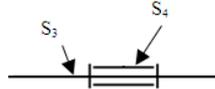
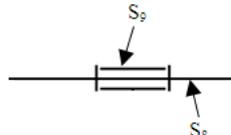
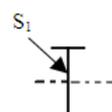
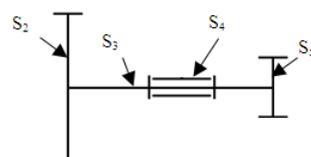
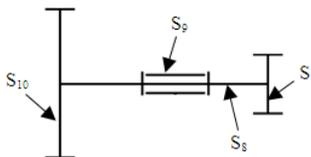


Figure 4.18. Les niveaux d'Holon Conception Floue pour un réducteur parallèle avec AFA = 0,9;0,5;0,1. Pour chaque niveau : (a) Attracteurs flous possible; (b) Attracteurs flous forts; (c) Les États

Tableau 4.12. Les entrées pour l'Holon Conception Floue pour un réducteur parallèle ( $\alpha$ -level = 0.6 et AFA = 0,9;0,5;0,1)

Type of Fuzzy Attractor is:	<input type="checkbox"/> Fuzzy Function Holon	<input checked="" type="checkbox"/> Fuzzy Solution Holon
Selection Rule	<input checked="" type="checkbox"/> Maximum	<input type="checkbox"/> Minimum
Fuzzy Attractor Identification is based on:	<input checked="" type="checkbox"/> Fuzzy Function-Solution Relationship	<input type="checkbox"/> Designer Know-How
Non-assigned fuzzy function holon is:	<input type="checkbox"/> Assigned to a exceptional fuzzy design holon	<input checked="" type="checkbox"/> Defined as singleton fuzzy function holon
Non-admitted fuzzy solution holon is:	<input type="checkbox"/> Assigned to a common fuzzy design holon	<input checked="" type="checkbox"/> Defined as singleton fuzzy solution holon
Condition of Attraction (AFA) is:	<input type="checkbox"/> Constant, Value is:	<input checked="" type="checkbox"/> Evolutive , Values are: 0.9, 0.5, 0.1
Acceptable interval $\alpha$ -level is	<input checked="" type="checkbox"/> Constant, Value is: 0.6	<input type="checkbox"/> Evolutive , Values are
Condition of Transfer is:	<input checked="" type="checkbox"/> Active	<input type="checkbox"/> Non-Active

**Tableau 4.13. Les résultats de l'Holon Conception Floue pour un réducteur parallèle ( $\alpha$ -level = 0.6 et AFA = 0.9;0.5;0,1)**

Level of fuzzy holon	Fuzzy holon number	Fuzzy function holon	Fuzzy solution holon	Fuzzy attractor	Module
1	1	2, 3, 4, 5	3, 4	3	
	2	6, 7, 8, 9	8, 9	8	
	3	10, 11, 12, 13	12, 13	12	
	4	1	1	1	
	5	14	6	6	
	6-11*		2, 5, 7, 10, 11, 14		
2	1	1	1, 6, 7	1	
	2	2	2, 8, 9	2	

Level of fuzzy holon	Fuzzy holon number	Fuzzy function holon	Fuzzy solution holon	Fuzzy attractor	Module
	3	3	3, 10, 11	3	
	4	4	4	4	
	5	5	5	5	
	1	1, 4, 5	1, 4, 5	1	
3	2	2	2	2	
	3	3	3	3	
4	1	1, 2, 3	1, 2, 3	1	

\* Chaque élément de l'état d'Impossible est renuméroté et considéré pour la création d'holon dans le prochain niveau

#### 4.4. Conclusions

Les concepts de l'*Holon Conception Floue* et de l'*Attracteur Flou* permettent la conception holarchique. Cela signifie la conception des «*modules dans un module*». Un *Holon Conception Floue* est défini par deux holons de base : *Holon Fonctions Floues* et *Holon Solutions Floues*.

La conception peut être considérée comme un phénomène de discontinuité qualitative dans un milieu continu. Comprendre et contrôler la discontinuité est donc un sujet important de la conception intelligente. Les concepts de *Holon Conception Floue* et l'*Attracteur Flou* sont également proposés pour comprendre la coévolution dans la conception pour la configuration.

Le modèle proposé de la création des *Holons Conception Floue*, donc le processus de la *configuration à base de modules*, est contrôlé par deux variables contradictoires :

- (a) la *Complétude* des *Holons Fonctions Floues* et des *Holons Solutions Floues*
- (b) la *Discrimination* des *Holons Fonctions Floues* et des *Holons Solutions Floues*.

Quatre états possibles de comportement d'un *Holon Conception Floue* sont trouvés :

- 1) *Impossibilité* : caractérisé par l'impossibilité de la création d'*Holon Conception Floue* par un attracteur flou ;
- 2) *Création-Développement* : caractérisé par la création et le développement naturel d'*Holon Conception Floue* ;
- 3) *Création-Destruction* : caractérisé parfois par la création des *Holons Conception Floue* et parfois par la destruction des *Holons Conception Floue* ;
- 4) *Échec* : caractérisé par l'interruption du développement de l'*Holon Conception Floue* et de la destruction de l'*Holon Conception Floue* déjà créé.

L'application du modèle proposé a montré que si un *Holon Conception Floue*, *complet* en termes d'*Holon Solutions Floues*, se fait progressivement *compléter* en termes d'*Holon Fonctions Floues*, alors il finira par interrompre son développement naturel et tombera dans l'état du comportement de l'*Impossibilité*. Le modèle a également montré que la conception pour configuration à base de modules n'est pas un phénomène ordonné. La conception pour la configuration est pleine de transformations soudaines et de divergences imprévisibles.

L'étude a montré que le type typologique de l'attracteur flou n'est pas stable. La connaissance de la typologie et la morphologie des attracteurs flous peut partiellement permettre de savoir ce qui émergera lors de la conception.



**CHAPITRE 5**

**APPLICATION INDUSTRIELLE DE LA  
MODELISATION HOLONIQUE : CAS D'UN  
GROUPE MOTOPROPULSEUR**



# **CHAPITRE 5 : APPLICATION INDUSTRIELLE DE LA MODELISATION HOLONIQUE : CAS D'UN GROUPE MOTOPROPULSEUR**

## **5.1. Introduction**

Dans le chapitre précédent, nous avons proposé la modélisation holonique des configurations conjointement dans les espaces fonctionnel et structurel. Dans ce chapitre, nous proposons l'application de la modélisation holonique dans la configuration à l'aide des modules pour un groupe motopropulseur. En effet, l'objectif global du projet n'est pas de concevoir le scooter mais de le rendre modulaire et durable. Ces deux notions sont extrêmement importantes dans les problématiques actuelles qui visent à réduire l'impact de l'homme sur l'environnement d'une part, et optimiser les systèmes afin qu'ils génèrent moins de frais de montage, de démontage et de fabrication, d'autre part (Le-Mehaute, et al., 2013).

## **5.2. Problématique et description du cas d'application**

Du fait de l'augmentation des normes en matière environnementale sur les rejets des véhicules motorisées, l'ensemble des constructeurs commencent à équiper les scooters 50cm<sup>3</sup> par des moteurs 4 temps moins gourmands en essence et donc en rejets de CO<sub>2</sub> mais bénéficiant souvent de performances moindres. L'objectif est donc d'anticiper les normes afin d'avoir des modèles prêts en version 4 temps afin de ne pas être en retard technologique. Ceci permet désormais aux clients recherchant des performances d'acheter les anciens modèles 2 temps et aux clients recherchant de faibles consommations d'avoir accès à une version plus économe.

On remarque chez les principaux constructeurs que les modèles les plus modulaires permettent souvent de faire le lien entre leurs modèles haut de gamme en 50 cm<sup>3</sup> avec leur modèle entrée de gamme 125 cm<sup>3</sup>. Ils arrivent donc avec un seul modèle à couvrir deux secteurs de marché.

Cependant, la modularité chez les principaux constructeurs se limite principalement aux modèles définis comme « pratique ». En effet, ce sont très souvent les modèles destinés aux clients recherchant un scooter fonctionnel et pratique qui sont modulaires, tandis que les scooters destinés aux clients recherchant beauté et efficacité ne sont pas encore conçus en utilisant les concepts de la conception modulaire.

On peut également reprocher le manque de choix sur la sportivité des modèles via le choix de technologies de transmission, de système d'admission.

C'est certainement dans ces directions qu'il faudra améliorer la conception modulaire dans le monde des Scooters dans les prochaines années.

Le système Scooter est un véhicule motorisé à deux roues monotraces. Il permet à l'utilisateur, à faible coût d'achat, de se déplacer sur le sol : en ville ou rase campagne. Il se distingue de la moto par ses petites roues, son cadre ouvert formant un plancher permettant d'y placer les pieds, et souvent par sa faible cylindrée. Le système Scooter est constitué de plusieurs composants ergonomiques et techniques.

Le produit à configurer à base de modules est le groupe motopropulseur de Scooter. Il constitue la partie centrale et motrice du scooter qui lui permet d'entraîner en rotation la roue arrière et donc de le faire avancer. Il permet la traduction des ordres de l'utilisateur en énergie mécanique afin de répondre au besoin de déplacement (Figure 5.1).

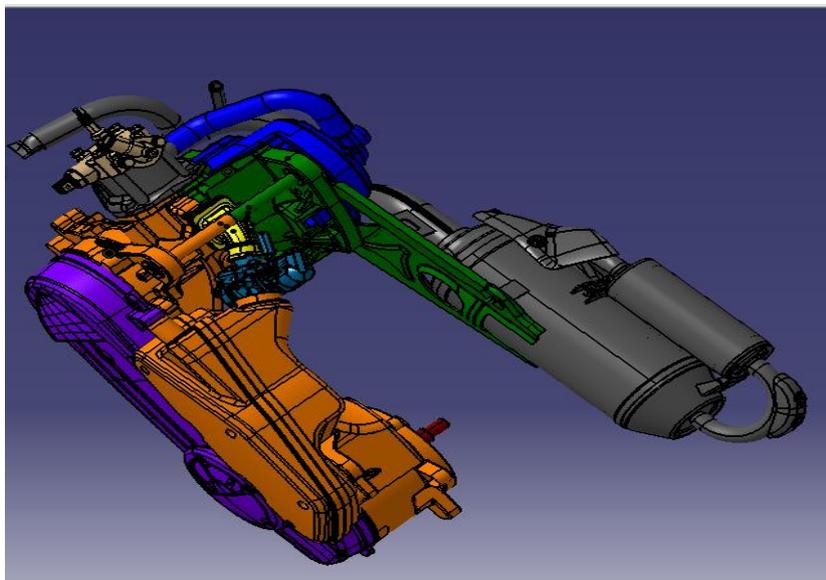


Figure 5.1. Le modèle CAO du bloc-moteur de scooter

Ce bloc de moteur consiste en 155 composants, dont la liste détaillée est disponible en annexe (1). Pour mettre en évidence les relations entre toutes les pièces constituant le groupe motopropulseur, nous avons ajouté une colonne supplémentaire dans laquelle nous répertorions les références des pièces en contact avec celles de la ligne spécifiée, Tableau 5.1.

**Tableau 5.1. Aperçu de la nomenclature et des pièces en contact**

Référence	Nombre	Désignation	Commentaire	En contact avec
501	1	Courroie de transmission	18x8x755	211;212;702;705
402	1	Ressort de rappel		401;110
401	1	Ensemble pignon de kick	Z=7 m=1.5 beta=45°	402;110;214;601
303	2	Vis à tête hexagonale	ISO 4017 M6x30	302;101
302	1	Moteur électrique de démarrage	Z=11 m=0.6	303;101;301
301	1	Ensemble pignon lanceur	Z1=14 m1=1.75 Z2=63 m2=0.6	101;103;104;302;208
219	1	Rondelle de calage		207;208;218
218	1	Plateau entraineur		207;219;213;216
217	1	Bague de flasque mobile		211;207;216
216	1	Moyeu de guidage		207;217;212;211;218
215	1	Ecrou hexagonal à embase	ISO 4161 M10	214;207
214	1	Moyeu lanceur		215;207;212;401
213	6	Galet		211;218
212	1	Flasque fixe de poulie motrice		501;214;207;216
211	1	Flasque mobile de poulie motrice		501;213;210;209;207;217;216

Par exemple, la *courroie de transmission 501* est en contact avec les pièces *211*, *212*, *702* et *705*. La création de cette colonne nous permettra d'établir et de mettre à jour plus facilement la matrice des solutions. En effet, pour un assemblage et une modularisation de 155 pièces, il faut vérifier une matrice 155x155.

L'ensemble des contacts entre chaque pièce du groupe motopropulseur est référencé dans la matrice Solution-Solution (Figure 5.2). La fonction d'appartenance est définie dans [0, 1] en utilisant les valeurs linguistiques présentées dans le Tableau 4.3. Les Holons Conception Floue sont trouvés par l'identification des attracteurs de solutions floues.

Figure 5.2. Aperçu de la matrice des contacts du groupe motopropulseur

### 5.3. Expérience 1 : Etude de Comportement des Holons Conception Floue

La première expérience de conception a été menée dans le cadre du projet : « Conception modulaire d'un scooter - conception du groupe motopropulseur ». Les objectifs poursuivis dans cette expérience sont les suivants :

- étudier le comportement des holons dans le cadre d'un cas industriel ;
- valider le logiciel développé sous MatLab : *Systèmes d'Aide à la Modélisation Holonique* (Issa & Ostrosi, 2016) dans un cas industriel.

La relation floue  $\tilde{\mathfrak{R}}_5 = (S, S)$ ,  $S = \{s_i\}$   $i \in I_S$ ,  $I_S = \{1, 2, \dots, q\}$  avec  $q = 155$  pour la conception d'un bloc-moteur de scooter est considérée comme une entrée pour notre application. Deux paramètres de contrôle : la *complétude* et la *discrimination* des Holon Solutions Floues ont été utilisés. Le comportement de l'Holon Conception Floue de ce bloc-moteur définit la sortie. La Figure 5.3, la Figure 5.4, la Figure 5.5, la Figure 5.6, la Figure 5.7 et la Figure 5.8 montrent certains résultats de simulation pour ce cas,

en variant les valeurs de l'intervalle acceptable ( $\alpha$ -level) et la *Force Acceptable d'Attraction* (AFA), avec la règle de sélection des attracteur « *Maximum de relations* ».

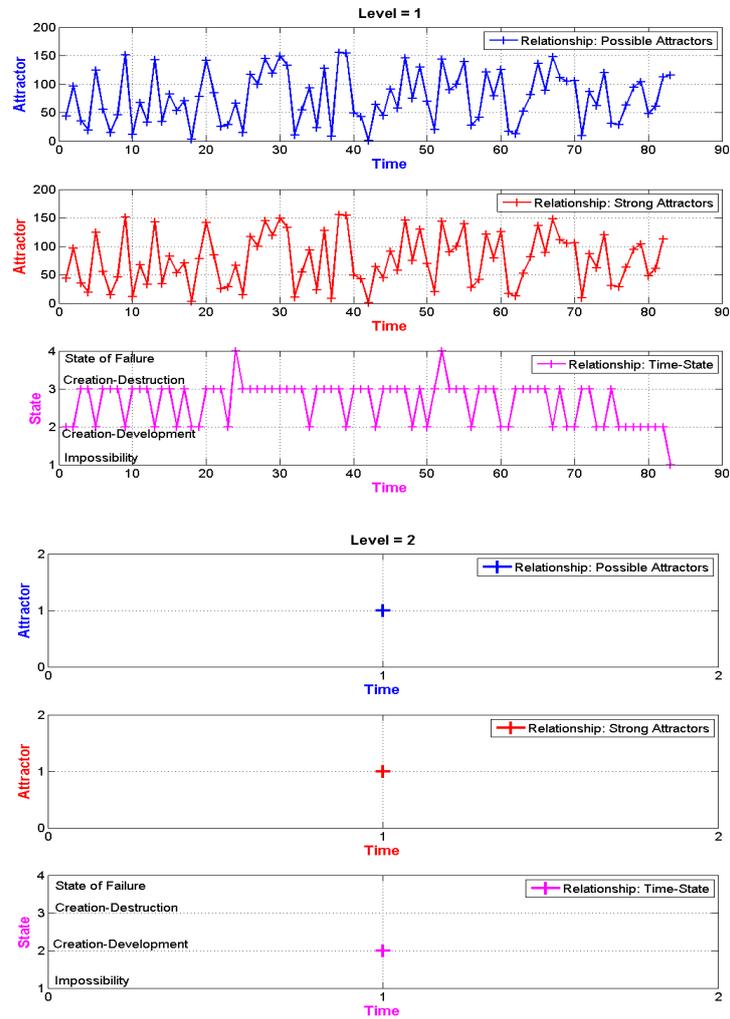
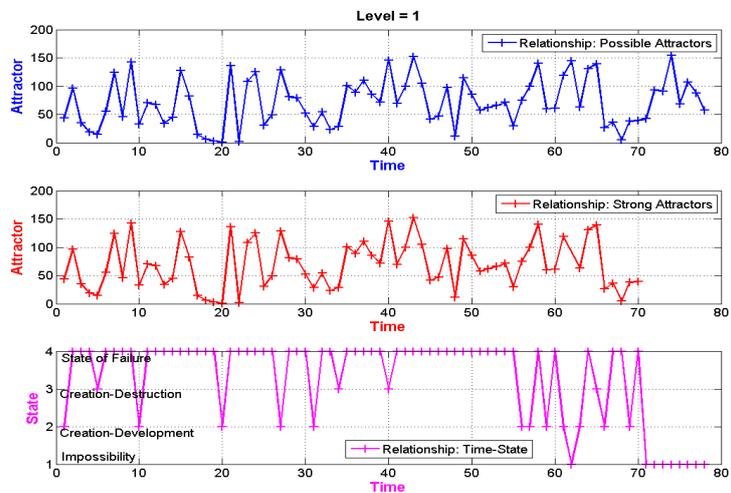


Figure 5.3. Les niveaux d'Holon Conception Floue du modèle CAO du bloc-moteur d'un scooter avec  $\alpha$ -level=0.3 et AFA=0.1



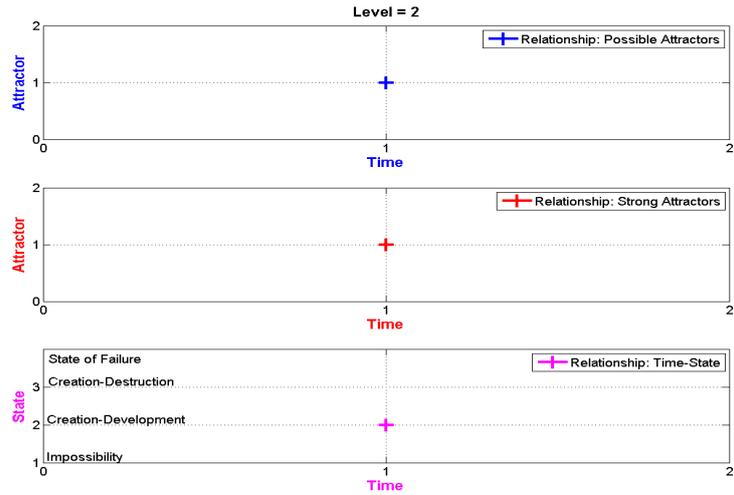


Figure 5.4. Les niveaux d'Holon Conception Floue du modèle CAO du bloc-moteur d'un scooter avec  $\alpha$ -level=0.3 et AFA=0.2

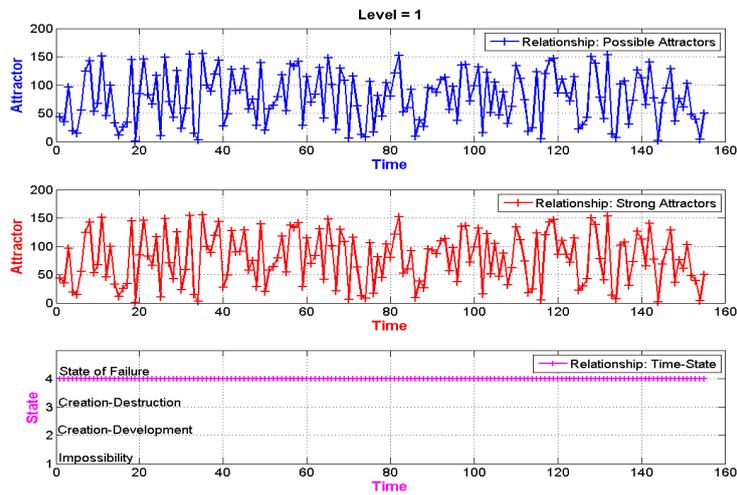
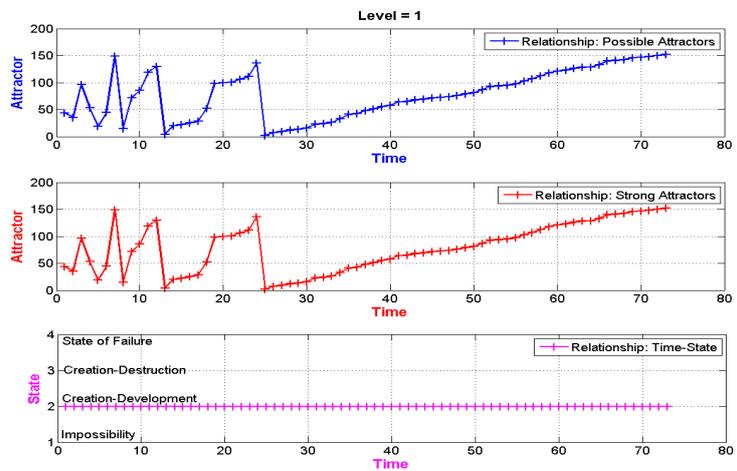


Figure 5.5. Le niveau d'Holon Conception Floue du modèle CAO du bloc-moteur d'un scooter avec  $\alpha$ -level=0.3 et AFA=0.6



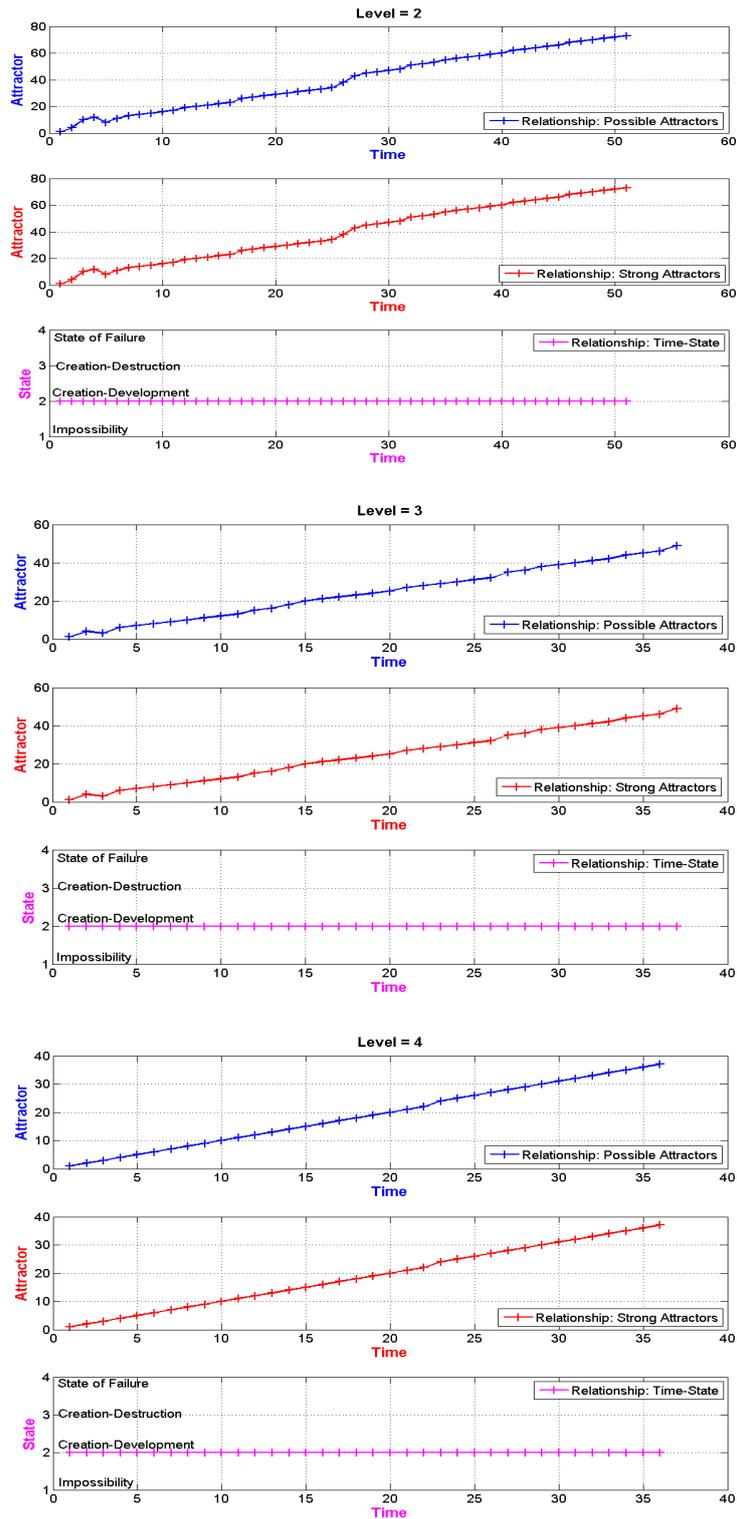
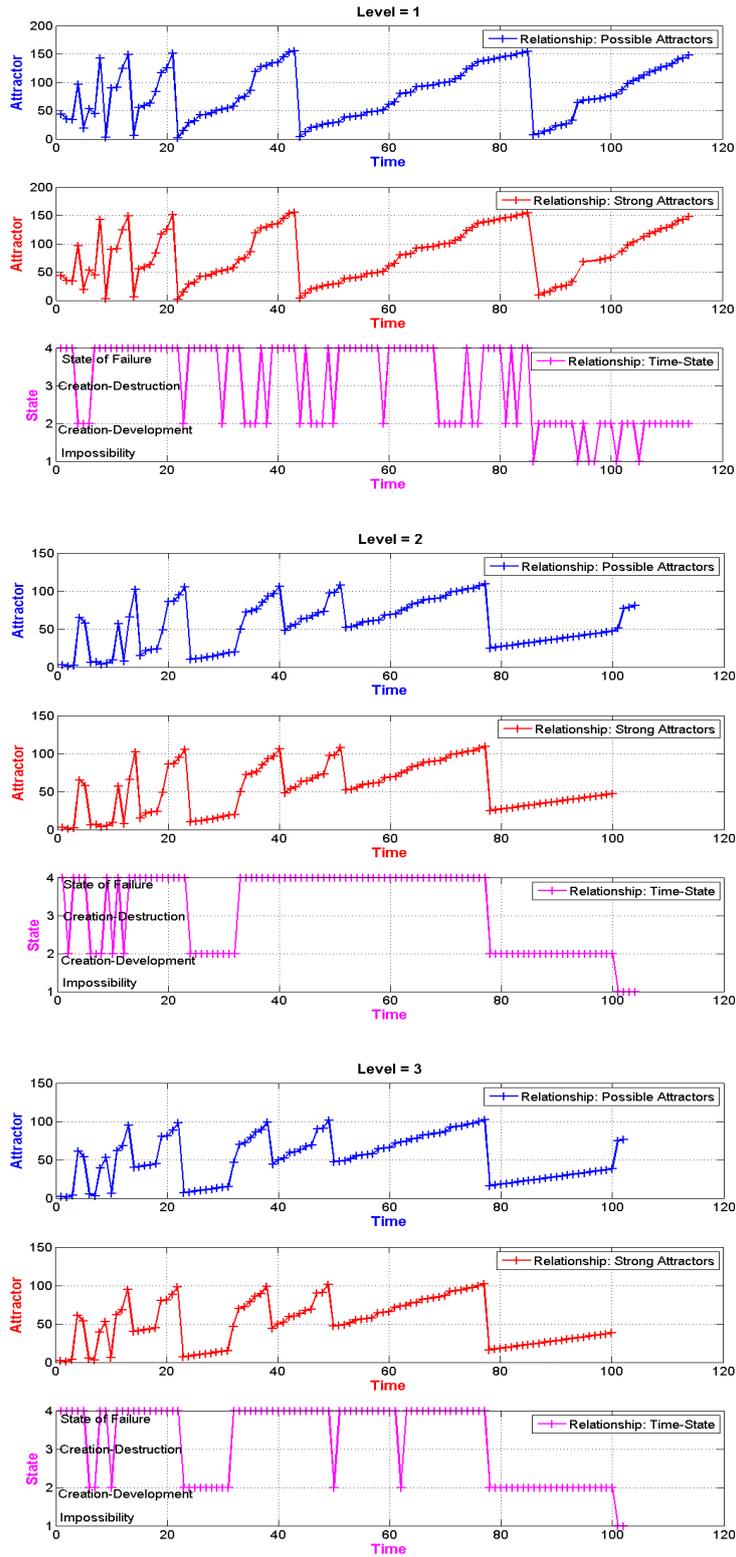


Figure 5.6. Les niveaux d'Holon Conception Floue du modèle CAO du bloc-moteur d'un scooter avec  $\alpha$ -level= 0.9 et AFA=0.1



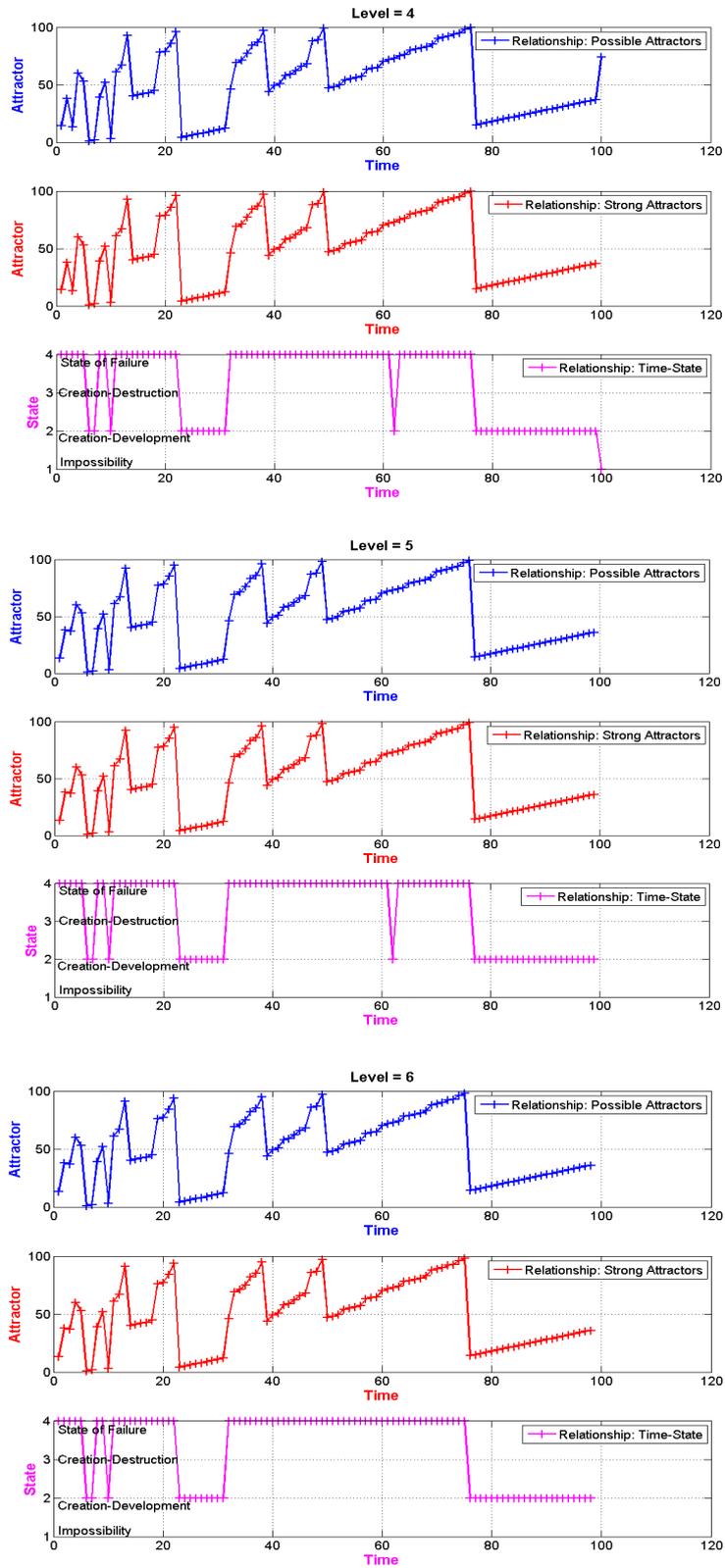


Figure 5.7. Les niveaux d'Holon Conception Floue du modèle CAO du bloc-moteur d'un scooter avec  $\alpha$ -level=0.9 et AFA=0.6

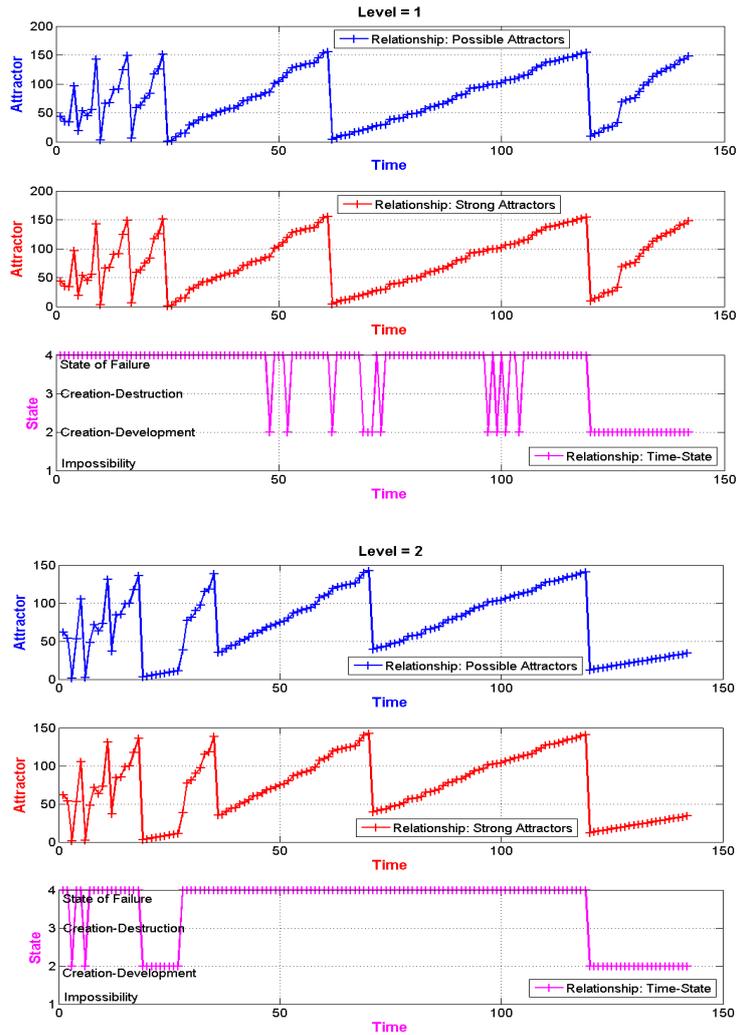
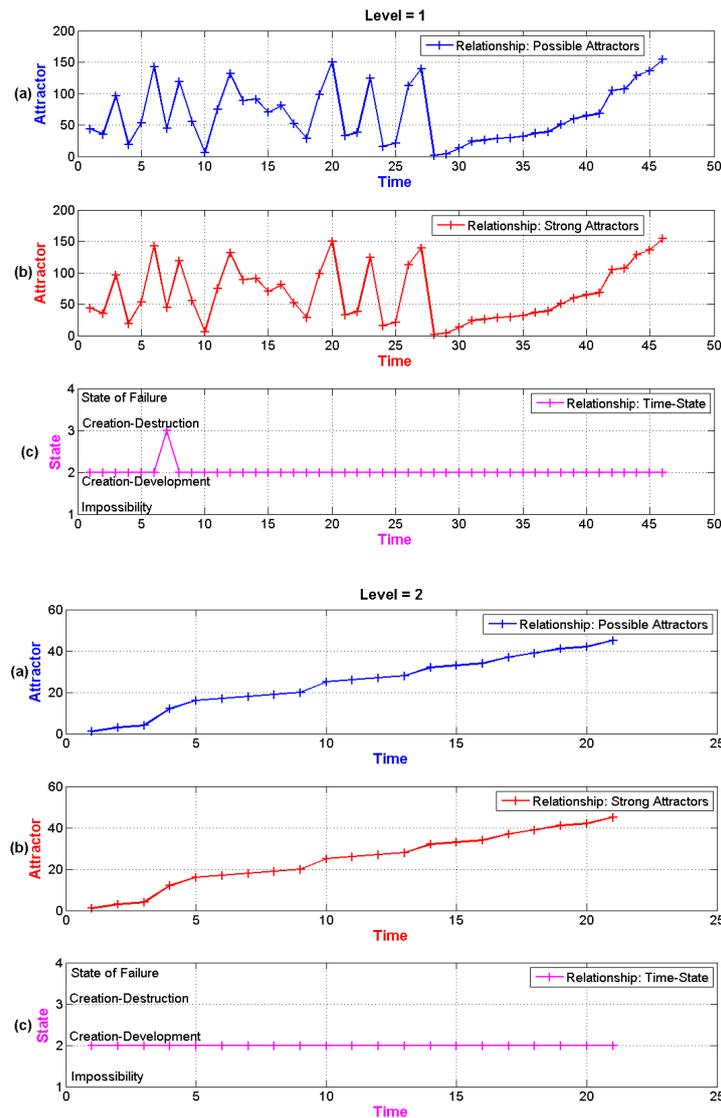


Figure 5.8. Les niveaux d'Holon Conception Floue du modèle CAO du bloc-moteur d'un scooter avec  $\alpha$ -level=0.9 et AFA=0.9

La Figure 5.9 montre la variation des attracteurs potentiels pour la valeur de l'intervalle acceptable ( $\alpha$ -level) égale à 0,6, et la valeur de la Force Acceptable d'Attraction égale à 0,1. L'Holon Conception Floue du bloc-moteur est caractérisé par l'état de la *Création-Développement* et de l'état de la *Création-Destruction* dans le premier niveau, et par l'état de *Création-Développement* dans les niveaux suivants. Cependant, l'augmentation des valeurs de (AFA) va produire le changement des états de l'Holon Conception Floue. Pour la valeur de (AFA) égale à 0.4, la Figure 5.10, dans le premier niveau, les états possibles du comportement de l'Holon Conception Floue du bloc-moteur sont : a) *Impossibilité* ; b) *Création-Développement* ; c) *Création-Destruction* et d) *Echec*. Dans les autres niveaux, le comportement de l'Holon Conception Floue est caractérisé par l'état de *Création-Développement*, l'état d'*Impossibilité* et l'état d'*Echec*. Si la

complétude de l'Holon Solutions Floues est augmentée, soit l'état d'Échec se produira soit l'état d'Holon Conception Floue changera : de l'état de *Création-Développement* à l'état d'*Impossibilité*. Cela montre que la phase de développement n'est plus possible ; il n'y a pas d'autre alternative mais un changement soudain. Un nombre important d'Holon Solutions Floues possibles n'a pas réussi à créer et développer des modules avec des valeurs croissantes de complétude.



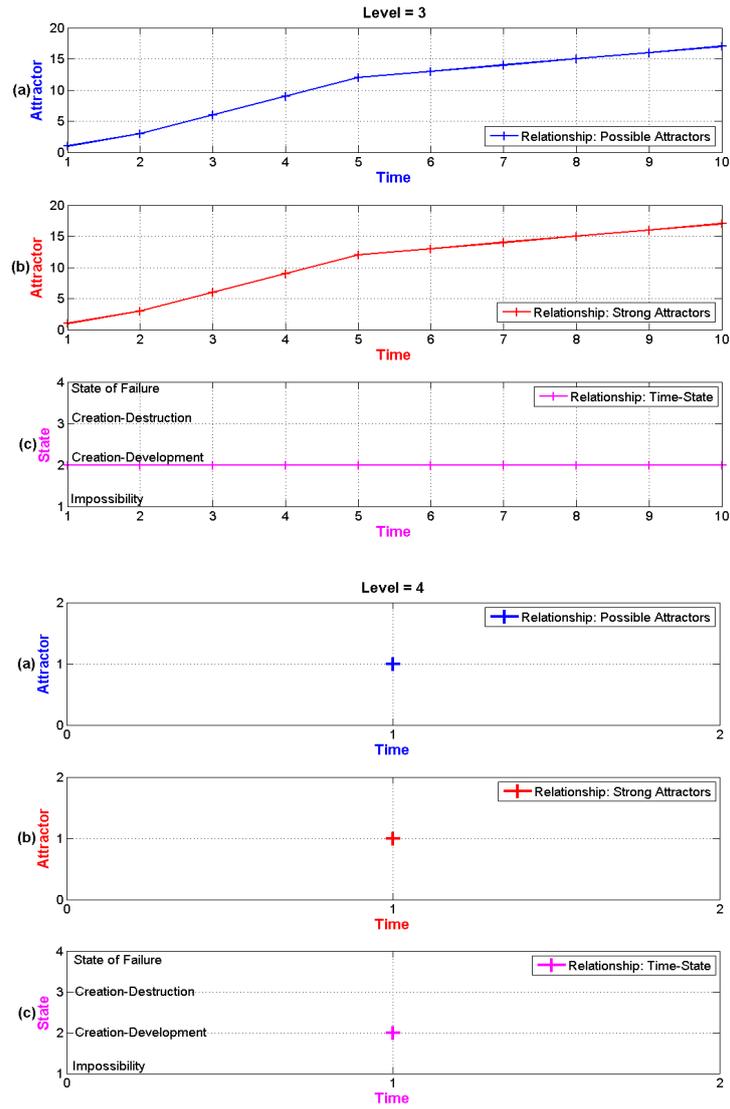
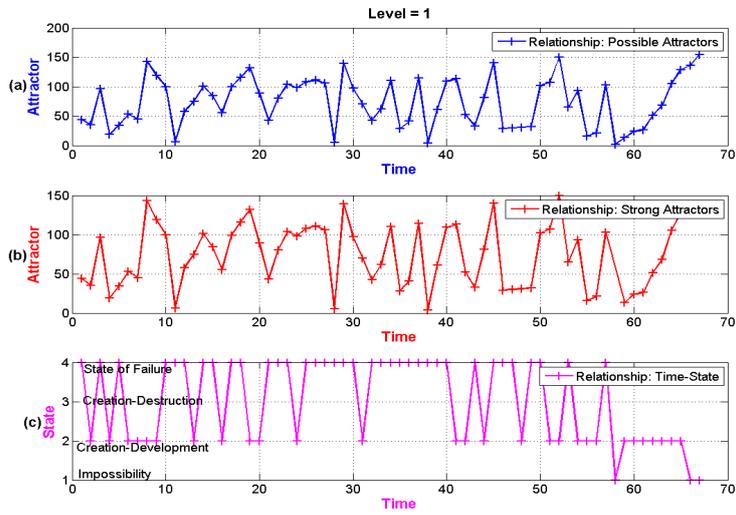
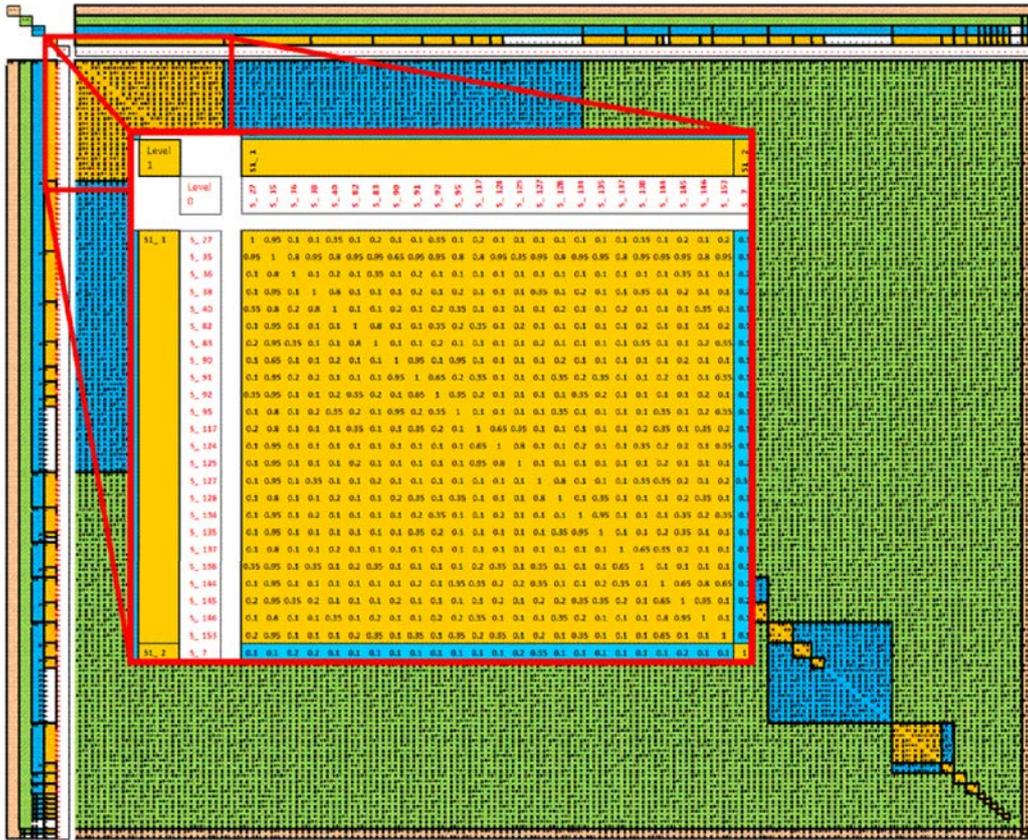


Figure 5.9. Les niveaux d'Holon Conception Floue du modèle CAO du bloc-moteur d'un scooter avec AFA = 0,1. Pour chaque niveau : (a) Attracteurs flous possibles; (b) Attracteurs flous forts; (c) Les États



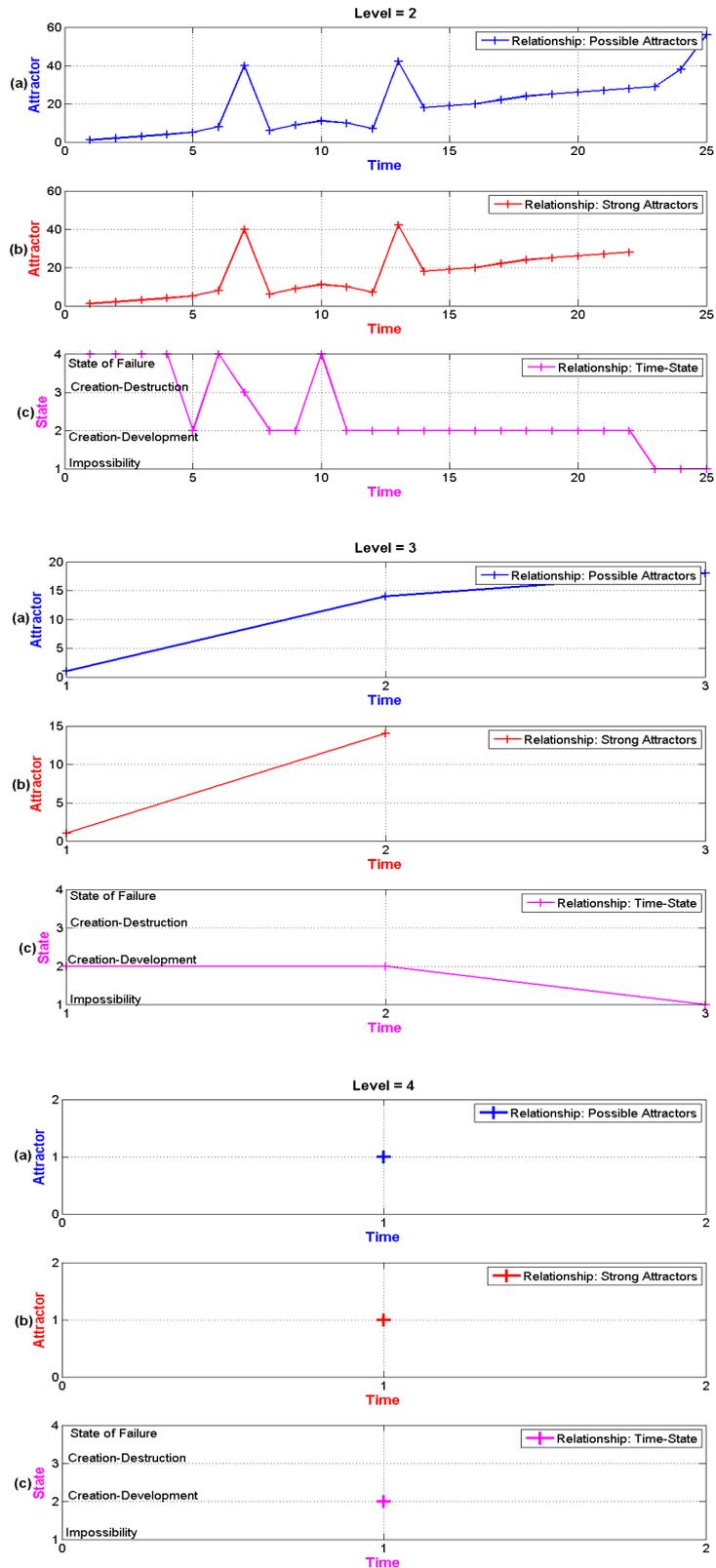


Figure 5.10. Les niveaux d'Holon Conception Floue du modèle CAO du bloc-moteur d'un scooter avec AFA = 0,4. Pour chaque niveau : (a) Attracteurs flous possibles; (b) Attracteurs flous forts; (c) Les États

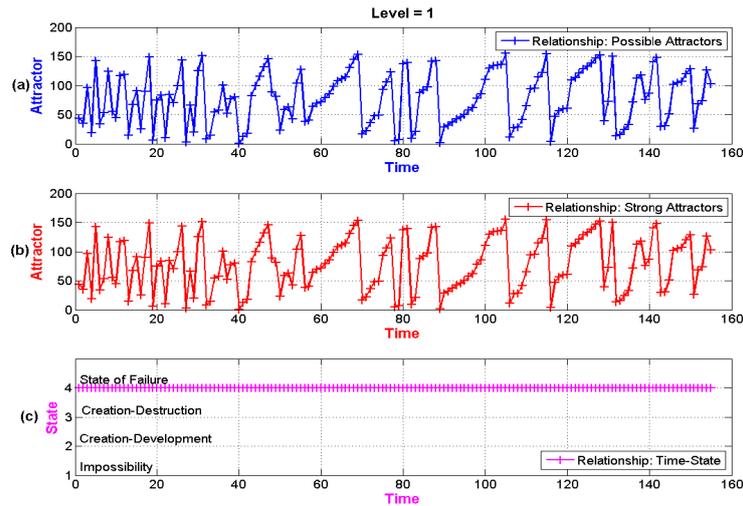


Figure 5.11. Le niveau d'Holon Conception Floue du modèle CAO du bloc-moteur d'un scooter avec AFA = 0,9. Pour chaque niveau : (a) Attracteurs flous possibles; (b) Attracteurs flous forts; (c) Les États

Le Tableau 5.2 montre la relation entre les états de comportement et les attracteurs flous avec certaines valeurs de l'intervalle acceptable ( $\alpha$ -level).

Tableau 5.2. Le comportement de du modèle CAO du bloc-moteur d'un scooter.

Acceptable intervals $\alpha$ -levels	Number of State	Values of AFA			
		Stable fuzzy attractors	Disappeared fuzzy attractors	Appeared-Disappeared fuzzy attractors	Failed fuzzy attractors
0.3	One State				0.3; 0.4; 0.5; 0.6; 0.7; 0.8; 0.9
	Two states				
	Three states				
	Four states			0.1; 0.2	
0.6	One State				0.8; 0.9
	Two states	0.7	0.1		
	Three states	0.4; 0.5; 0.6	0.2; 0.3		
	Four states				
0.9	One State	0.1			
	Two states	0.2; 0.3; 0.4; 0.7; 0.8; 0.9			
	Three states	0.5; 0.6			
	Four states				

Les Holons Conception Floue, caractérisés par une *Force Acceptable d'Attraction* (0,4), sont présentés dans le Tableau 5.3 et le Tableau 5.4. Les Holons Conception Floue caractérisés par une *Force Acceptable d'Attraction* différente dans chaque niveau : d'une grande *Force Acceptable d'Attraction* (0,7) à une *Force Acceptable d'Attraction* moyenne (0,4), sont présentés dans le Tableau 5.5 et le Tableau 5.6.

**Tableau 5.3. Les entrées pour l'Holon Conception Floue pour un scooter (AFA = 0,4)**

Type of Fuzzy Attractor is:	<input type="checkbox"/> Fuzzy Function Holon	<input checked="" type="checkbox"/> Fuzzy Solution Holon
Selection Rule	<input checked="" type="checkbox"/> Maximum	<input type="checkbox"/> Minimum
Fuzzy Attractor Identification is based on:	<input checked="" type="checkbox"/> Fuzzy Function-Solution Relationship	<input type="checkbox"/> Designer Know-How
Non-assigned fuzzy function holon is:	<input type="checkbox"/> Assigned to a exceptional fuzzy design holon	<input checked="" type="checkbox"/> Defined as singleton fuzzy function holon
Non-admitted fuzzy solution holon is:	<input type="checkbox"/> Assigned to a common fuzzy design holon	<input checked="" type="checkbox"/> Defined as singleton fuzzy solution holon
Condition of Attraction (AFA) is:	<input checked="" type="checkbox"/> Constant, Value is: 0.4	<input type="checkbox"/> Evolutive , Values are:
Acceptable interval $\alpha$ -level is	<input checked="" type="checkbox"/> Constant, Value is: 0.6	<input type="checkbox"/> Evolutive , Values are
Condition of Transfer is:	<input checked="" type="checkbox"/> Active	<input type="checkbox"/> Non-Active

**Tableau 5.4. Les résultats de l'Holon Conception Floue pour un scooter (AFA = 0,4)**

Level of fuzzy holon	Fuzzy holon number	Fuzzy function holon	Fuzzy solution holon	Fuzzy attractors
1	1	27, 35, 36, 38, 40, 82, 83, 90, 91, 92, 95, 117, 124, 125, 127, 128, 134, 135, 137, 138, 144, 145, 146, 153	27, 35, 36, 38, 40, 82, 83, 90, 91, 92, 95, 117, 124, 125, 127, 128, 134, 135, 137, 138, 144, 145, 146, 153	35
	2	7, 8, 9, 10, 11, 12, 14, 15, 18, 19, 20, 23, 37, 39	7, 8, 9, 10, 11, 12, 14, 15, 18, 19, 20, 23, 37, 39	19
	3	53, 54, 57, 60, 64, 66, 67, 77, 78, 79	53, 54, 57, 60, 64, 66, 67, 77, 78, 79	53
	4	3, 34, 45, 46, 47, 48, 49, 50	3, 34, 45, 46, 47, 48, 49, 50	45
	5	141, 142, 143, 147, 148, 149, 151, 152	141, 142, 143, 147, 148, 149, 151, 152	143
	6	118, 119, 120, 121, 122, 123, 126	118, 119, 120, 121, 122, 123, 126	119
	7	72, 73, 74, 75, 76	72, 73, 74, 75, 76	75
	8	55, 56, 58, 59, 63	55, 56, 58, 59, 63	58
	9	25, 130, 131, 132, 133	25, 130, 131, 132, 133	132
	10	85, 86, 87, 88, 89	85, 86, 87, 88, 89	89
	11	98, 100, 115, 116	98, 100, 115, 116	116
	12	1, 69, 70, 71	1, 69, 70, 71	70
	13	111, 112, 113	111, 112, 113	113
	14	52, 61, 62	52, 61, 62	62

Level of fuzzy holon	Fuzzy holon number	Fuzzy function holon	Fuzzy solution holon	Fuzzy attractors
	15	80, 81, 84	80, 81, 84	84
	16	28, 31	28, 31	31
	17	104, 107	104, 107	107
	18	150, 155	150, 155	150
	19	93, 94	93, 94	93
	20	16, 17	16, 17	16
	21	21, 22	21, 22	21
	22	13	13	13
	23	24	24	24
	24	26	26	26
	25	51	51	51
	26	68	68	68
	27	105	105	105
	28	129	129	129
	29-56*	2, 4, 5, 6, 29, 30, 32, 33, 41, 42, 43, 44, 65, 96, 97, 99, 101, 102, 103, 106, 108, 109, 110, 114, 136, 139, 140, 154	2, 4, 5, 6, 29, 30, 32, 33, 41, 42, 43, 44, 65, 96, 97, 99, 101, 102, 103, 106, 108, 109, 110, 114, 136, 139, 140, 154	
	1	1, 2, 3, 4, 8, 14, 15, 16, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 39, 40, 41, 54, 55	1, 2, 3, 4, 8, 14, 15, 16, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 39, 40, 41, 54, 55	8
	2	6	6	6
	3	9, 23, 53	9, 23, 53	9
	4	10, 21	10, 21	10
	5	7, 12	7, 12	7
	6	11, 13, 17, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 52	11, 13, 17, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 52	11
2	7	5, 18	5, 18	18
	8	19	19	19
	9	20	20	20
	10	22	22	22
	11	24	24	24
	12	25	25	25
	13	26	26	26
	14	27	27	27
	15	28	28	28
	16-18*	29, 38, 56	29, 38, 56	
	1	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 15, 16, 17	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 15, 16, 17	1
3	2	14	14	14
	3*	18	18	
4	1	1, 2, 3	1, 2, 3	1

\* Chaque élément de l'état d'Impossible est renuméroté et considéré pour la création d'holon dans le prochain niveau

**Tableau 5.5. Les entrées pour l'Holon Conception Floue pour un scooter (AFA =0,7 ; 0,4)**

Type of Fuzzy Attractor is:	<input type="checkbox"/> Fuzzy Function Holon	<input checked="" type="checkbox"/> Fuzzy Solution Holon
Selection Rule	<input checked="" type="checkbox"/> Maximum	<input type="checkbox"/> Minimum
Fuzzy Attractor Identification is based on:	<input checked="" type="checkbox"/> Fuzzy Function-Solution Relationship	<input type="checkbox"/> Designer Know-How
Non-assigned fuzzy function holon is:	<input type="checkbox"/> Assigned to a exceptional fuzzy design holon	<input checked="" type="checkbox"/> Defined as singleton fuzzy function holon
Non-admitted fuzzy solution holon is:	<input type="checkbox"/> Assigned to a common fuzzy design holon	<input checked="" type="checkbox"/> Defined as singleton fuzzy solution holon
Condition of Attraction (AFA) is:	<input type="checkbox"/> Constant, Value is:	<input checked="" type="checkbox"/> Evolutive , Values are: 0.7, 0.4
Acceptable interval $\alpha$ -level is	<input checked="" type="checkbox"/> Constant, Value is: 0.6	<input type="checkbox"/> Evolutive , Values are
Condition of Transfer is:	<input checked="" type="checkbox"/> Active	<input type="checkbox"/> Non-Active

**Tableau 5.6. Les résultats de l'Holon Conception Floue pour un scooter (AFA =0,7 ; 0,4)**

Level of fuzzy holon	Fuzzy holon number	Fuzzy function holon	Fuzzy solution holon	Fuzzy attractors	
1	1	85, 86, 87, 88, 89	85, 86, 87, 88, 89	89	
	2	111, 112, 113	111, 112, 113	113	
	3	28, 31	28, 31	31	
	4-148*	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 29, 30, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 53, 54, 55, 56, 57, 58, 59, 60, 61, 62, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 69, 70, 71, 72, 73, 74, 75, 76, 77, 78, 79, 80, 81, 82, 83, 84, 90, 91, 92, 93, 94, 95, 96, 97, 98, 99, 100, 101, 102, 103, 104, 105, 106, 107, 108, 109, 110, 114, 115, 116, 117, 118, 119, 120, 121, 122, 123, 124, 125, 126, 127, 128, 129, 130, 131, 132, 133, 134, 135, 136, 137, 138, 139, 140, 141, 142, 143, 144, 145, 146, 147, 148, 149, 150, 151, 152, 153, 154, 155	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 29, 30, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 53, 54, 55, 56, 57, 58, 59, 60, 61, 62, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 69, 70, 71, 72, 73, 74, 75, 76, 77, 78, 79, 80, 81, 82, 83, 84, 90, 91, 92, 93, 94, 95, 96, 97, 98, 99, 100, 101, 102, 103, 104, 105, 106, 107, 108, 109, 110, 114, 115, 116, 117, 118, 119, 120, 121, 122, 123, 124, 125, 126, 127, 128, 129, 130, 131, 132, 133, 134, 135, 136, 137, 138, 139, 140, 141, 142, 143, 144, 145, 146, 147, 148, 149, 150, 151, 152, 153, 154, 155		
	1	30, 36, 37, 39, 41, 83, 84, 86, 87, 88, 91, 110, 117, 118, 120, 121, 127, 128, 130, 131, 137, 138, 139, 146	30, 36, 37, 39, 41, 83, 84, 86, 87, 88, 91, 110, 117, 118, 120, 121, 127, 128, 130, 131, 137, 138, 139, 146	36	
	2	2	1, 25	1, 25	1
	3	10, 11, 12, 13, 14, 15, 17, 18, 21, 22, 23, 26, 38, 40	10, 11, 12, 13, 14, 15, 17, 18, 21, 22, 23, 26, 38, 40	22	
	4	54, 55, 58, 61, 65, 67, 68, 78, 79,	54, 55, 58, 61, 65, 67, 68, 78, 79,	54	

Level of fuzzy holon	Fuzzy holon number	Fuzzy function holon	Fuzzy solution holon	Fuzzy attractors
		80	80	
	5	6, 35, 46, 47, 48, 49, 50, 51	6, 35, 46, 47, 48, 49, 50, 51	46
	6	134, 135, 136, 140, 141, 142, 144, 145	134, 135, 136, 140, 141, 142, 144, 145	136
	7	111, 112, 113, 114, 115, 116, 119	111, 112, 113, 114, 115, 116, 119	112
	8	73, 74, 75, 76, 77	73, 74, 75, 76, 77	76
	9	56, 57, 59, 60, 64	56, 57, 59, 60, 64	59
	10	28, 123, 124, 125, 126	28, 123, 124, 125, 126	125
	11	94, 96, 108, 109	94, 96, 108, 109	109
	12	4, 70, 71, 72	4, 70, 71, 72	71
	13	53, 62, 63	53, 62, 63	63
	14	81, 82, 85	81, 82, 85	85
	15	100, 103	100, 103	103
	16	143, 148	143, 148	143
	17	89, 90	89, 90	89
	18	19, 20	19, 20	19
	19	16	16	16
	20	27	27	27
	21	29	29	29
	22	52	52	52
	23	69	69	69
	24	101	101	101
	25	112	112	112
	26-56*	2, 3, 5, 7, 8, 9, 24, 31, 32, 33, 34, 42, 43, 44, 45, 66, 92, 93, 95, 97, 98, 99, 102, 104, 105, 106, 107, 129, 132, 133, 147	2, 3, 5, 7, 8, 9, 24, 31, 32, 33, 34, 42, 43, 44, 45, 66, 92, 93, 95, 97, 98, 99, 102, 104, 105, 106, 107, 129, 132, 133, 147	
	1	1, 3, 4, 5, 9, 13, 14, 27, 29, 30, 31, 33, 34, 35, 36, 37, 39, 40, 41, 54, 55	1, 3, 4, 5, 9, 13, 14, 27, 29, 30, 31, 33, 34, 35, 36, 37, 39, 40, 41, 54, 55	40
	2	7	7	7
	3	2, 32	2, 32	2
	4	10, 20, 53	10, 20, 53	10
	5	8, 12	8, 12	8
	6	11, 15, 26, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 52	11, 15, 26, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 52	42
3	7	6, 16	6, 16	16
	8	17	17	17
	9	18	18	18
	10	19	19	19
	11	21	21	21
	12	22	22	22
	13	23	23	23
	14	24	24	24
	15	25	25	25
	16-18*	28, 38, 56	28, 38, 56	
4	1	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12,	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12,	1

Level of fuzzy holon	Fuzzy holon number	Fuzzy function holon	Fuzzy solution holon	Fuzzy attractors
		13, 15, 16, 17	13, 15, 16, 17	
	2	14	14	14
	3*	18	18	
5	1	1, 2, 3	1, 2, 3	1

\* Chaque élément de l'état d'Impossible est renuméroté et considéré pour la création d'holon dans le prochain niveau

## 5.4. Expérience 2 : Etude de Modélisation Holonique Floue

La deuxième expérience de conception a été menée, toujours dans le cadre du projet : « Conception modulaire d'un scooter - conception du groupe motopropulseur ». Les objectifs poursuivis dans cette expérience sont les suivants :

- analyser les résultats de la modélisation holonique dans le cadre de l'activité de conception coopérative.
- tester la modélisation holonique dans un projet industriel.

Une détermination préalable du scénario de l'expérience a été fixée. Un groupe de cinq concepteurs novices a été constitué. L'équipe travaille depuis quatre mois sur ce projet. L'équipe de conception a disposé, au départ, de l'étude d'un cahier des charges. Les concepteurs disposent des modèles CAO (incomplets) et des modèles physiques du groupe motopropulseur. Le déroulement d'expérience est tel que les concepteurs ont à la fois mené une conception *hors réunion et en réunion*.

Plusieurs *Holon Modules* ont été générés en variant les valeurs des paramètres de contrôle  $\alpha$ -level, AFA et la règle de la sélection d'attracteur. Partant des résultats proposés par le modèle, l'objectif a été d'analyser la pertinence des résultats selon le pont de vue du groupe.

Nous avons choisi de présenter la matrice avec  $\alpha$ -level=0.6, AFA=0.3, la règle de sélection de l'attracteur est minimum. Les résultats obtenus après traitement de la matrice solution-solution montrent la création de sous-ensembles dans plusieurs niveaux de holon (Figure 5.12).

Dans la matrice de holon, nous pouvons distinguer plusieurs niveaux de modules, numéroté de 1 à 9, où 9 correspond au bloc moteur dans son intégralité. Nous avons donc 8 niveaux des holons.

Ces niveaux ont été présentés aux concepteurs du bloc moteur (Gosset, et al., 2015). Les modules créés dans le niveau de holon 4 ont été choisis par les concepteurs. (Tableau 5.7). Treize holons modules ont été identifiés. L'expérience a montré que les modules ont été sélectionnés en utilisant l'espace fonctionnel. La Figure 5.13 montre le modèle CAO à base de modules.

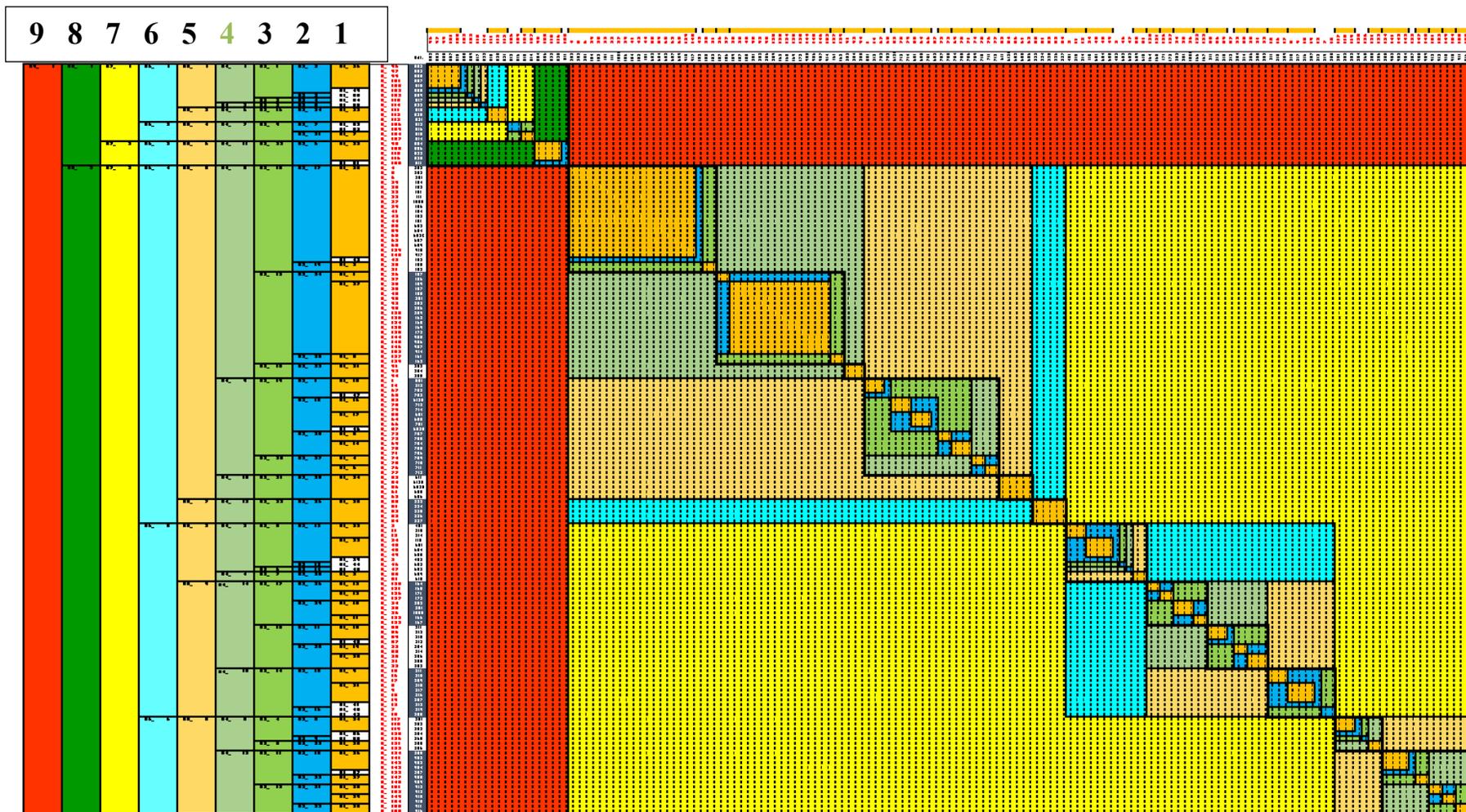


Figure 5.12. Les niveaux d'Holon Conception Floue du modèle CAO du bloc-moteur d'un scooter avec  $\alpha$ -level=0.6 ; AFA = 0.3, Attracteur Minimum

**Tableau 5.7. La liste des modules obtenus avec  $\alpha$ -level=0.6, AFA=0.3 et règle Minimum**

N° du module	Référence	Désignation	Module/Sous assemblage	Commentaire	Module
1	802	Carter carburateur	Carburateur (admission)		Carburateur
	803	-	Carburateur (admission)		
	805	Flotteur avec axe	Carburateur (admission)		
	807	Cuve	Carburateur (admission)		
	815	-	Carburateur (admission)		
	808	Gicleur	Carburateur (admission)		
	809	Gicleur de ralenti	Carburateur (admission)		
	817	Vis	Carburateur (admission)		
	822	Joint de cuve	Carburateur (admission)		
	818	Vis de butée avec ressort	Carburateur (admission)		
	820	-	Carburateur (admission)		
	821	-	Carburateur (admission)		
	813	Plaquette de fixation	Carburateur (admission)		
	816	Vis	Carburateur (admission)		
	810	Starter	Carburateur (admission)		
	814	-	Carburateur (admission)		
	804	Ressort de boisseau	Carburateur (admission)		
		Chapeau de chambre	Carburateur (admission)		
	823	Joint torique	Carburateur (admission)		
	830	-	Carburateur (admission)		
811	Pignon kick	Carburateur (admission)			
2	303	Vis à tête hexagonale	Démarrreur / Kick	Bâti gauche	Bâti
	302	Moteur électrique de démarrage	Démarrreur / Kick		
	301	Ensemble pignon lanceur	Démarrreur / Kick		
	154	Pion de centrage	Carter		
	153	Roulement	Interface / Support / Bequille		
	151	Vis à embase H M6 x 1	Carter		
	111	Vis à tête hexagonale	Démarrreur / Kick		
	108B	Roulement 20-47-14	Vilebrequin		
	106	Joint à lèvres 20-30-7	Vilebrequin		
	104	Coussinet à colerette fritté, C 8-12-8	Démarrreur / Kick		
	102	Palier de pignon lanceur	Démarrreur / Kick		
	101	Carter gauche	Carter		
	653	Joint de couvercle réducteur	Réducteur		
	654	Pion de centrage 8-12	Réducteur		
	652C	Roulement à billes	Réducteur		
	657	Vis HE	Réducteur		
	659	Butée en caoutchouc	Interface / Support / Bequille		
	918	Réservoir	Réservoir		
	917	Vis	Echappement		
	103	Coussinet cylindrique fritté, 8-12-8	Démarrreur / Kick		
155	Roulement	Interface / Support / Bequille			
152	Axe support moteur	Interface / Support / Bequille			
3	157	Axe support moteur	Interface / Support / Bequille	Bâti droit	Bâti
	156	Roulement	Interface / Support / Bequille		
	109	Carter droit	Carter		

N° du module	Référence	Désignation	Module/Sous assemblage	Commentaire	Module
	107	Joint de carter	Vilebrequin		
	105	Pion de centrage 6-16	Vilebrequin		
	251	Béquille	Interface / Support / Bequille		
	253	Rondelle caoutchouc	Interface / Support / Bequille		
	256	Ressort de béquille	Interface / Support / Bequille		
	359	Joint d'embase	Cylindre / Piston		
	162	Vis HE capteur	Générateur		
	168	Stator	Générateur		
	169	Vis HE	Générateur		
	173	Vis HE	Refroidissement		
	905	Plaque support échappement	Echappement		
	906	Bras support échappement	Echappement		
	907	Vis à embase H	Echappement		
	914	Vis CHC	Echappement		
	161	Support capteur	Générateur		
	163	Capteur	Générateur		
4	252	Axe	Interface / Support / Bequille		-
	254	Rondelle plate	Interface / Support / Bequille		
	255	Goupille	Interface / Support / Bequille		
5	501	Courroie de transmission	Variateur		Transmission 2
	212	Flasque fixe de poulie motrice	Variateur		
	702	Poulie	Embrayage / Correcteur de couple		
	703	Pion correcteur	Embrayage / Correcteur de couple		
	612A	Arbre primaire	Réducteur		
	713	Ecrou de fixation de la cloche d'embrayage	Embrayage / Correcteur de couple		
	714	Rondelle	Embrayage / Correcteur de couple		
	651	Couvercle réducteur	Réducteur		
	658	Joint à lèvres arbre primaire	Réducteur		
	701	Joint spy	Embrayage / Correcteur de couple		
	652B	Roulement à billes	Réducteur		
	707	Guide de ressort	Embrayage / Correcteur de couple		
	708	Ressort de poussée	Embrayage / Correcteur de couple		
	704	Rondelle	Embrayage / Correcteur de couple		
	705	Correcteur	Embrayage / Correcteur de couple		
	706	Joint torique	Embrayage / Correcteur de couple		
	709	Ressort d'embrayage	Embrayage / Correcteur de couple		
	710	Embrayage	Embrayage / Correcteur de couple		
711	Ecrou embrayage	Embrayage / Correcteur de couple			
712	Cloche embrayage	Embrayage / Correcteur de couple			
6	611	Arbre de sortie	Réducteur		Transmission 3
	612B	Arbre secondaire	Réducteur		
	652A	Roulement à billes	Réducteur		
	655	Joint à lèvres arbre sortie	Réducteur		
	656	Roulement à billes	Réducteur		
7	222	Vis HE	Carburateur (admission)		Transfert EC
	224	Clapet d'admission	Carburateur (admission)		
	225	Vis indémontable	Carburateur (admission)		
	226	Joint de clapet d'admission	Carburateur (admission)		
	227	Raccord de carburateur	Carburateur (admission)		

N° du module	Référence	Désignation	Module/Sous assemblage	Commentaire	Module
8	401	Ensemble pignon de kick	Démarrreur / Kick		Démarrreur
	215	Ecrou hexagonal à embase	Variateur		
	214	Moyeu lanceur	Variateur		
	110	Couvercle gauche	Carter		
	601	Pignon de kick	Démarrreur / Kick		
	604	Rondelle plate	Démarrreur / Kick		
	605	Circlips extérieur	Démarrreur / Kick		
	402	Ressort de rappel	Démarrreur / Kick		
	602	Ressort de rappel de kick	Démarrreur / Kick		
	603	Entretoise	Démarrreur / Kick		
	609	Levier kick	Démarrreur / Kick		
	610	Vis CHC	Démarrreur / Kick		
9	164	Vis HE rotor	Générateur	Deux sous-modules	Refroidissement/Générateur électrique
	165	Cylindre caoutchouc	Générateur		
	171	Turbine de refroidissement	Refroidissement		
	172	Couvercle de turbine	Refroidissement		
	202	Excentrique compresseur	Vilebrequin		
	201	Vilebrequin droit	Vilebrequin		
	108A	Roulement 20-47-14	Vilebrequin		
	166	Rotor	Générateur		
167	Ecrou embase	Générateur			
10	311	Jonc / Circlips	Cylindre / Piston		Conversion ET en EM
	312	Axe piston	Cylindre / Piston		
	315	Piston	Cylindre / Piston		
	313	Segment de piston	Cylindre / Piston		
	204	Bielle	Vilebrequin		
	314	Cage à aiguilles	Cylindre / Piston		
	206	Rondelle d'embellage	Vilebrequin		
	205	Cage à aiguilles	Vilebrequin		
	203	Maneton	Vilebrequin		
11	211	Flasque mobile de poulie motrice	Variateur		Transmission 1
	210	Joint torique	Variateur		
	209	Enveloppe de poulie	Variateur		
	218	Plateau entraineur	Variateur		
	217	Bague de flasque mobile	Variateur		
	216	Moyeu de guidage	Variateur		
	207	Vilebrequin gauche	Vilebrequin		
	213	Galet	Variateur		
	219	Rondelle de calage	Variateur		
	208	Couronne dentée	Démarrreur / Kick		
12	351	Vis HE	Cylindre / Piston		Conversion EC en ET
	352	Rondelle	Cylindre / Piston		
	353	Culasse	Cylindre / Piston		
	354	Bougie	Cylindre / Piston		
	360	Connecteur allumage bougie	Cylindre / Piston		
	355	-	Cylindre / Piston		
	356	Vis	Cylindre / Piston		
13	358	Cylindre	Cylindre / Piston		Ligne échappement
	902	Vis	Echappement		
	903	Plaque fixation	Echappement		

N° du module	Référence	Désignation	Module/Sous assemblage	Commentaire	Module
	904	Echappement + catalyseur	Echappement		
	357	Joint de culasse	Cylindre / Piston		
	908	Carter protection échappement	Echappement		
	909	Vis torx + rondelle	Echappement		
	912	Silencieux	Echappement		
	913	Vis torx + rondelle	Echappement		
	910	Conduit retour échappement	Echappement		
	915	Vis torx + rondelle	Echappement		
	911	Coque protection conduit retour	Echappement		
	916	Vis torx + rondelle	Echappement		

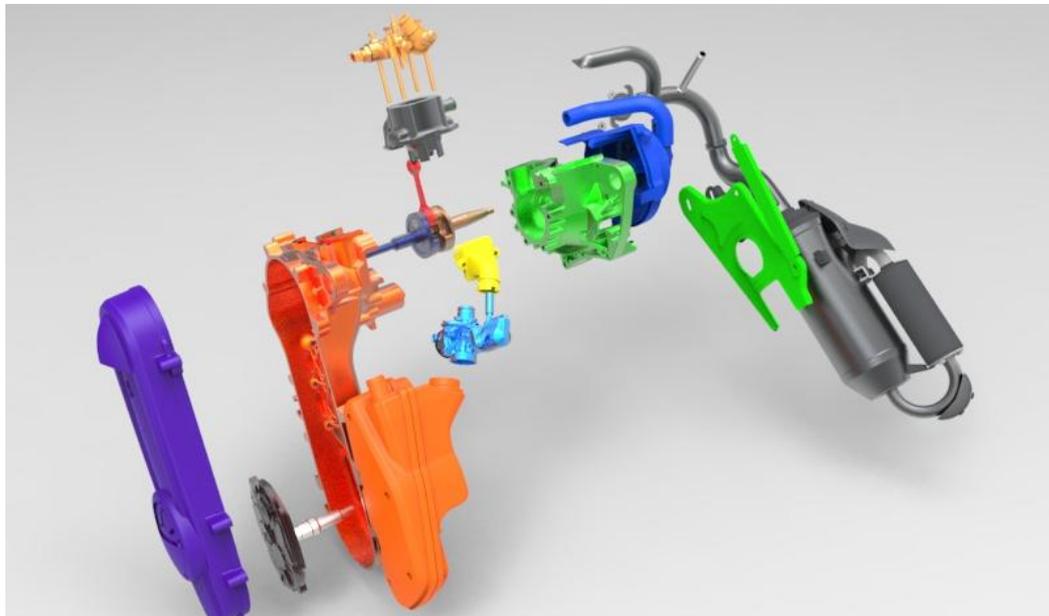


Figure 5.13. Identification des sous-modules de bloc-moteur de scooter - Vue éclatée

## 5.5. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons étudié un cas industriel réel de la conception pour la configuration, à l'aide des modules pour un groupe motopropulseur.

Deux expériences de conception sont menées dans le cadre du projet : « Conception modulaire d'un scooter - conception du groupe motopropulseur ».

Les objectifs de ces expériences sont les suivants :

- tester la modélisation holonique dans un projet industriel,

- étudier le comportement des holons dans le cadre d'un cas industriel,
- analyser les résultats de la modélisation holonique dans le cadre de l'activité de conception coopérative,
- valider le logiciel développé sous MatLab : *Systèmes d'Aide à la Modélisation Holonique* (Issa & Ostrosi, 2016) dans un cas industriel.

L'étude a mis aussi en évidence les points suivants :

- notre approche est valide d'une part, et applicable sur tout type de système mécanique, quel que soit son nombre de composants élémentaires d'autre part,
- malgré le nombre important de composants, le comportement des holons vérifie l'approche théorique,
- la typologie des attracteurs joue un rôle très important dans la création des Holons Modules,
- l'interprétation des résultats du point de vue cognitif montre l'influence de l'espace fonctionnel,
- les difficultés des interprétations des résultats par les concepteurs parce que le logiciel développé *Systèmes d'Aide à la Modélisation Holonique* ne pilote pas les modèles CAO.



## **CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES GENERALES**



## CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES GENERALES

La conception des familles de produits configurables ou la conception pour la configuration a émergé pendant les dernières années comme un outil efficace pour résoudre les nouveaux défis d'un marché variable et dynamique , (Männistö, et al., 2001), (Sabin & Weigel, 1998), (Tiihonen, et al., 1996), (Tiihonen, et al., 1999), (Deciu, et al., 2005). La conception pour la configuration est le processus qui génère un ensemble de configurations de produits, basé sur un modèle de configuration, et est caractérisée par une tâche de configuration , (Männistö, et al., 2001), (Sabin & Weigel, 1998), (Tiihonen, et al., 1996), (Tiihonen, et al., 1999).

En considérant l'espace de la conception pour la configuration comme multi-vues, multi-dimensionnel et incertain (Deciu, et al., 2005), (Ostrosi, et al., 2012a), (Fougères & Ostrosi, 2013), cette thèse porte sur l'étude de la conception pour la configuration comme un problème holistique.

Nous avons proposé d'étudier plus particulièrement :

- Appréhender et modéliser la conception pour la configuration comme un problème de recherche de consensus entre différents métiers ;
- Appréhender et modéliser les relations intra et inter domaines considérant la conception pour la configuration un problème holistique.
- Formaliser les grammaires génératives pour la modélisation de produit dans les deux principaux espaces : fonctionnel et structurel.
- Modéliser les liens entre ces deux espaces à l'aide du concept de holon de conception.

Par rapport aux objectifs de recherche fixés, les travaux de recherche menés dans le cadre de cette thèse ont pour résultats les contributions majeures suivantes :

- I. Adoption d'une démarche de conception pour la configuration de familles de produits s'appuyant sur les modèles de (Deciu, et al., 2005), (Deciu, et al., 2007), (Ostrosi, et al., 2012a), (Ostrosi & Tié Bi, 2010), (Fougères & Ostrosi, 2013).
- II. Proposition des grammaires fonctionnelles.

- III. Proposition de la modélisation holonique.
- IV. Proposition de l'outil informatique pour la modélisation holonique et sa validation.

*I. Adoption d'une démarche de conception pour la configuration de familles de produits s'appuyant sur les modèles de* (Deciu, et al., 2005), (Deciu, et al., 2007), (Ostrosi, et al., 2012a), (Ostrosi & Tié Bi, 2010), (Fougères & Ostrosi, 2013).

Dans le deuxième chapitre de cette thèse, nous avons adopté une démarche de conception pour la configuration basée sur de multiples modèles flous.

Quatre phases de la modélisation pour la configuration ont été distinguées :

- 1) La modélisation de relations floues dans la configuration du produit. Cette phase permet d'établir les relations floues dans la configuration du produit. C'est la vue locale de la configuration.
- 2) La modélisation des solutions consensuelles floues. Dans cette phase, un concepteur, en utilisant les relations floues de la phase précédente, personnalise le produit s'appuyant sur la valeur perçue du client pour chaque spécification et les contraintes du domaine de processus spécifiques impliqués dans sa réalisation.
- 3) La modélisation des configurations optimales floues. Dans cette phase, les configurations optimales sont recherchées par rapport aux affinités entre les solutions d'une part, et leur capacité à satisfaire à la fois les exigences particulières des clients et les contraintes des domaines spécifiques, d'autre part.
- 4) La modélisation des configurations consensuelles floues. Dans cette phase, l'approche proposée considère la recherche des noyaux consensuels, comme le chevauchement des configurations floues optimales.

*II. Proposition des grammaires fonctionnelles.*

L'approche des grammaires proposées et développées dans le troisième chapitre, a pour but l'étude de l'espace fonctionnel.

Dans ce chapitre, nous avons proposé la représentation et la modélisation fonctionnelle à l'aide des grammaires, à savoir :

- a) *la modélisation à base d'une grammaire de configuration fonctionnelle flux-opération*
- b) *la modélisation à base d'une grammaire de configuration fonctionnelle flux-opération à tête fonctionnelle.*
- c) *la modélisation sur une grammaire de configuration fonctionnelle multi-niveaux.*

La *grammaire de configuration fonctionnelle flux-opération* a été développée à partir des grammaires de graphe attribut. La *grammaire de configuration fonctionnelle flux-opération à tête fonctionnelle* a été développée à partir de décomposition hiérarchique de la fonction. La *grammaire de configuration fonctionnelle multi-niveaux* a été développée à partir des grammaires multi-niveaux (Ostrosi, 1998). La définition que nous avons proposée pour les concepts des fonctions, comme des structures multi-niveaux, est cohérente avec celle proposée par Ostrosi (Ostrosi, 1998) et développée par Deciu (Deciu, et al., 2007) dans la génération des structures des produit configurables.

Notre approche de grammaires apporte les contributions suivantes :

- Elle emploie la puissante propriété de représentation graphe qui caractérise les *grammaires de graphes*.
- Elle permet la modélisation et l'inférence des productions sur les différents niveaux des fonctions grâce à une représentation tête fonctionnelle.
- La *grammaire de configuration fonctionnelle multi-niveaux* définit la connexion entre les différents niveaux des fonctions par l'intermédiaire des fonctions de connexion. Elle permet la représentation et l'inférence des productions sur les différents niveaux de fonctions.
- La redéfinition des concepts des fonctions comme des structures multi-niveaux, nous a permis d'atteindre deux objectifs : de générer des modèles fonctionnels s'appuyant sur la base fonctionnelle proposée par Hirtz et al, (Hirtz, et al., 2002) d'une part, et de représenter ces modèles par une grammaire de graphes.

### III. Proposition de la modélisation holonique.

Dans le quatrième chapitre, nous avons proposé et développé un modèle de configuration s'appuyant sur les concepts de l'Holon Conception Floue et de l'attracteur floue. La conception pour la configuration peut être considérée comme un phénomène de discontinuité qualitative dans un milieu continu. Comprendre et contrôler la discontinuité est donc un sujet important de la conception intelligente.

Les concepts de l'Holon Conception Floue et l'Attracteur Flou sont également proposés pour comprendre la coévolution dans la conception pour la configuration. Un Holon Conception Floue est défini par deux holons de base : Holon Fonctions Floues et Holon Solutions Floues.

Le modèle proposé de la création des *Holons Conception Floue*, donc le processus de la configuration à base de modules, est contrôlé par deux variables contradictoires :

- 1) la *Complétude* des Holons Fonctions Floues et des Holons Solutions Floues
- 2) la *Discrimination* des Holons Fonctions Floues et des Holons Solutions Floues.

Par conséquent, quatre états possibles de comportement d'un Holon Conception Floue sont trouvés :

- 1) *Impossibilité* : caractérisé par l'impossibilité de la création d'Holon Conception Floue par un attracteur flou ;
- 2) *Création-Développement* : caractérisé par la création et le développement naturel d'Holon Conception Floue ;
- 3) *Création-Destruction* : caractérisé parfois par la création des Holons Conception Floue et parfois par la destruction des Holons Conception Floue ;
- 4) *Échec* : caractérisé par l'interruption du développement de l'Holon Conception Floue et de la destruction de l'Holon Conception Floue déjà créé.

L'application du modèle proposé a montré que si un Holon Conception Floue, complet en termes d'Holon Solutions Floues, se fait progressivement compléter en termes d'Holon Fonctions Floues, alors il finira par interrompre son développement naturel, tombera dans l'état du comportement de l'Impossibilité. Le modèle a également montré que la conception pour configuration à base de modules n'est pas un phénomène

ordonné. La conception pour la configuration est pleine de transformations soudaines et de divergences imprévisibles. L'étude a montré que le type typologique de l'attracteur flou n'est pas stable.

#### *IV. Développement d'un outil informatique et validation expérimentale du modèle proposé*

Dans le cinquième chapitre, nous avons étudié un cas industriel réel de la conception pour la configuration à l'aide des modules pour un groupe motopropulseur. Deux expériences de conception sont menées dans le cadre du projet : « Conception modulaire d'un scooter - conception du groupe motopropulseur ».

Les objectifs de ces expériences étaient les suivants :

- tester la modélisation holonique dans un projet industriel,
- étudier le comportement des holons dans le cadre d'un cas industriel,
- analyser les résultats de la modélisation holonique dans le cadre de l'activité de conception coopérative,
- valider le logiciel développé sous MatLab : Systèmes d'Aide à la Modélisation Holonique (Issa & Ostrosi, 2016) dans un cas industriel.

L'étude a aussi mis en évidence les points suivants :

- notre approche est valide d'une part, et applicable sur tout type de système mécanique, quel que soit son nombre de composant élémentaires d'autre part,
- malgré le nombre très important de composants, le comportement des holons vérifie l'approche théorique,
- la typologie des attracteurs jouent un rôle très important dans la création des Holons Modules,
- les difficultés des interprétations des résultats par les concepteurs, parce que le logiciel développé « Systèmes d'Aide à la Modélisation Holonique » ne pilote pas les modèles CAO,
- l'interprétation des résultats du point de vue cognitif montre l'influence de l'espace fonctionnel.

Les perspectives de recherche sont définies selon deux directions principales, à savoir :

- I. *Proposition d'un système à base d'agents pour rendre les holons intelligents,*
- II. *Inférence des règles de production pour l'espace structural étant donné les grammaires, la structure des grammaires fonctionnelles et le problème inverse.*

L'étude a montré que la connaissance de la typologie et la morphologie des attracteurs flous peut partiellement permettre de savoir ce qui émergera lors de la conception. La tâche de la modélisation de ces phénomènes et de les relier les uns aux autres serait un défi difficile qui exige une théorie plus puissante. La théorie des catastrophes, proposée par René Thom<sup>1</sup> (1989), traite des phénomènes discontinus, et a le potentiel pour décrire l'évolution des formes dans tous les aspects de la nature. Elle peut être appliquée avec une efficacité particulière dans les situations où le changement graduel des forces conduit à des changements brusques dans le comportement. Par conséquent, les travaux à venir comprendront la description des événements de conception floue, et leur explication, en utilisant et en intégrant cette théorie dans la conception pour la configuration.

---

<sup>1</sup> **René Thom** (Montbéliard, 2 septembre 1923 - Bures-sur-Yvette, 25 octobre 2002) est un **mathématicien** et **philosophe français**. Il a reçu en 1958 la médaille Fields, la plus haute distinction de la communauté mathématique internationale. Dans les années soixante, il défie physiciens et biologistes, économistes et linguistes sur leur propre terrain, en leur proposant, avec ce qui est désormais connu comme la « théorie des catastrophes », une approche nouvelle de regarder toutes les transformations qui adviennent de manière brusque, imprévisible et dramatique.

## **REFERENCES**



## REFERENCES

Abdoos, M., Mozayani, N. & Bazzan, A., 2013. Holonic multi-agent system for traffic signals control. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 26(5-6), pp. 1575-1587.

Adali, M. R., Taskin, M. F. & Taskin, H., 2009. Selecting the optimal shift numbers using fuzzy control model: a paint factory's facility application. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 20(2), pp. 267-272.

Adam, E., Mandiau, R. & Kolski, C., 2000. HOMASCOW: a holonic multi-agent system for cooperative work. In: *Proceedings of the 11th International Workshop on Database and Expert Systems Applications*. London: s.n., pp. 247-253.

Adam, E., Mandiau, R. & Kolski, C., 2000. *HOMASCOW: a holonic multi-agent system for cooperative work*. London, Proceeding of the 11th International Workshop on Database and Expert Systems Applications, pp. 247-253.

Agarwal, M. & Cagan, J., 1998. A blend of different tastes: the language of coffee makers. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 25(2), pp. 205-226.

Albano, L. D. & Suh, N. P., 1993. Information axiom and its implications. In: *Proceedings of the 1993 ASME Winter Annual Meeting, American Society of Mechanical Engineers, Design Engineering Division*. s.l.:s.n., pp. 1-11.

Albano, L. D. & Suh, N. P., 1993. Information axiom and its implications. *Proceedings of the 1993 ASME Winter Annual Meeting, American Society of Mechanical Engineers, Design Engineering Division*, Volume 66, pp. 1-11.

Altshuller, G., 1984. *Creativity as an Exact Science, The Theory of the Solution of Inventive Problems (TSIP)*. s.l.:Gordon and Breach Pub.

Antonsson, E. & Otto, K., 1995. Imprecision in Engineering Design. *ASME Journal of Mechanical Design*, 117(B), pp. 25-32.

Arai, T., Aiyama, Y., Sugi, M. & Ota, J., 2001. Holonic assembly system with Plug and Produce. *Computers in Industry*, 46(3), pp. 289-299.

- Atanassov, K., 1986. Intuitionistic fuzzy sets. *Fuzzy Sets Systems*, 20(1), pp. 87-96.
- Atanassov, K., 1994. Operators over interval-valued intuitionistic fuzzy sets. *Fuzzy Sets Systems*, 64(2), pp. 159-174.
- Atman, Cardella, Turns & Adams, 2005. Comparing freshman and senior engineering design processes: an in-depth follow-up study. *Design Studies*, 26(4), pp. 325-357.
- Babiceanu, R. & Chen, F., 2006. Development and Applications of Holonic Manufacturing Systems: A Survey. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 17(1), pp. 111-131.
- Bahrami, A. & Dagli, C., 1993. From Fuzzy Input Requirements to Crisp Design. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 8(1), pp. 52-60.
- Balasubramanian, S., Brennan, R. & Norrie, D., 2001. An architecture for metamorphic control of holonic manufacturing systems. *Computer in Industry*, 46(1), pp. 13-31.
- Baldwin, C. & Clark, K., 2000. *Design Rules: The Power of Modularity*. Cambridge: MIT Press.
- Baldwin, C. & Clark, K., 2006. Modularity in the Design of Complex Engineering Systems. In: D. Braha, A. A. Minai & Y. Bar-Yam, eds. *Complex Engineered Systems, Science Meets Technology*. Berlin: Springer , pp. 175-205.
- Bandemer, H. & Gottwald, S., 1995. *Fuzzy sets, fuzzy logic, fuzzy methods*. Chichester: Wiley.
- Baoding, L., 2007. *Uncertainty theory*. Berlin: Springer.
- Beitz, W., 1993. Designing for ease of recycling. General approach and industrial application. In: *Proceedings of the ninth international Conference of Engineering Design (ICED)*. The Hauge, The Netherlands: s.n.
- Beitz, W., 1993. *Designing for ease of recycling. General approach and industrial application*. The Hauge, The Netherlands, The proceedings of the ninth international Conference of Engineering Design (ICED).

- Belhe, U. & Kusiak, A., 1996. House of quality in a design process. *International Journal of Production Research*, 34(8), pp. 2119-2131.
- Bellman, R. & Zadeh, L., 1970. Decision-Making in a Fuzzy Environment. *Management Science*, 17(4), pp. 141-164.
- Blanc, P., Demongodin, I. & Castagna, P., 2008. A holonic approach for manufacturing execution system design: An industrial application. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 21(3), p. 315–330.
- Bocquet, J. C., 1998. Ingénierie simultanée, conception intégrée . In: M. Tollenaere, ed. *Conception de produits mécaniques* . Paris: Editions Hermès, pp. 29-52.
- Boothroyd, G., 1994. Product design for manufacture and assembly. *Computer Aided Design*, 26(7), pp. 505-520.
- Boothroyd, G. & Alting, L., 1992. Design For Assembly ans Disassembly. *Keynote paper, Annals of the CIRP*, 41(2), pp. 625-636.
- Boujut, F. & Laureillard, P., 2001. A co-operation framework for product-process integration in engineering design. *Design Studies*, 23(6), pp. 497-513.
- Boujut, J. & Blanco, E., 2003. Intermediary objects as a means to foster cooperation in engineering design. *Computer Supported Cooperative Work (CSCW)*, 12(2), pp. 205-219.
- Boujut, J.-F. & Eckert, C., 2003. The Role of Objects in Design Co-Operation: Communication through Physical or Virtual Objects. *Computer Supported Cooperative Work (CSCW)*, 12(2), pp. 145-151.
- Brennan, R. et al., 2005. Holonic Manufacturing Systems : A Technical Overview. In: R. Zurawski, ed. *Industrial Information Technology Handbook, Part II, Section 7, Chapitre 106*. Boca Raton, FL, USA: CRC Press.
- Brezet, H., 2003. *Product Development with the Environment as Innovation Strategy*. Delft: Delft University of technology.

- Brissaud, D. & Tichkiewitch, S., 2000. Innovation and manufacturability analysis in an integrated design context. *Computers in Industry*, 43(2), pp. 111-121.
- Broadbent, G., 1981. *The Morality of Designing*. Guilford, England, Westbury House, pp. 309-328.
- Brown, D., 1998. Defining Configuring, Artificial Intelligence for Engineering Design, Analysis and Manufacturing. *AI EDAM*, 12(4), pp. 301-305.
- Bunke, H., 1982. Attributed of programmed graph grammars and their application to schematic diagram interpretation. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 4(6), pp. 574-582.
- Cagan, J., 2001. Engineering Shape Grammars: Where Have We Been and Where are We Going?. In: E. K. Antonsson & J. Cagan, eds. *Formal Engineering Design Synthesis*. Cambridge, UK: Cambridge University Press, pp. 65-92.
- Campbell, S., 1996. Green cities, Growing cities, Just cities? Urban planning and the contradictions of sustainable development. *Journal of the American Planning Association*, 62(3), pp. 296-312.
- Chandrasekaran, B., 1990. Design Problem Solving: A Task Analysis. *AI Magazine*, 11(4), pp. 59-71.
- Chase, S., 2002. A model for user interaction in grammar-based design systems. *Automation and Construction*, 11(2), pp. 161-172.
- Chen, L.-C. & Lin, L., 2002. Optimization of product configuration design using functional requirements and constraints. *Research in Engineering Design*, 13(4), pp. 167-182.
- Chen, T., 2012. A collaborative fuzzy-neural approach for long-term load forecasting in Taiwan. *Computers & Industrial Engineering*, 63(3), pp. 663-670.
- Chen, T., 2013. An effective fuzzy collaborative forecasting approach for predicting the job cycle time in wafer fabrication. *Computers & Industrial Engineering*, 66(4), pp. 834-848.

- Chen, T. & Wang, Y., 2009. A fuzzy set approach for evaluating and enhancing the mid-term competitiveness of a semiconductor factory. *Fuzzy Sets and Systems*, 160(5), pp. 569-585.
- Chomsky, N., 1957. *Syntactic Structures*. The Hague: Mouton.
- Choulier, D., Fougères, A. J. & Ostrosi, E., 2015. Developing multiagent systems for design activity analysis. *Computer-Aided Design*, Volume 59, pp. 201-213.
- Clausing, D., 1994. *Total Quality Development*. New York: ASME Press.
- Condoor, S. et al., 1992. Cognitive framework for the design process. *American Society of Mechanical Engineers, Design Engineering Division*, Volume 42, pp. 277-281.
- Condoor, S. & Weber, R., 1999. Model for conceptual design methodology. *American Society of Mechanical Engineers, Design Engineering Division (Publication) DE*, Volume 103, pp. 57-64.
- Coulibaly, A., Houssin, R. & Mutel, B., 2009. Maintainability and safety indicators at design stage for mechanical products. *Computers in Industry*, 59(5), pp. 438-449.
- Coulibaly, A., Mutel, B. & Ait-Kadi, D., 2007. Product modeling framework for behavioral performance evaluation at design stage. *Computers in Industry*, 58(6), pp. 567-577.
- Cross, 2002. *Creative Cognition in Design: Processes of Exceptional Designers*. s.l., ACM Press, pp. 14-19.
- Cross, 2004. Expertise in design: an overview. *Design Studies*, 25(5), pp. 427-441.
- Cross, N., 2002. *Creative Cognition in Design: Processes of Exceptional Designers*. s.l., ACM Press, pp. 14-19.
- Cross, N., 2004. Expertise in design: an overview. *Design Studies*, 25(5), pp. 427-441.
- Cross, N., 2008. *Engineering Design Methods: Strategies for Product Design*. 4th ed. Chichester: John Wiley & Sons..

Cross, N., 2008. *Engineering Design Methods: Strategies for Product Design*. 4th ed. Chichester: John Wiley & Sons..

Cross, N. J. & Walker, D., 1980. Design Method and Scientific Method. In: *Design: Science: Method*. Guilford, England: Westbury House, pp. 18-27.

Cross, N. & Walker, D., 1980. Design Method and Scientific Method. In: *Design: Science: Method*. Guilford, England: Westbury House, pp. 18-27.

Dai, K., Wang, Y., Zhang, S. & Zhang, J., 2002. Research on DfX Evaluation System for Distributed Design Based on Multi-Agent. In: *IEEE Proceedings of the 2nd International Workshop on Autonomous Decentralized System*. Beijing, China: s.n.

Dai, K., Wang, Y., Zhang, S. & Zhang, J., 2002. *Research on DfX Evaluation System for Distributed Design Based on Multi-Agent*. Beijing, China, IEEE Proceedings of the 2nd International Workshop on Autonomous Decentralized System..

Darses, F., Détienne, F. & Visser, W., 2004. Les activités de conception et leur assistance. In: P. Falzon, ed. *Ergonomie*. Paris: RUF.

De Lit, P. & Delchambre, A., 2003. *Integrated design of a product family and its assembly system*. Boston: Kluwer Academic Publishers.

Deciu, E., Ostrosi, E., Ferney, M. & Gheorghe, M., 2005. Configurable product design using multiple fuzzy models. *Journal of Engineering Design* , 16(2), pp. 209-235.

Deciu, E., Ostrosi, E., Ferney, M. & Gheorghe, M., 2006. Collaborative and distributed design for product configuration with assisting agents. In: *Proceedings of Virtual Concept 2006*. Playa del Carmen: s.n.

Deciu, E., Ostrosi, E., Ferney, M. & Gheorghe, M., 2007. Configuration grammar-based design approach for product family modeling in advanced CAD systems. In: *Proceedings of the 16th International Conference on Engineering Design (ICED'07)*. Paris: s.n., pp. 493-494.

Deciu, E., Ostrosi, E., Ferney, M. & Gheorghe, M., 2007. Configuration grammar-based design approach for product family modeling in advanced CAD systems. In:

*Proceedings of the 16th International Conference on Engineering Design (ICED'07)*. Paris: s.n., pp. 493-494.

Deciu, E., Ostrosi, E., Ferney, M. & Gheorghe, M., 2008. Product Family Modelling in Conceptual Design Based on Parallel Configuration Grammars. *Journal of Mechanical Engineering*, 54(6), pp. 398-412.

Deciu, E., Ostrosi, E., Ferney, M. & M., G., 2007. Configuration grammar-based design approach for product family modeling in advanced CAD systems. In: *Proceedings of the 16th International Conference on Engineering Design (ICED'07)*. Paris: s.n., pp. 493-494.

Dixon, J., 1988. On Research Methodology Towards A Scientific Theory of Engineering Design. *Artificial Inelegance for Engineering. Design, Analysis and Manufacturing (AI-EDAM)*, 1(3).

Dixon, J. & Poli, C., 1995. *Engineering Design and Design for Manufacturing a structured approach*. Conway, Massachusetts, USA: Field Stone Publishers.

Dorst, K. & Cross, N., 2001. Creativity in the design process: Co-evolution of problem-solution. *Design Studies*, 22(5), pp. 425-437.

DSMweb.org, 2015. <http://www.dsmweb.org/en/dsm.html>. [Online] [Accessed 15 July 2015].

Duchamp, R., 1999. *Méthodes de conception de produits nouveaux*. Paris: HERMES Science Publications.

Du, X., Jiao, J. & Tseng, M., 2002. Graph Grammar based product family modeling. *Concurrent Engineering: Research and Applications*, 10(2), pp. 113-128.

Du, X., Jiao, J. & Tseng, M., 2003. Modelling platform-based product configuration using programmed attributed graph-grammar. *Journal of Engineering Design*, 14(2), pp. 145-167.

Ehrig, H., 1979. Introduction to the algebraic theory of graph grammars. In: V. Claus, H. Ehrig & G. Rozenberg, eds. *Graph-Grammars and Their Application to Computer Science and Biology*. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, pp. 1-69.

Erens, F., 1996. *The synthesis of variety - Developing Product Families*, The Netherlands: PhD thesis, University of Eindhoven.

Ernst Eder, W., 1998. Design Modeling-A Design Science Approach (and Why Does Industry Not Use It?). *Journal of Engineering Design*, 9(4), pp. 355-371.

Ertas, A. & Jones, J. C., 1996. *The Engineering Design Process*. New York, USA: John Wiley and Sons.

Ferber, J., 1998. *Multi-agent Systems : Towards a collective intelligence*. Reading: Addison-Wesley.

Ferber, J., 1999. *Multi-Agent Systems : An Introduction to Distributed Artificial Intelligence*. 1ère ed. Boston, MA, USA: Addison-Wesley Longman Publishing Co..

Ferber, J., 1999. *Multi-Agent Systems: An Introduction to Distributed Artificial Intelligence*. 1ère ed. Boston, MA, USA : Addison-Wesley Longman Publishing Co..

Fernandez, C., 1998. *PhD, Integration Analysis of Product Architecture to Support Effective Team Co-location*, Cambridge, MA: Massachusetts Institute of Technology.

Finger, S. & Dixon, J., 1989. A review of research in mechanical engineering design. Part 1: descriptive, prescriptive and computer-based models of design. *Research in Engineering Design*, Volume 1, pp. 51-67.

Fleetwood, M., Kotak, D., Wu, S. & Tamoto, H., 2003. Holonic System architecture for scalable infrastructures. In: *Proceedings of the IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics*. s.l.:s.n., pp. 1469- 1474.

Fleetwood, M., Kotak, D., Wu, S. & Tamoto, H., 2003. *Holonic System architecture for scalable infrastructures*. s.l., Proceedings of the IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics, pp. 1469- 1474.

Fletcher, M., Brennan, R. & Norrie, D., 2003. Modeling and reconfiguring intelligent holonic manufacturing systems with Internet-based mobile agents. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 14(1), pp. 7-23.

Fletcher, M., Garcia-Herreros, E., Christensen, J. & Deen, S., 2000. An open architecture for holonic cooperation and autonomy. In: *Proceedings of the 11th International Workshop on Database and Expert Systems Applications*. London: s.n., pp. 224-230.

Fletcher, M., Garcia-Herreros, E., Christensen, J. & Deen, S., 2000. *An open architecture for holonic cooperation and autonomy*. London, Proceedings of the 11th International Workshop on Database and Expert Systems Applications, pp. 224-230.

Fougères, A. & Ostrosi, E., 2013. Fuzzy agent-based approach for consensual design synthesis in product configuration. *Int Computer-Aided Engineering*, 20(3), pp. 259-274.

Fougères, A. & Ostrosi, E., 2015. Agent-Based Intelligent CAD Modelling. *Annals of Faculty Engineering Hunedoara*, 13(4).

Frey, E., Ostrosi, E., Roucoules, L. & Gomes, S., 2009. Multi-domain product modelling : from requirements to cad and simulation tools. In: *Proceeding of 17th International Conference on Engineering Design, ICED'09*. California, United States: Stanford University.

Fujita, N., 2001. Holonic controller and assembly task planning. In: *Proceedings of the IEEE International Symposium on Assembly and Task Planning*. Fukuoka: s.n., pp. 67-72.

Fujita, N., 2001. *Holonic controller and assembly task planning*. Fukuoka, Proceedings of the IEEE International Symposium on Assembly and Task Planning, pp. 67-72.

Fu, Z., De Pennington, A. & Sais, A., 1993. A graph grammar approach to feature representation and transformation. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 6(1&2), pp. 137-151.

- Gau, W. & Buehrer, D., 1993. Vague sets. *IEEE Trans Syst Man Cybern*, 23(2), pp. 610-614.
- Gero, J., 2001. *Mass customization of creative designs*. Glasgow, International Conference on Engineering Design ICED'01.
- Giret, A. & Botti, V., 2004. Holons and agents. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 15(5), pp. 645-659.
- Giret, A. & Botti, V., 2009. Engineering Holonic Manufacturing Systems. *Computers in Industry*, 60(6), pp. 428-440.
- Gosset, N. et al., 2015. *Conception Durable Et Modulaire D'un Scooter : Application Dans La Conception Du Groupe Motopropulseur*, s.l.: Projet FQ52, UTBM.
- Gou, H., Huang, B., Liu, W. & Li, X., 2003. A framework for virtual enterprise operation management. *Computers in Industry*, 50(3), pp. 333-352.
- Gregory, N., Blanco, E., Brassac, C. & Garro, O., 1997. Analyse de la distribution en conception par la dynamique des objets intermédiaires. In: B. Trousse & K. Zreik, eds. *les actes de design, Les objets en conception*. s.l.:Editions Europia, pp. 135-155.
- Gruver, W. A., Kotak, D., Van Leeuwen, E. & Norrie, D. H., 2003. Holonic manufacturing systems: Phase II. In: V. Marik, D. McFarlane & P. Valckenaers, eds. *Holonic and Multiagent Systems for Manufacturing*. Berlin, Germany: Springer-Verlag, pp. 1-14.
- Guillet, P., 2000. *Apport de l'informatique en ingénierie*, s.l.: [AG 3800], traité Informatique.
- Gu, P., Hashemian, M. & A., N., 2004. Adaptable Design. In: *CIRP Annals - Proceedings of the CIRP General Assembly*. Krakow, Poland: s.n.
- Gu, P., Hashemian, M. & A., N., 2004. *Adaptable Design*. Krakow, Poland , CIRP Annals - Proceedings of the CIRP General Assembly.
- Gu, P., Hashemian, M. & Sosale, S., 1997. Integrated modular design methodology for life-cycle engineering. *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, 46(1), pp. 71-74.

Gu, P. & Sosale, S., 1999. Product modularization for life cycle engineering. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 15(5), pp. 387-401.

Hashemian, M., 2005. *Design for adaptability*, Saskatoon, Saskatchewan, Canada: PhD thesis, University of Saskatchewan.

Hillstrom, F., 1994. Applying axiomatic design to interface analysis in modular product development. *American Society of Mechanical Engineers, Design Engineering Division*, 69(2), pp. 363-371.

Hirtz, J. et al., 2002. A Functional Basis for Engineering Design: Reconciling and Evolving Previous Efforts. *Research in Engineering Design*, 13(2), pp. 65-82.

Honma, N., Abe, K., Sato, M. & Takeda, H., 1998. Adaptive evolution of holon networks by an autonomous decentralized method. *Applied Mathematics and Computation*, 91(1), pp. 43-61.

Hsieh, F., 2008. Robustness analysis of holonic assembly/disassembly processes with Petri nets. *Automatica*, 44(10), p. 2538–2548.

Huang, Bo & Chen, 2006. An integrated computational intelligence approach to product concept generation and evaluation. *Mechanism and Machine Theory*, 41(5), pp. 567-583.

Huang, G. & Mak, K., 1997. The DFX Shell: a generic framework for developing design for X tools. *Robotics & Computer-Integrated Manufacturing*, 13(3), pp. 271-280.

Hubka, V. & Eder, W., 1988. *Theory of Technical Systems*. London: Springer-Verlag.

Hubka, V. & Eder, W. E., 1996. *Design science : introduction to needs, scope and organization of engineering design knowledge*. London: Springer Verlag.

Issa, H. & Ostrosi, E., 2016. *Systèmes d'Aide à la Modélisation Holonique*, s.l.: IRTES-M3M, UTBM.

Issa, H., Ostrosi, E., Lenczner, M. & Habib, R., 2013a. Fuzzy Functional Modelling in CAD Systems. In: J. Stjepandić, G. Rock & C. Bil, eds. *Concurrent Engineering*

*Approaches for Sustainable Product Development in a Multi-Disciplinary Environment.* London: Springer-Verlag, pp. 595-608.

Issa, H., Ostrosi, E., Lenczner, M. & Habib, R., 2013b. Influence of Functional Knowledge Structuring for Modular Design. *Advanced Materials Research*, Volume 651, pp. 595-600.

Issa, H., Ostrosi, E., Lenczner, M. & Habib, R., 2014a. A holonic approach for multi-scale design using attractors. In: *Proceedings of Tenth International Symposium on Tools and Methods of Competitive Engineering (TMCE 2014), May 19-23, 2014.* Budapest, Hungary: s.n.

Issa, H., Ostrosi, E., Lenczner, M. & Habib, R., 2014b. Discontinuous phenomena of holonic design: functional completeness versus solution completeness. In: *Proceedings of 24th CIRP Design Conference, 14–16 April 2014.* Milan, Italy: s.n.

Issa, H., Ostrosi, E., Lenczner, M. & Habib, R., 2015. Fuzzy holons for intelligent multi-scale design in cloud-based design for configurations. *Journal of Intelligent Manufacturing*, Issue DOI. 10.1007/s10845-015-1119-4.

Jackson, M. & Keys, P., 1984. Towards a system of system methodologies. *Journal of Operations Research*, 35(6), pp. 473-486.

Jeantet, A., 1998. Les objets intermédiaires dans la conception éléments pour une sociologie des processus de conception. *Sociologie du Travail*, Volume 3, pp. 291-316.

Jeguirim, S. et al., 2011. The use of fuzzy logic and neural networks models for sensory properties prediction from process and structure parameters of knitted fabrics. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 22(6), pp. 873-884.

Jing, X., Luo, X. & Zhang, Y., 2014. A Fuzzy Dynamic Belief Logic System. *International Journal of Intelligent Systems*, 29(7), pp. 687-711.

Jones, J., 1984. A method of systematic design. In: *Developments in Design Methodology.* Chichester: John Wiley & Sons.

- Kaufmann, A., 1975. *Introduction to the Theory of Fuzzy Subsets*. New York: Academic Press.
- Kaufmann, A. & Gupta, M., 1988. *Fuzzy mathematical models in Engineering and Management Science*. New York: Elsevier Science Pub. Co..
- Koestler, A., 1967. *The Ghost in the Machine*. 1ère ed. London: Hutchinson.
- Koestler, A., 1969. *Some General Properties of Self-Regulating Open Hierarchic Order (SOHO)*. [Online]  
Available at: <http://www.panarchy.org/koestler/holon.1969.html>
- Kolodner, J., 1983. Maintaining Organization in a Dynamic Long-term Memory. *Cognitive Science*, 7(4), pp. 243-280.
- Kolodner, J. L., 1993. *Case-based Reasoning*. s.l.:Morgan Kaufmann.
- Kopacek, P., 1999. Intelligent Manufacturing: Present State and Future Trends. *Journal of Intelligent & Robotic Systems*, 26(3-4), pp. 217-229.
- Kremer, R. & Norrie, D., 2000. Architecture and design of a holonic visual interface. In: *Proceedings of the IEEE Conference on Systems, Man, and Cybernetics*. Nashville, TN: s.n., pp. 1715-1720.
- Kremer, R. & Norrie, D., 2000. *Architecture and design of a holonic visual interface*. Nashville, TN, Proceedings of the IEEE Conference on Systems, Man, and Cybernetics, pp. 1715-1720.
- Krstic, D., 2004. Computing with analyzed shapes. In: J. Gero, ed. *Design computing and cognition '04*. Dordrecht: Kluwer Academic, pp. 397-416.
- Kushnir, E. & Sheehan, T., 2003. Development of machine tool structure at the early stages of design process. *American Society of Mechanical Engineers, Pressure Vessels and Piping Division (Publication) PVP*, Volume 470, pp. 121-127.
- Leitao, P., Boissier, R., Casais, F. & Restivo, F., 2003. Integration of Automation Resources in Holonic Manufacturing Applications: Holonic and Multi-agent Systems for Manufacturing. *Lecture Notes in Computer Science*, Volume 2744, pp. 35-46.

- Leitao, P. & Restivo, F., 2006. ADACOR: A holonic architecture for agile and adaptive manufacturing control. *Computers in Industry*, 57(2), pp. 121-130.
- Leitao, P. & Restivo, F., 2008. A holonic approach to dynamic manufacturing scheduling. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 24(5), pp. 625-634.
- Le-Mehaute, C. et al., 2013. *Conception d'un motopropulseur modulaire de scooter*, s.l.: Projet FQ52, UTBM.
- Liao, T., 2001. Classification and coding approaches to part family formation under a fuzzy environment. *Fuzzy Sets and Systems*, 122(3), pp. 425-441.
- Männistö, T., Soininen, T. & Sulonen, R., 2001. Modelling Configurable Products and Software Product Families. In: *IJCAI'01 Workshop on Configuration*. Seattle, USA: s.n., pp. 64-70.
- Männistö, T., Soininen, T. & Sulonen, R., 2001. Modelling Configurable Products and Software Product Families. In: *IJCAI'01 Workshop on Configuration*. Seattle, USA: s.n., pp. 64-70.
- Marcotorchino, F., 1987. An Unified Approach of the Block-Seriation Problems. *Journal of Applied Stochastic Models and Data Analysis*, 3(2), pp. 1-13.
- Markeset, T. & Kumar, U., 2001. R&M and Risk-Analysis Tools in Product Design, to reduce life-cycle cost and improve attractiveness. In: *Proceedings of Reliability and Maintainability Symposium*. Philadelphia, PA: s.n.
- Markeset, T. & Kumar, U., 2001. *R&M and Risk-Analysis Tools in Product Design, to reduce life-cycle cost and improve attractiveness*. Philadelphia, PA, Proceedings of Reliability and Maintainability Symposium.
- Marshall, R., Leaney, P. & Botterell, P., 1999. Modular design. *Manufacturing Engineer*, 78(3), pp. 113-116.
- McCord, K. & Eppinger, S., 1993. *Managing the Integration Problem in Concurrent Engineering*, Cambridge, MA: MIT Sloan School of Management.
- Meinders, H., 1997. *Point of no return*. s.l.:Philips EcoDesign Guidelines.

- Mekhilef, M. & Yannou, B., 1998. *Conception intégrée assisté par ordinateur*, s.l.: Technique des ingénieur [BM 5006], Traité Informatique.
- Mella, P., 2009. *The Holonic revolution: holons, holarchies and holonic networks: the ghost in the production machine*. Pavia, Italy: Pavia University Press.
- Meng, F. & Tang, J., 2013. Interval-Valued Intuitionistic Fuzzy Multiattribute Group Decision Making Based on Cross Entropy Measure and Choquet Integral. *International Journal of Intelligent Systems*, 28(12), pp. 1172-1195.
- Mer, S., Tichkiewitch, S. & Jeantet, A., 1995. Les Objets Intermédiaires de la Conception : Modélisation, et Communication. In: J. Caelen & K. Zreik, eds. *La communicationnel pour concevoir*. s.l.:EUROPIA, ISBN : 2-909285-04-9, pp. 21-41.
- Mittal, S. & Frayman, F., 1989. Towards a generic model of configuration tasks. In: K. Morgan, ed. *Proceedings of the 11th International Joint Conference on Artificial Intelligence (IJCAI'89)*. Detroit, MI, USA: s.n., pp. 1395-1401.
- Movahed-Khah, R., 2006. *Contribution à l'analyse du processus de conception collaborative et distribuée, en vue du développement des systèmes multi-agents*, Besançon, France: PhD, Université de Technologie de Belfort-Montbéliard et Université de Franche-Comté.
- Movahed-Khah, R., Ostrosi, E. & Garro, O., 2010. Analysis of interaction dynamics in collaborative and distributed design process. *Computers in Industry*, 61(1), pp. 2-14.
- Mullins, S. & Rinderle, J., 1991. Grammatical approaches to design. Part 1: An introduction and commentary. *Research in Engineering Design*, 2(3), pp. 121-135.
- Najman, O. & Stein, B., 1992. Theoretical framework for configuration. In: F. Belli & F. Radermacher, eds. *Proceedings of Industrial and Engineering Applications of Artificial Intelligence and Expert Systems, 5th International Conference, IEA/AIE-92*. Paderborn, Germany: s.n., pp. 441-450.
- Newsome, S., Spillers, W. & Finger, S., 1988. *Design Theory*. s.l.:Springer-Verlag.

Noël, F. & Roucoules, L., 2008. The PPO design model with respect to digital enterprise technologies among product life cycle. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 21(2), pp. 139-145.

Ostrosi, E., 1998. *Contribution à l'étude d'une Méthode de Représentation et de Reconnaissance de 'Features' pour les systèmes avancés de CFAO mécanique*, Strasbourg: Thèse.

Ostrosi, E. & Ferney, M., 2005. Feature modeling grammar representation approach. *AIEDAM*, 19(4), pp. 245-259.

Ostrosi, E. & Ferney, M., 2006. Inference of feature grammars for feature based modelling in CAD systems. *Integrated Computer-Aided Engineering (ICAE)*, 13(2), pp. 113-131.

Ostrosi, E., Ferney, M., Deciu, E. & Garro, O., 2004. Feature-based reasoning for designing structural configuration in advanced CAD systems. In: *Proceedings of 5th International Conference on Integrated Design and Manufacturing in Mechanical Engineering, April 5-7*. Bath, UK: s.n.

Ostrosi, E., Ferney, M. & Garro, O., 2003. A fractal approach for concurrent engineering. *International Journal of Concurrent Engineering: Research and Application*, 11(4), pp. 249-265.

Ostrosi, E., Fougères, A. J., Ferney, M. & Klein, D., 2012a. A fuzzy configuration multi-agent approach for product family modelling in conceptual design. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 23(6), pp. 2565-2586.

Ostrosi, E., Haxhiaj, L. & Fukuda, S., 2012b. Fuzzy modelling of consensus during design conflict resolution. *Research in Engineering Design*, 23(1), pp. 53-70.

Ostrosi, E. & Tié Bi, S., 2010. Generalised design for optimal product configuration. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 49(1-4), pp. 13-25.

Ounnar, F. & Pujo, P., 2012. Pull control for job shop: holonic manufacturing system approach using multicriteria decision-making. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 23(1), pp. 141-153.

- Ounnar, F., Pujo, P., Mekaouche, L. & Giambiasi, N., 2009. Integration of a flat holonic form in an HLA environment. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 20(1), pp. 91-111.
- Pahl, G. & Beitz, W., 1988. *Engineering design : a systematic approach*. London: Springer-Verlag.
- Pahl, G. & Beitz, W., 1996. *Engineering Design*. 2nd ed. London: Springer-Verlag.
- Pahl, G. & Beitz, W., 1999. *Engineering Design - A Systematic Approach*. London: Springer-Verlag.
- Perrin-Bruneau, F., 2005. *Proposition d'un démarche d'intégration de nouvelles méthodes en conception: éléments pour la définition du rôle de l'intégrateur des méthodes*, Paris: Thèse de doctorat de l'ENSAM.
- Pimmler, T. & Eppinger, S., 1994. Integration Analysis of Product Decompositions. In: *Proceedings of ASME Design Theory and Methodology*. Minneapolis, MN: s.n.
- Pimmler, T. & Eppinger, S., 1994. *Integration Analysis of Product Decompositions*. Minneapolis, MN, Proceedings, ASME Design Theory and Methodology.
- Popovic, V., 2004. Expertise development in product design - strategic and domain-specific knowledge connections. *Design Studies*, 25(5), pp. 527-545.
- Priest, J. & Sanchez, J., 2001. *Product Development and Design for Manufacturing: A Col-laborative Approach to Producibility and Reliability*. 2nd ed. New York: Marcel Dekker.
- Pugh, S., 1990. *Total Design*. Reading: Addison-Wesley.
- Ramaswamy, R. & Ulrich, K., 1993. Augmenting the House of Quality with engineering models. *Research in Engineering Design*, 5(2), pp. 70-79.
- Reich, Y., 1992. *Transcending the Theory-Practice Problem of Technology*, Pittsburgh, PA, USA: Technical Report EDRC 12-51-92, Engineering Design Research Center, Carnegie Mellon University.

- Rekuc, S. J., 2005. *Eliminating Design Alternative under Intervalbased*, Georgia: School of Mechanical Engineering, Georgia Institute of Technology.
- Rinderle, J., 1991. Grammatical approaches to engineering design. Part II: Melding configuration and parametric design using attribute grammars. *Research in Engineering Design*, 2(3), pp. 137-146.
- Rizzi, L., 1982. *Issues in Italian Syntax*. Dordrecht: Foris.
- Rizzi, L., 1993/1994. Some notes on linguistic theory and language development : The case of Root Infinitives. *Language Acquisition*, 3(4), pp. 371-393.
- Rizzi, L., 1997. The fine structure of the left periphery. In: L. Haegeman, ed. *Elements of grammar : A handbook of generative syntax*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, pp. 281-338.
- Rizzi, L., 1998. Remarks on early null subjects. In: A. Greenhill, M. Hughes, H. Littlefield & H. Walsh, eds. *Proceedings of the 22nd annual Boston University conference on language development*. Somerville, Massachusetts, USA: Cascadilla Press, pp. 14-39.
- Rizzi, L., 2000. Remarks on early null subjects . In: M. Friedemann & L. Rizzi, eds. *The acquisition of syntax : Studies in comparative developmental linguistics*. London: Longman, pp. 269-292.
- Rizzi, L., 2002. *On the Grammatical Basis of Language Development : A Case Study*, Siena, Italy: University of Siena.
- Roucoules, L., 2007. *Contribution à l'intégration des activités collaboratives et métier en conception de produit*, s.l.: Habilitation à Diriger des Recherches, UTC.
- Roucoules, L. & Tichkiewitch, S., 2000. CoDE: a Co-operative Design Environment. A new generation of CAD systems. *Concurrent Engineering Research and Application Journal (CERA)*, 8(4), pp. 263-280.
- Sabin, D. & Weigel, R., 1998. Configuration Frameworks – A survey. *IEEE Intelligent Systems*, 13(4), pp. 32-85.

Sanchez, R., 2002. Fitting together a modular approach. *Manufacturing Engineer*, 81(5), pp. 216-218.

Sanchez, R. & Mahoney, J., 1996. Modularity, flexibility, and knowledge management in product and organization design. *Strategic Management Journal*, 17(S2), pp. 63-76.

Schmidt, L. & Cagan, J., 1996. Grammars for machine design. In: J. Gero & F. Sudweeks, eds. *Artificial Intelligence in Design '96*. s.l.:Kluwer Academic Publishers, pp. 325-344.

Schmidt, L. & Cagan, J., 1998. Optimal configuration design: an integrated approach using grammars. *ASME Journal of Mechanical Design*, 120(1), pp. 2-9.

Schmidt, L., Shi, H. & Kerkar, S., 2005. A constraint satisfaction problem approach linking function and grammar-based design generation and assembly. *ASME Journal of Mechanical Design*, 127(2), pp. 196-205.

Sharman, D., 2002. *PhD thesis, Valuing Architecture for Strategic Purposes*, Cambridge, MA: Massachusetts Institute of Technology.

Shea, K., Ertelt, C., Gmeiner, T. & Ameri, F., 2010. Design-to-fabrication automation for the cognitive machine shop. *Advanced Engineering Informatics*, 24(3), p. 251-268.

Siddique, Z. & Rosen, D., 1999. Product platform design: a graph grammar approach. In: *Proceedings of DETC'99, ASME Design Engineering Technical Conferences*. Las Vegas, Nevada, USA: s.n.

Siddique, Z. & Rosen, D., 2001. On combinatorial design spaces for the configuration design of product families. *Artificial Intelligence for Engineering Design, Analysis and Manufacturing*, 15(2), pp. 91-108.

Simpson, T., Rosen, D., Allen, J. & Mistree, F., 1998. Metrics for assessing design freedom and information certainty in the early stages of design. *Journal of Mechanical Design, Transactions of the ASME*, 120(4), pp. 628-635.

Skander, A., Roucoules, L., Sébastien, J. & Meyer, K., 2008. Design and manufacturing interface modelling for manufacturing processes selection and knowledge synthesis in

design. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 37(5), pp. 443-454.

Snavely, G. & Papalambros, P., 1993. Abstraction as a configuration design methodology. *Advances in Design Automation (ASME) DE*, 65(1), pp. 297-305.

Starling, A. & Shea, K., 2003. A grammatical approach to computational generation of mechanical clock designs. In: *Proceedings of the 14th International Conference in Engineering Design ICED'03*. Stockholm, Suède: s.n., pp. 445-446.

Steward, D., 1981. *Systems Analysis and Management: Structure, Strategy and Design*. New York: Petrocelli Books.

Stiny, G., 1980. Introduction to shape and shape grammars. *Environment and planning. B, Planning and design*, Volume 7, pp. 343-351.

Stiny, G., 1997. Ice-ray: a note on the generation of Chinese lattice designs. *Environment and planning. B, Planning and design*, Volume 4, pp. 89-98.

Stiny, G. & Gips, J., 1972. Shape grammars and the generative specification of painting and sculpture. In: C. Freiman, ed. *Information processing 71: Proceedings of IFIP Congress*. Amsterdam, North-Holland: s.n., pp. 1460-1465.

Stjepandić, J., Ostrosi, E., Fougères, A. & Kurth, M., 2015. Modularity and Supporting Tools and Methods. In: J. Stjepandić, N. Wognum & W. J.C. Verhagen, eds. *Concurrent Engineering in the 21st Century, Foundations, Developments and Challenges*. s.l.:Springer, pp. 389-420.

Stjepandić, J., Ostrosi, E., Fougères, A. & Kurth, M., 2015. Modularity and Supporting Tools and Methods. In: J. Stjepandić, N. Wognum & W. J.C. Verhagen, eds. *Concurrent Engineering in the 21st Century, Foundations, Developments and Challenges*. Switzerland: Springer International Publishing, pp. 389-420.

Stone, R. & Wood, K., 1999. Development of a Functional Basis For Design. *Journal of Mechanical Design*, 122(4), pp. 359-370.

- Stone, R. & Wood, K., 2000. A Heuristic Method for Identifying Modules for Product Architectures. *Design Studies*, 21(1), pp. 5-31.
- Suh, N. P., 2001. *Axiomatic Design: Advances and Applications*. Oxford: Oxford University Press.
- Sydenham, P. H., 2004. *Systems Approach to Engineering Design*. Boston, London: Artech House Inc..
- Szykman, S., Racz, J. & Sriram, R., 1999. The Representation of Function in Computer-Based Design. In: *Proceedings of the ASME Design Theory and Methodology Conference, DETC99/DTM-8742*. Las Vegas, NV: s.n.
- Szykman, S., Racz, J. & Sriram, R., 1999. *The Representation of Function in Computer-Based Design*. Las Vegas, NV, Proceedings of the ASME Design Theory and Methodology Conference, DETC99/DTM-8742.
- Taguchi, G., 1987. *System of Experimental Design*. Dearborn: vol. I and vol. 2, UNIPUB-Kraus International Publications (White Plains) and American Supplier Institute, Inc..
- Tan, C. & Chen, X., 2011. Induced intuitionistic fuzzy Choquet integral operator for multi-attribute decision making. *International Journal of Intelligent Systems*, 26(7), pp. 659-686.
- Tate, D. & Nordlund, M., 1995. *Synergies Between American and European Approaches to Design*. Austin, TX, s.n., pp. 103-111.
- Thompson, D. & Hughes, D., 1998. Holonic modelling. *Manufacturing Engineer*, 77(3), pp. 116 - 119.
- Thom, R., 1989. *Structural Stability and Morphogenesis: An Outline of a General Theory of Models*. Reading, MA, USA: Addison-Wesley.
- Tichkiewitch, S., Chapa, E. & Belloy, P., 1995. Un modèle produit multi-vues pour la conception intégrée. In: *Congrès International de Génie Industriel de Montréal*. Montréal, Canada: s.n., pp. 95-129.

Tichkiewitch, S., Tiger, H. & Jeantet, A., 1993. *Ingénierie Simultanée dans la conception de produits*, Universités d'été du pôle productique Rhône-Alpes: s.n.

Tiihonen, J. et al., 1999. Modelling configurable product families. In: *Proceedings of ICED'99*. München: s.n., pp. 1139-1142.

Tiihonen, J., Soininen, T., Männistö, T. & Sulonen, R., 1996. State-of-the-practice in Product Configuration - A Survey of 10 Cases in the Finnish Industry. In: T. Tomiyama, M. Mäntylä & S. Finger, eds. *Knowledge Intensive CAD*. London: Chapman & Hall, pp. 95-114.

Tomiyama, T. & Yoshikawa, H., 1987. In: *Extended general design theory, Design Theory for CAD*. s.l.:Elsevier Science Publishers, pp. 95-130.

Trybula, W., 1995. *Development of Design for Manufacture*. Portland, OR, IEEE1CPMT Int'l Electronics Manufacturing Technology Symposium.

Ullman, D. G., 1992. *The Mechanical Design Process*. 4th ed. New York: McGraw-Hill Series in Mechanical Engineering.

Ullman, D. G., 2009. *The Mechanical Design Process*. 4th ed. New York: McGraw-Hill.

Ullman, D., Stauffer, L. & Dietterich, T., 1987. *Preliminary Results of an Experimental Study of the Mechanical Design Process*. Oakland, CA, s.n., pp. 145-188.

Ulrich, K. & Eppinger, S., 2000. *Product Design and Development*. New York: McGraw Hill.

Ulrich, K. & Tung, K., 1991. Fundamentals of product modularity. In: *Proceedings of the 1991 ASME Design Technical Conferences - Conference on Design Manufacture/Integration*. Miami, Florida: s.n., pp. 73-79.

Ulrich, K. & Tung, K., 1991. *Fundamentals of product modularity*. Miami, Florida, Proceedings of the 1991 ASME Design Technical Conferences - Conference on Design Manufacture/Integration, pp. 73-79.

- Valckenaers, P. & Van Brussel, H., 2005. Fundamental insights into holonic systems design. *Lecture Notes In Computer Science*, Volume 3593, pp. 11-22.
- Valckenaers, P. et al., 1998. Designing holonic manufacturing systems. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 14(5-6), pp. 455-464.
- Van Brussel, H. et al., 1999. A Conceptual Framework for Holonic Manufacturing: Identification of Manufacturing Holons. *Journal of Manufacturing Systems*, 18(1), pp. 35-52.
- Van Brussel, H. et al., 1998. Reference architecture for holonic manufacturing systems: PROSA. *Computers in Industry*, 37(3), pp. 255-274.
- Veron, M., Fargier, H. & Aldanondo, M., 1999. *From CSP to configuration problems, Workshop AAAI'99 on Configuration*. Orlando, AAAI Press.
- Visser, W., 2002. *A tribute to Simon, and some-too late- questions, by a cognitive ergonomist. Rapport INRIA n°4462*, Rocquencourt, France: INRIA.
- Visser, W., 2004. *Dynamic Aspects of Design Cognition: Elements for a cognitive Model of Design*, s.l.: INRIA National Institute for Research in Computer Science and Control.
- Wang, L., 2001. Integrated design-to-control approach for holonic manufacturing systems. *Robotics and Computer Integrated Manufacturing*, 17(1-2), pp. 159-167.
- Ward, A. C., Liker, J. K., Sobek, D. K. & Cristiano, J. J., 1994. Set-based concurrent engineering and Toyota. In: *ASME Design Theory and Methodology*. New York: American Society for Mechanical Engineers, pp. 79-90.
- Warnecke, H., 1993. *The fractal company*. Berlin: Springer-Verlag.
- Whitfield, R., Smith, J. & Duffy, A., 2002. *Identifying Component Modules*. Cambridge, UK , Seventh International Conference on Artificial Intelligence in Design AID'02, 15-17 July 2002.
- Wood, K., Antonsson, E. & Beck, J., 1990. Comparing fuzzy and probability calculus. *Research in Engineering Design*, Volume 3-4, pp. 187-203.

- Wu, D., Rosen, D., Wang, L. & Schaefer, D., 2015. Cloud-based design and manufacturing: A new paradigm in digital manufacturing and design innovation. *Computer-Aided Design*, Volume 59, pp. 1-14.
- Xu, Z., 2005. An Overview of Methods for Determining OWA Weights. *International Journal of Intelligent Systems*, 20(8), pp. 843-865.
- Yager, R., 1992. Applications and extensions of OWA aggregation. *International Journal of Man-Machine Studies*, 37(1), pp. 103-132.
- Yager, R. & Kacprzyk, J., 1997. *The ordered weighted averaging operators: Theory and applications*. New York: Springer.
- Yang, Y. & Hinde, C., 2010. A new extension of fuzzy sets using rough sets: R-fuzzy sets. *Information Sciences*, 180(3), pp. 354-365.
- Yannou, B. & Petiot, J., 2002. Needs, perceptions, functions and products: Highlight on promising design methods linking them. In: *Proceedings of conference IDMME02*. Clermont-Ferrand, France: s.n.
- Yannou, B. & Petiot, J., 2002. *Needs, perceptions, functions and products: Highlight on promising design methods linking them*. Clermont-Ferrand, France, Proceedings of conference IDMME02.
- Yoshikawa, H., 1981. *General Design Theory and a CAD System*. North Holland, Amsterdam, s.n., pp. 35-58.
- Yu, T., Yassine, A. & Goldberg, D. E., 2003. A genetic algorithm for developing modular product architectures. In: *Proceedings of the ASME Design Engineering Technical Conference*. Chicago, Illinois, USA: s.n., pp. 515-524.
- Yu, T., Yassine, A. & Goldberg, D. E., 2003. *A genetic algorithm for developing modular product architectures*. Chicago, Illinois, USA, Proceedings of the ASME Design Engineering Technical Conference, pp. 515-524.
- Zadeh, L., 1965. Fuzzy Sets. Information and Control. *Information and Control*, 8(3), pp. 338-353.

Zadeh, L., 1973. Outline of a new approach to the analysis of complex systems and decision processes interval-valued fuzzy sets. *IEEE Trans Syst Man Cybern*, Volume SMC-3, pp. 28-44.

Zadeh, L., 1996. Fuzzy logic = Computing with words. *IEEE Trans Fuzzy Systems*, 4(2), pp. 103-111.

Zeng, Y. & Gu, P., 1999a. Science-based approach to product design theory. Part I: Formulation and formalization of design process. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 15(4), pp. 331-339.

Zeng, Y. & Gu, P., 1999b. A science-based approach to product design theory. Part II: formulation of design requirements and products. *Robotics and Computer Integrated Manufacturing*, 15(4), pp. 314-352.

Zhang, X., Balasubramanian, S., Brennan, R. & Norrie, D., 2000. Design and implementation of a real-time holonic control system for manufacturing. *Information Sciences*, 127(1-2), pp. 23-44.

Zhou, W., 2014. An Accurate Method for Determining Hesitant Fuzzy Aggregation Operator Weights and Its Application to Project Investment. *International Journal of Intelligent Systems*, 29(7), pp. 668-686.

Zimmermann, H., 1996. *Fuzzy set theory and its applications*. Boston: Kluwer Academic Publishers.

## LISTE DES PUBLICATIONS

1. Issa, H., Ostrosi, E., Lenczner, M. & Habib, R., 2015. Fuzzy holons for intelligent multi-scale design in cloud-based design for configurations. *Journal of Intelligent Manufacturing*, Issue DOI. 10.1007/s10845-015-1119-4. pp. 1-29, First online 01 July 2015.
2. Issa, H., Ostrosi, E., Lenczner, M., Habib, R. 2014. Discontinuous phenomena of holonic design : functional completeness versus solution completeness. *Procedia CIRP*, 21, pp. 443-448. Presented in : *24th CIRP Design Conference*, 14–16 April 2014, Milan, Italy.
3. Issa, H., Ostrosi, E., Lenczner, M., Habib, R. 2013. Influence of Functional Knowledge Structuring for Modular Design. *Advanced Materials Research*, 651, pp. 595-600. Presented in : *International Conference on Engineering Materials (ICEM 2012)*, December 30-31, 2012, Singapore.
4. Issa, H., Ostrosi, E., Lenczner, M., Habib, R. 2014. A holonic approach for multi-scale design using attractors. Dans: *Proceedings of Tenth International Symposium on Tools and Methods of Competitive Engineering (TMCE 2014)*, May 19-23, 2014, Budapest, Hungary.
5. Issa, H., Ostrosi, E., Pfaender, F., Lenczner, M., Habib, R., Tzen, M.Z. 2013. Multi-scale Design Using a Holonic Approach. Dans: *Proceedings of 2nd IET/IEEE International Conference on Smart and Sustainable City (ICSSC 2013)*, August 19-20, 2013, Shanghai, China.
6. Issa, H., Ostrosi, E., Lenczner, M. & Habib, R., 2013. Fuzzy Functional Modelling in CAD Systems. Dans: *J. Stjepandić, G. Rock & C. Bil, eds. Concurrent Engineering Approaches for Sustainable Product Development in a Multi-Disciplinary Environment*. London: Springer-Verlag, pp. 595-608.

## **ANNEXES**



Annexe 1 : Liste détaillée des composants du bloc de moteur de scooter

Module/sous-assemblage	Référence	Nombre	Désignation	Commentaire
Variateur	501	1	Courroie de transmission	18x8x755
Démarrreur/Kick	402	1	Ressort de rappel	
Démarrreur/Kick	401	1	Ensemble pignon de kick	Z=7 m=1.5 beta=45°
Démarrreur/Kick	303	2	Vis à tête hexagonale	ISO 4017 M6x30
Démarrreur/Kick	302	1	Moteur électrique de démarrage	Z=11 m=0.6
Démarrreur/Kick	301	1	Ensemble pignon lanceur	Z1=14 m1=1.75 Z2=63 m2=0.6
Variateur	219	1	Rondelle de calage	
Variateur	218	1	Plateau entraineur	
Variateur	217	1	Bague de flasque mobile	
Variateur	216	1	Moyeu de guidage	
Variateur	215	1	Ecrou hexagonal à embase	ISO 4161 M10
Variateur	214	1	Moyeu lanceur	
Variateur	213	6	Galet	
Variateur	212	1	Flasque fixe de poulie motrice	
Variateur	211	1	Flasque mobile de poulie motrice	
Variateur	210	1	Joint torique	B2 27x1.78
Variateur	209	1	Enveloppe de poulie	
Démarrreur / Kick	208	1	Couronne dentée	Z=69 m=1.75
Vilebrequin	207	1	Vilebrequin gauche	
Vilebrequin	206	2	Rondelle d'embellage	
Vilebrequin	205	1	Cage à aiguilles	16x22x12 (FAG)
Vilebrequin	204	1	Bielle	
Vilebrequin	203	1	Maneton	
Vilebrequin	202	1	Excentrique compresseur	
Vilebrequin	201	1	Vilebrequin droit	
Interface/Support/Bequille	157	1	Axe support moteur	
Interface/Support/Bequille	156	1	Roulement	
Interface/Support/Bequille	155	1	Roulement	
Carter	154	1	Pion de centrage	du couvercle carter gauche

Module/sous-assemblage	Référence	Nombre	Désignation	Commentaire
Interface/Support/Bequille	153	1	Roulement	En lien avec suspension arrière
Interface/Support/Bequille	152	1	Axe support moteur	
Carter	151	6	Vis à embase H M6 x 1	Vis couvercle carter gauche
Démarreur/Kick	111	1	Vis à tête hexagonale	ISO 4017 M6x30
Carter	110	1	Couvercle gauche	
Carter	109	1	Carter droit	
Vilebrequin	108A	1	Roulement 20-47-14	SKF 6204
Vilebrequin	108B	1	Roulement 20-47-14	SKF 6204
Vilebrequin	107	1	Joint de carter	
Vilebrequin	106	2	Joint à lèvre 20-30-7	Freudenberg
Vilebrequin	105	2	Pion de centrage 6-16	
Démarreur/Kick	104	1	Coussinet à colerette fritté, C 8-12-8	
Démarreur/Kick	103	1	Coussinet cylindrique fritté, 8-12-8	
Démarreur/Kick	102	1	Palier de pignon lanceur	
Carter	101	1	Carter gauche	
Démarreur/Kick	601	1	Pignon de kick	
Démarreur/Kick	602	1	Ressort de rappel de kick	
Démarreur/Kick	603	1	Entretoise	
Démarreur/Kick	604	1	Rondelle plate	14 2-21-2
Démarreur/Kick	605	1	Circlips extérieur	
Démarreur/Kick	609	1	Levier kick	RPM : 740345AL
Démarreur/Kick	610	1	Vis CHC	M 6x1 00-25
Réducteur	611	1	Arbre de sortie	Z=45
Réducteur	612A	1	Arbre primaire	Arbre d'entrée
Réducteur	612B	1	Arbre secondaire	
Réducteur	651	1	Couvercle réducteur	
Réducteur	652A	1	Roulement à billes	
Réducteur	652B	1	Roulement à billes	
Réducteur	653	1	Joint de couvercle réducteur	
Réducteur	654	2	Pion de centrage 8-12	
Réducteur	652C	1	Roulement à billes	

Module/sous-assemblage	Référence	Nombre	Désignation	Commentaire
Réducteur	655	1	Joint à lèvres arbre sortie	
Réducteur	656	1	Roulement à billes	Arbre de sortie coté roue
Réducteur	657	6	Vis HE	
Réducteur	658	1	Joint à lèvres arbre primaire	
Interface/Support/Bequille	659	1	Butée en caoutchouc	
Embrayage/Correcteur de couple	701	1	Joint spy	
Embrayage/Correcteur de couple	702	1	Poulie	
Embrayage/Correcteur de couple	703	1	Pion correcteur	
Embrayage/Correcteur de couple	704	1	Rondelle	
Embrayage/Correcteur de couple	705	1	Correcteur	
Embrayage/Correcteur de couple	706	2	Joint torique	
Embrayage/Correcteur de couple	707	1	Guide de ressort	
Embrayage/Correcteur de couple	708	1	Ressort de poussée	
Embrayage/Correcteur de couple	709	1	Ressort d'embrayage	
Embrayage/Correcteur de couple	710	1	Embreyage	
Embrayage/Correcteur de couple	711	1	Ecrou embrayage	
Embrayage/Correcteur de couple	712	1	Cloche embrayage	
Embrayage/Correcteur de couple	713	1	Ecrou de fixation de la cloche d'embrayage	
Embrayage/Correcteur de couple	714	1	Rondelle	
Carburateur (admission)	222	1	Vis HE	M6X1 00-25
Carburateur (admission)	224	1	Clapet d'admission	

Module/sous-assemblage	Référence	Nombre	Désignation	Commentaire
Carburateur (admission)	225	1	Vis indémontable	M6X1 00-28
Carburateur (admission)	226	1	Joint de clapet d'admission	
Carburateur (admission)	227	1	Raccord de carburateur	
Cylindre/Piston	311	2	Jonc / Circlips	
Cylindre/Piston	312	1	Axe piston	
Cylindre/Piston	313	2	Segment de piston	
Cylindre/Piston	314	1	Cage à aiguilles	12x16x16
Cylindre/Piston	315	1	Piston	
Interface/Support/Bequille	251	1	Béquille	
Interface/Support/Bequille	252	1	Axe	
Interface/Support/Bequille	253	1	Rondelle caoutchouc	
Interface/Support/Bequille	254	1	Rondelle plate	
Interface/Support/Bequille	255	1	Goupille	
Interface/Support/Bequille	256	1	Ressort de béquille	
Carburateur (admission)	802	1	Carter carburateur	
Carburateur (admission)	803	1	-	
Carburateur (admission)	804	1	Ressort de boisseau	
Carburateur (admission)	805	1	Flotteur avec axe	
Carburateur (admission)	806	1	Chapeau de chambre	
Carburateur (admission)	807	1	Cuve	
Carburateur (admission)	808	1	Gicleur	et la pièce 824
Carburateur (admission)	809	1	Gicleur de ralenti	
Carburateur (admission)	810	1	Starter	
Carburateur (admission)	811	1	Pignon kick	
Carburateur (admission)	813	1	Plaquette fixation	
Carburateur (admission)	814	1	-	
Carburateur (admission)	815	1	-	
Carburateur (admission)	816	2	Vis	
Carburateur (admission)	817	2	Vis	
Carburateur (admission)	818	1	Vis de butée avec ressort	
Carburateur (admission)	820	1	-	
Carburateur (admission)	821	1	-	
Carburateur (admission)	822	1	Joint de cuve	
Carburateur (admission)	823	1	Joint torique	
Carburateur (admission)	830	1	-	

Module/sous-assemblage	Référence	Nombre	Désignation	Commentaire
Cylindre/Piston	351	4	Vis HE	
Cylindre/Piston	352	4	Rondelle	
Cylindre/Piston	353	1	Culasse	
Cylindre/Piston	354	1	Bougie	
Cylindre/Piston	355	1	-	
Cylindre/Piston	356	2	Vis	
Cylindre/Piston	357	1	Joint de culasse	
Cylindre/Piston	358	1	Cylindre	
Cylindre/Piston	359	1	Joint d'embase	
Cylindre/Piston	360	1	Connecteur allumage bougie	
Générateur	161	1	Support capteur	
Générateur	162	2	Vis HE capteur	
Générateur	163	1	Capteur	
Générateur	164	3	Vis HE rotor	
Générateur	165	3	Cylindre caoutchouc	
Générateur	166	1	Rotor	
Générateur	167	1	Ecrou embase	écrou rotor
Générateur	168	1	Stator	
Générateur	169	2	Vis HE	vis stator
Refroidissement	171	1	Turbine de refroidissement	
Refroidissement	172	1	Couvercle de turbine	
Refroidissement	173	3	Vis HE	
Réservoir	918	1	Réservoir	
Echappement	917	2	Vis	Vis réservoir
Echappement	902	2	Vis	Vis ligne échappement cylindre piston
Echappement	903	1	Plaque fixation	Plaque fixation ligne échappement cylindre piston
Echappement	904	1	Echappement catalyseur +	
Echappement	905	1	Plaque support échappement	

<b>Module/sous-assemblage</b>	<b>Référence</b>	<b>Nombre</b>	<b>Désignation</b>	<b>Commentaire</b>
Echappement	906	1	Bras support échappement	
Echappement	907	2	Vis à embase H	Vis bras support ligne échappement
Echappement	908	1	Carter protection échappement	
Echappement	909	3	Vis torx + rondelle	Vis carter protection échappement
Echappement	910	1	Conduit retour échappement	Conduit entre le catalyseur et le silencieux
Echappement	911	1	Coque protection conduit retour	
Echappement	912	1	Silencieux	Silencieux échappement
Echappement	913	2	Vis torx + rondelle	Vis silencieux catalyseur
Echappement	914	2	Vis CHC	Vis catalyseur support échappement
Echappement	915	3	Vis torx + rondelle	Vis rconduit retour silencieux
Echappement	916	2	Vis torx + rondelle	Vis coque protection conduit retour







## Résumé

Aujourd'hui, dans un monde globalisé, la conception des produits est en train de basculer vers la conception distribuée multi-sites. En effet, la complexité des produits avec des contraintes économiques et d'ingénierie, ont accéléré la transformation et l'organisation des activités de conception en service-orientés dans un réseau distribué. Alors, la conception pour la configuration des produits émerge comme un outil efficace pour résoudre les nouveaux défis de la conception des produits. Beaucoup de recherches sur la conception pour la configuration considèrent le problème de la conception pour la configuration uniquement comme un problème d'arrangement des composants. En effet, le processus de conception implique de multiple-métiers, la distribution des métiers et des acteurs, et l'interaction dans un environnement dynamique et incertain. En considérant l'espace de la conception pour la configuration comme multi vues, multi dimensionnels et incertain, cette thèse porte sur l'étude de la conception pour la configuration comme un problème holistique.

Nous avons proposé à étudier : (1) appréhender et modéliser la conception pour la configuration comme un problème de recherche de consensus entre différents métiers ; (2) appréhender et modéliser les relations intra et inter domaines considérant la conception pour la configuration comme un problème holistique ; (3) formaliser les grammaires génératives pour la modélisation de produit dans les deux principaux espaces : fonctionnel et structurel et (4) modéliser les liens entre ces deux espaces à l'aide du concept d'holon de conception. A partir de ces considérations, nous établissons les hypothèses les plus importantes de notre recherche : (a) Hypothèse de multi-vues ; (b) Hypothèse de flou ; (c) Hypothèse de dérivation ; (d) Hypothèse holistique et (e) Hypothèse d'attracteur.

Nous avons décrit un modèle de conception pour la configuration dans lequel les aspects d'optimisation des configurations et la recherche des noyaux des configurations sont intégrés. D'ailleurs, nous avons proposé des grammaires fonctionnelles floues graphes et des grammaires fonctionnelles floues formelles pour représenter graphiquement et formellement les structures fonctionnelles de produit. Nous avons aussi proposé une approche de modélisation holonique des configurations. Les concepts d'Holon Conception Floue et de l'Attracteur Flou sont proposés pour comprendre la coévolution dans la conception pour la configuration. Nous avons étudié un cas industriel de la conception pour la configuration à l'aide des modules pour un groupe motopropulseur.

The logo for SPIM (École doctorale SPIM) features a blue horizontal bar on the left, followed by the letters 'S', 'P', 'I', and 'M' in a large, white, sans-serif font. The 'S' is stylized with a curved bottom.