

Université de Montréal

Décomposition des systèmes d'information:
étude exploratoire des facteurs d'influence

par

Nejmeddine Tagoug

Département d'informatique et de recherche opérationnelle
Faculté des arts et des sciences

Thèse présentée à la Faculté des études supérieures
en vue de l'obtention du grade de
Philosophiæ Doctor (Ph.D.)
en informatique

Mai, 1998

© Nejmeddine Tagoug, 1998



QA
76
U54
1998
v.026

Université de Montréal

Décomposition des systèmes d'information:
étude exploratoire des facteurs d'influence

par

Mélanie Tanguay

Département d'informatique et de recherche opérationnelle

Faculté des arts et des sciences

1998

Titre présenté à la Faculté des études supérieures

en vue de l'obtention du grade de

Philosophie Doctor (Ph.D.)

en informatique

Mars 1998

© Mélanie Tanguay 1998



Université de Montréal

Faculté des études supérieures

Cette thèse intitulée:

Décomposition des systèmes d'information:

étude exploratoire des facteurs d'influence

présentée par:

Nejmeddine Tagoug

a été évaluée par un jury composé des personnes suivantes:

Rudolf Keller Président-rapporteur

François Lustman Directeur de recherche

Paul Bratley Membre de jury

Ali Jaoua Examineur externe

Thèse acceptée le:

Sommaire

La décomposition des systèmes d'information (SI) joue un rôle important pour déterminer la qualité d'un logiciel. Elle réduit la complexité des systèmes. Pour décomposer un système en sous-systèmes, il faut considérer plusieurs critères tels que données, fonctions d'affaires, structure organisationnelle, etc... La plupart des méthodes d'analyse et de conception considèrent seulement les données et les fonctions et ignorent les autres critères de décomposition. En plus, il y a peu de connaissance sur les critères qui peuvent conduire à une bonne décomposition.

L'objectif principal de cette thèse est de trouver les critères qui conduisent à une bonne décomposition. Pour accomplir cet objectif, une approche de type expérimental a été choisie. Elle consiste à choisir les cinq critères les plus connus et à les expérimenter sur un banc d'essai composé de SI réels.

Les cinq critères choisis sont: les données, les fonctions d'affaires, le comportement, la structure organisationnelle et le temps. Pour expérimenter ces critères, un modèle général de représentation d'un SI a été défini et des décompositions des trois SI réels selon les cinq critères de décomposition ont été effectuées. Pour mesurer la qualité de ces décompositions, nous avons défini des métriques de qualité au niveau système car dans la littérature les métriques de qualité existantes sont au niveau module et entre des modules et non au niveau système et entre des sous-systèmes.

La qualité d'un SI est définie par des critères internes et des critères externes. Dans cette thèse, nous avons choisi comme critères internes la cohésion et le couplage et comme critère externe la maintenabilité. Une métrique interne unifiée de cohésion et de couplage a été définie. Cette métrique implique des poids pour les différents liens entre

primitives d'une décomposition. Pour déterminer ces poids, calibrer la métrique de qualité interne et pouvoir classifier les critères de décomposition, une approche indépendante de qualité basée sur la maintenabilité a été choisie. Nous avons défini des métriques de qualité externe, conduit deux expérimentations sur un banc d'essai comprenant trois SI réels. Ces expérimentations ont permis d'attribuer des poids aux différents liens entre primitives d'une décomposition.

Pour valider la métrique unifiée de cohésion et de couplage, nous l'avons expérimentée sur le même banc d'essai.

Cette thèse apporte des éléments de réponses aux questions suivantes:

1) Comment peut on reconnaître une bonne décomposition?

La classification obtenue après expérimentation révèle quels critères il faut considérer et quels critères il faut éviter pour avoir une bonne décomposition d'un SI.

2) Comment peut-on mesurer la qualité d'une décomposition au niveau système?

La métrique de qualité externe mesure la qualité d'une décomposition en mesurant sa capacité à absorber les changements.

La métrique unifiée de cohésion et de couplage mesure un SI et donne une indication du degré de cohésion d'un sous-système et du degré du couplage entre les sous-systèmes.

Table des matières

Table des matières	v
Liste des figures	xv
Liste des tables	xviii
Remerciements	xix
Chapitre 1 Introduction	1
1.1 Motivation	1
1.2 Description des problématiques	4
1.2.1 Problème 1: meilleurs critères de décomposition.....	4
1.2.2 Problème 2: évaluation quantitative de la qualité.....	5
1.3 Solutions proposées	6
1.4 Méthodologie de recherche	7
1.5 Résultats	8
1.6 Organisation de la thèse	8
Chapitre 2 Décomposition des systèmes d'information	10
2.1 Introduction	10
2.2 Méthodes de décomposition.....	11
2.2.1 Décomposition fonctionnelle.....	12
2.2.2 Méthodes structurées	12
2.2.3 Méthodes basées sur les structures de données	13
2.2.4 Méthodes de dérivation formelle	13
2.2.5 Méthodes basées sur les réseaux de Pétri	14
2.2.6 Méthodes orientée-objet	14
2.2.7 Synthèse de cinq méthodes de décomposition	16

2.3	Algorithmes de décomposition.....	17
2.3.1	Algorithme basé sur l'interaction des données.....	17
2.3.2	Algorithme de décomposition des diagrammes de flot de données	18
2.3.3	Algorithme basé sur les besoins et les scénarios	19
2.3.4	Algorithme basée sur le comportement.....	21
2.3.5	Algorithme basé sur la décomposition rectangulaire	22
2.3.6	Synthèse générale des cinq algorithmes	24
2.4	Résumé.....	25
Chapitre 3 Qualité d'une décomposition d'un système d'information		27
3.1	Introduction	27
3.2	Critères externes de qualité	28
3.2.1	Critères de Myers	28
3.2.2	Critères de Page-Jones.....	29
3.2.3	Critères de McCall et Cavano.....	29
3.2.4	Critères de Kweku	31
3.2.5	Critères de Boehm	31
3.2.6	Norme ISO/IEC 9126.....	32
3.2.7	Synthèse des critères externes de qualité.....	34
3.3	Modèles d'effort basées sur la maintenabilité.....	35
3.3.1	Généralités	35
3.3.2	Modèle d'effort de Belady et Lehman.....	36
3.3.3	Modèle d'effort de Li et Henry.....	37
3.3.4	Modèle d'effort de Basili & al.....	37
3.3.5	Synthèse générale des modèles d'effort	39
3.4	Critères internes de qualité.....	39

3.4.1	Complexité	40
3.4.2	Modularité, cohésion et couplage.....	41
3.4.3	Cohésion et couplage dans le paradigme procédural	42
3.4.4	Cohésion et couplage dans le paradigme orienté objet	48
3.4.5	Synthèse générale	50
3.5	Lien entre cohésion, couplage et maintenabilité	53
3.6	Résumé	55
Chapitre 4 Modélisation d'un système d'information		56
4.1	Introduction	56
4.2	Objectifs du modèle général d'un système d'information	57
4.3	Modèle de diagrammes de flots de données et modèle de Courtois.....	58
4.3.1	Modèle de diagrammes de flots de données	58
4.3.2	Modèle de Courtois	60
4.4	Exemple d'un système d'information: Système de paie	62
4.5	Modèle général d'un système d'information	63
4.5.1	Primitive	64
4.5.2	Lien.....	65
4.5.3	Système.....	66
4.5.4	Sous-système	67
4.5.5	Décomposition.....	68
4.6	Critères de décomposition.....	69
4.6.1	Introduction	69
4.6.2	Critère de décomposition.....	69
4.6.3	Critère données.....	70
4.6.4	Critère fonctions d'affaires	71

4.6.5	Critère temps	72
4.6.6	Critère structure organisationnelle.....	73
4.6.7	Critère comportement.....	75
4.7	Cas particulier de décomposition	76
4.8	Résumé.....	77
Chapitre 5 Métriques de qualité d'une décomposition.....		78
5.1	Introduction	78
5.2	Concepts et objectifs de la décomposition d'un SI	79
5.2.1	Concepts de base: cohésion et couplage.....	79
5.2.2	Rappels des objectifs de la thèse	80
5.3	Cohésion d'un ensemble de primitives.....	80
5.3.1	Rappel du modèle de SI.....	80
5.3.2	Hypothèses	82
5.3.3	Métrique de cohésion	82
5.3.4	Illustration de la métrique de cohésion.....	84
5.4	Couplage d'un ensemble de composants	86
5.4.1	Couplage et cohésion: mesure de la même chose	86
5.4.2	Métrique de couplage entre sous-systèmes	88
5.4.3	Illustration de la métrique de couplage	90
5.5	Qualité d'une décomposition	91
5.5.1	Propriétés de qualité d'une décomposition.....	91
5.5.2	Métrique de qualité basée sur la cohésion et le couplage.....	92
5.5.3	Illustration de la métrique de qualité	93
5.6	Résumé.....	93

Chapitre 6 Estimation des poids des liens entre primitives.....	95
6.1 Introduction	95
6.2 Philosophie générale de la démarche	96
6.2.1 But de l'expérimentation	96
6.2.2 Approche de qualité indépendante	97
6.2.3 Les systèmes d'information de l'expérimentation.....	97
6.3 Le critère de qualité externe considéré.....	98
6.4 Les systèmes d'information considérés.....	99
6.4.1 Généralités	99
6.4.2 Système des prêts bancaires	100
6.4.3 Système de gestion de portefeuille	107
6.4.4 Système de gestion de trésorerie	111
6.5 Démarche d'expérimentation	116
6.6 Analyseur de qualité de la décomposition d'un SI.....	117
6.7 Analyse quantitative et évaluation des résultats	117
6.8 Résumé	118
Chapitre 7 Modèle externe de qualité basé sur la décomposition.....	119
7.1 Introduction	119
7.2 Modèle de qualité basée sur la maintenabilité	120
7.2.1 Introduction	120
7.2.2 Hypothèses	120
7.2.3 Métrique de qualité externe	121
7.3 Expérimentation 1	122
7.3.1 Introduction	122
7.3.2 Analyseur de qualité du modèle basé sur la décomposition.....	123

7.3.3	Résultats expérimentaux par SI	123
7.3.4	Résultats globaux de trois systèmes	127
7.4	Résumé	128
Chapitre 8 Modèle externe de qualité prenant en compte les tests de régression .		130
8.1	Introduction	130
8.2	Modèle d'effort raffiné d'une décomposition.....	131
8.3	Modèle de qualité d'une décomposition	134
8.3.1	Introduction	134
8.3.2	Décomposition idéale par rapport à un changement	134
8.3.3	Plus mauvaise décomposition par rapport à un changement.....	135
8.3.4	Métriques de qualité	136
8.4	Expérimentation 2	138
8.4.1	Introduction	138
8.4.2	Analyseur de qualité du modèle raffiné.....	138
8.4.3	Résultats expérimentaux par SI.....	139
8.4.4	Résultats globaux.....	143
8.5	Comparaison des deux expérimentations	144
8.6	Détermination des poids des liens entre primitives	146
8.6.1	Philosophie des poids	146
8.6.2	Attribution des poids	146
8.7	Résumé	148
Chapitre 9 Validation des métriques de qualité basée sur la cohésion et le couplage		150
9.1	Introduction	150
9.2	Algorithme de calcul des métriques	151
9.2.1	Rappel des métriques de cohésion, de couplage et de qualité.....	151

9.2.2	Description de l’algorithme de calcul de qualité	152
9.3	Validation des métriques basées sur la cohésion et le couplage.....	153
9.3.1	Introduction	153
9.3.2	Analyseur de qualité du modèle basé sur la cohésion et le couplage	153
9.3.3	Résultats expérimentaux par SI	154
9.3.4	Résultats globaux.....	160
9.4	Validation des métriques de cohésion et de couplage	161
9.5	Résumé	162
Chapitre 10	Conclusion	164
10.1	Rappel de la démarche de recherche	164
10.2	Contributions de la thèse	165
10.2.1	Métriques de qualité interne et externe.....	165
10.2.2	Classification des critères de décomposition	166
10.2.3	Investigation et diagnostic de la décomposition.....	167
10.3	Travaux futurs.....	167
10.3.1	Nombre de systèmes d’informations expérimentés.....	168
10.3.2	Hiérarchie de la décomposition	169
10.3.3	Adaptation des métriques au paradigme orienté-objet	168
	Bibliographie	169
Annexe A	Banc d’essai: Description de trois systèmes d’information réels	174
A.1	Système des prêts bancaires	175
A.1.1	Description générale du système	175
A.1.2	Modèle général du système de prêts bancaires.....	177
A.1.3	Décompositions du système de prêts bancaires.....	178
A.2	Système de gestion de portefeuille.....	179

A.2.1	Description générale du système	179
A.2.2	Modèle général du système de gestion de portefeuille.....	181
A.2.3	Décompositions du système de gestion de portefeuille.....	182
A.3	Système de gestion de trésorerie	183
A.3.1	Description générale du système de gestion de trésorerie.....	183
A.3.2	Modèle général du système de gestion de trésorerie	185
A.3.3	Décompositions du système de gestion de trésorerie	186
Annexe B	Résultats expérimentation 1: Modèle externe de qualité	187
B.1	Système des prêts bancaires: Analyse détaillée	188
B.1.1	Décomposition basée sur les données	188
B.1.2	Décomposition basée sur la structure administrative	189
B.1.3	Décomposition basée sur les fonctions d'affaires	190
B.1.4	Décomposition basée sur le comportement.....	191
B.1.5	Décomposition basée sur le temps	192
B.2	Système de gestion de portefeuille:.....	193
B.2.1	Décomposition basée sur les données	193
B.2.2	Décomposition basée sur la structure administrative	194
B.2.3	Décomposition basée sur le comportement.....	195
B.2.4	Décomposition basée sur les fonctions d'affaires	196
B.2.5	Décomposition basée sur le temps	197
B.3	Système de gestion de trésorerie:	198
B.3.1	Décomposition basée sur les données	199
B.3.2	Décomposition basée sur la structure administrative	200
B.3.3	Décomposition basée sur les fonctions d'affaires	201
B.3.4	Décomposition basée sur le comportement.....	202

B.3.5	Décomposition basée sur le temps	203
Annexe C	Résultats expérimentation 2: Modèle externe de qualité raffiné	204
C.1	Système des prêts bancaires	205
C.1.1	Décomposition basée sur les données	205
C.1.2	Décomposition basée sur la structure administrative	206
C.1.3	Décomposition basée sur les fonctions d'affaires	207
C.1.4	Décomposition basée sur le comportement	208
C.1.5	Décomposition basée sur le temps	209
C.2	Système de gestion de portefeuille	210
C.2.1	Décomposition basée sur les données	210
C.2.2	Décomposition basée sur la structure administrative	211
C.2.3	Décomposition basée sur le comportement	212
C.2.4	Décomposition basée sur les fonctions d'affaires	213
C.2.5	Décomposition basée sur le temps	214
C.3	Système de gestion de trésorerie	215
C.3.1	Décomposition basée sur les données	216
C.3.2	Décomposition basée sur la structure administrative	217
C.3.3	Décomposition basée sur les fonctions d'affaires	218
C.3.4	Décomposition basée sur le comportement	219
C.3.5	Décomposition basée sur le temps	220
Annexe D	Résultats de validation des métriques de cohésion et de couplage	221
D.1	Système des prêts bancaires	222
D.1.1	Décomposition basée sur les données	222
D.1.2	Décomposition basée sur la structure administrative	223
D.1.3	Décomposition basée sur le comportement	224

D.1.4	Décomposition basée sur les fonctions d'affaires	225
D.1.5	Décomposition basée sur le temps	226
D.2	Liens du système des prêts bancaires	227
D.2.1	Liens physiques	227
D.2.2	Liens de type structure organisationnelle	228
D.2.3	Liens de type comportement	229
D.2.4	Liens de type données	230
D.2.5	Liens de type fonctions d'affaires	231
D.2.6	Liens de type temps	232
D.3	Système de gestion de portefeuille	233
D.3.1	Décomposition basée sur les données	233
D.3.2	Décomposition basée sur la structure administrative	234
D.3.3	Décomposition basée sur le comportement	235
D.3.4	Décomposition basée sur les fonctions d'affaires	236
D.3.5	Décomposition basée sur le temps	237
D.4	Système de gestion de trésorerie	238
D.4.1	Décomposition basée sur les données	238
D.4.2	Décomposition basée sur la structure administrative	239
D.4.3	Décomposition basée sur le comportement	240
D.4.4	Décomposition basée sur les fonctions d'affaires	241
D.4.5	Décomposition basée sur le temps	242
D.5	Système de gestion de la paie	243
D.5.1	Décomposition basée sur les données	243
D.5.2	Décomposition basée sur la structure administrative	244
D.5.3	Décomposition basée sur le comportement	245

D.5.4	Décomposition basée sur les fonctions d'affaires	246
D.5.5	Décomposition basée sur le temps	247

Liste des figures

Figure 4.1	Modèle général du système de paie	62
Figure 4.2	Représentation graphique d'une primitive.....	64
Figure 4.3	Représentation graphique d'un lien	66
Figure 4.4	Système composé de 3 primitives.....	67
Figure 4.5	Exemple de décomposition de système de paie.....	68
Figure 4.6	Graphe représentant un facteur d'influence avec deux primitives.	70
Figure 4.7	Représentation graphique d'un critère de décomposition	70
Figure 4.8	Décomposition du SI paie selon les données.....	71
Figure 4.9	Décomposition du SI paie selon les fonctions d'affaires.....	72
Figure 4.10	Décomposition du SI paie selon le temps.....	73
Figure 4.11	Décomposition du SI paie selon la structure organisationnelle	74
Figure 4.12	Décomposition du SI paie selon le comportement	76
Figure 5.1	Système composé de 3 sous-systèmes.....	81
Figure 5.2	Décomposition du SI paie basée sur le temps	84
Figure 5.3	Cohésion et couplage: Mesure de la même chose	87
Figure 5.4	Couplage du système	88
Figure 5.5	Couplage du système pour la décomposition basée sur le temps	90
Figure 6.1	Modèle général du SI des prêts bancaires	100
Figure 6.2	Décomposition du SI prêts selon la structure organisationnelle.....	103
Figure 6.3	Décomposition du SI prêts selon le comportement	103
Figure 6.4	Décomposition du SI prêts selon les données	104
Figure 6.5	Décomposition du SI prêts selon les fonctions d'affaires.....	104
Figure 6.6	Décomposition du SI prêts selon le temps.....	105

Figure 6.7	Modèle du système de gestion de portefeuille.....	107
Figure 6.8	Modèle du système de gestion de trésorerie	111

Liste des tables

Table 3.1	Norme ISO standard 9126.....	33
Table 3.2	Résumé des critères externes considérés.....	34
Table 4.1	Critères de décomposition.....	69
Table 5.1	SI paie: Liens dans le sous-système <i>SSI</i>	85
Table 5.2	Cohésion de la décomposition basée sur le temps.....	86
Table 5.3	Poids des liens entre sous-systèmes	91
Table 6.1	Primitives du système de prêts	101
Table 6.2	Ensemble de changements du système des prêts	102
Table 6.3	Décompositions de SI prêts.....	106
Table 6.4	Primitives du système de portefeuille	108
Table 6.5	Ensemble de changements du système portefeuille	109
Table 6.6	Décompositions de SI portefeuille	110
Table 6.7	Primitives du système de trésorerie	112
Table 6.8	Ensemble des changements du SI trésorerie	113
Table 6.9	(Suite) ensemble de changements du SI trésorerie	114
Table 6.10	Décompositions du système de trésorerie.....	115
Table 7.1	Décomposition SI prêts bancaires basée sur les données	124
Table 7.2	Résultats de qualité de SI prêts bancaires	125
Table 7.3	Résultats de qualité de SI de portefeuille.....	126
Table 7.4	Résultats de qualité de SI trésorerie.....	127
Table 7.5	Résultats globaux de trois systèmes.....	127
Table 8.1	Décomposition SI prêts basée sur les données.....	140
Table 8.2	Résultats de qualité de SI prêts bancaires	141

Table 8.3	Résultats globaux de qualité de SI portefeuille.....	142
Table 8.4	Résultats de qualité de cinq critères de SI trésorerie	142
Table 8.5	Résultats globaux de trois systèmes.....	143
Table 8.6	Comparaison de deux expérimentations.	144
Table 8.7	Valeurs des qualités des liens de 3 SI	147
Table 8.8	Indicateurs des poids des liens entre primitive	147
Table 8.9	Proposition des poids des liens entre primitives	148
Table 9.1	SI Prêts: analyse détaillée de la décomposition basée sur les données	155
Table 9.2	SI Prêts: résultats de qualité de 5 critères	155
Table 9.3	SI portefeuille: résultats de qualité de 5 critères	157
Table 9.4	SI trésorerie: résultats de qualité de 5 critères	158
Table 9.5	SI paie: résultats de qualité de 5 critères.....	159
Table 9.6	SI paie: décomposition basée sur le jugement d'expert.....	160
Table 9.7	Résultats globaux des 4 SI	161
Table 9.8	Classification de cinq critères de décomposition.....	161

Remerciements

Je désire témoigner ma profonde reconnaissance à mon directeur de recherche, Monsieur François Lustman pour les longues heures de discussion qu'il m'a accordé, surtout pour sa disponibilité et son soutien tout au long de ce travail. Il m'a toujours encouragé et a su me donner confiance dans les moments les plus difficiles. Je le remercie vivement de m'avoir aidé à mener à terme ce travail en me donnant constamment des précieux conseils pour concrétiser mes idées. Je le remercie infiniment d'avoir su me diriger et m'encourager à travailler efficacement pour améliorer la qualité de la thèse.

Je remercie vivement le consortium du recherche en génie logiciel (CSER) et Bell Canada pour leur soutien financier durant mes études doctorales.

Je remercie le professeur Rudolf Keller, au tant qu'investigateur principal du projet SPOOL, pour ses conseils et des discussions lors des séminaires du groupe. Je le remercie d'être le président-rapporteur de la thèse pour sa disponibilité, pour ses commentaires et suggestions qui m'ont permis d'améliorer la qualité de la thèse.

Je remercie le professeur Paul Bratley, membre de jury de la thèse pour sa disponibilité, ses commentaires et ses suggestions qui m'ont permis d'améliorer la qualité de la thèse.

Je remercie le professeur Ali Jaoua (professeur à la faculté des sciences de tunis et professeur invité à l'université de Laval) d'avoir accepté d'être examinateur externe de ma thèse. Sa profonde connaissance du domaine de décomposition des systèmes d'informations est un atout majeur pour l'applicabilité des idées élaborées dans cette thèse. Je le remercie surtout pour ses conseils qui m'ont permis de découvrir des travaux futurs dans

la décomposition des SI tels que la hiérarchie des systèmes et pour ses suggestions qui m'ont permis d'améliorer la qualité de la thèse.

Je remercie tous les membres du groupe génie logiciel (GELO) pour la grande collaboration qu'ils ont manifesté durant toutes ces années d'études.

Je remercie tous mes amis de l'Université de Montréal pour l'encouragement continu qu'il ont manifesté durant toutes mes années d'études.

Je remercie Khaled Rouane (analyste au groupe SAFARI) de m'avoir aidé à installer les logiciels de traitement de texte sur mon ordinateur personnel.

Je remercie Reinhart Schauer (assistant de recherche au groupe Gelo) et Drissi Jaouad (étudiant en PH.D téléinformatique) pour leurs commentaires des articles publiés.

Enfin, Je remercie ma femme Radhiya qui a su témoigner une grande patience et qui m'a constamment encouragé à étudier d'avantage pour réaliser mes objectifs.

A la mémoire de mes parents

A ma femme

A mes enfants

Chapitre 1

Introduction

1.1 Motivation

Le développement des systèmes d'information (SI) est une activité importante dans la vie des organisations. Le logiciel passe par trois phases: la modélisation, l'implantation et la maintenance. La modélisation d'un SI comprend deux phases: l'analyse et la conception. Au cours de l'analyse on modélise le monde réel c'est-à-dire ses composants et leurs interrelations. Au cours de la conception on assigne les composants du monde réel à des composants logiciels que l'on regroupe en sous-systèmes en fonction d'un critère. La décomposition d'un SI est alors définie comme étant le regroupement des composants du monde réel en sous-systèmes durant la phase de conception.

La décomposition des SI est considérée comme la partie la plus importante de la modélisation. Durant la conception, pour regrouper les éléments du système en des sous-systèmes, il faut considérer certains critères tels que les données, les fonctions, le temps, le comportement, etc...Le choix du critère a une influence sur la qualité de la décomposition d'un SI. Certaines méthodes d'analyse et de conception considèrent seulement les données et les fonctions pour décomposer et ignorent les autres critères tels que le temps, la structure organisationnelle, le comportement, etc...

Au plan pratique, la décomposition intervient et a des effets sur:

- le résultat de la conception en produisant une architecture du logiciel bien structurée,
- l'effort de développement en diminuant ou en augmentant la complexité des interfaces entre sous-systèmes, la complexité et la compréhension des composants et de leur programmation,

- la maintenance en localisant ou en dispersant et en multipliant le nombre de changements à effectuer à des modules et à des sous-systèmes.

Malgré l'importance de la décomposition, il y a peu de connaissances du ou des meilleurs critères à considérer pour avoir une bonne qualité du logiciel. Pour reconnaître une bonne décomposition, on dispose dans la littérature principalement des quatre apports suivants:

- le premier apport est constitué des critères internes de qualité: cohésion et couplage [Myers, 1974], [Karimi, Konsynski, 1988], [Fenton, Melton, 1990], [Bieman, Ott, 1994], [Dhama, 1995]. Tous ces auteurs considèrent que les deux notions de cohésion et de couplage sont les critères les plus importants. Malgré leur importance, ces deux concepts:

- sont définis pour des modules, non pour des systèmes ou des sous-systèmes,
- ne sont appliqués qu'aux fonctions,
- ne prennent en compte que fonctions et données,
- sont définis qualitativement et non quantitativement pour la décomposition.

- le deuxième apport pour la décomposition est constitué par cinq critères externes de qualité définis par Kweku [Kweku, 1984]. Selon lui, une bonne décomposition d'un SI doit satisfaire les critères suivants:

- flexibilité - changement,
- séparabilité - unicité,
- compréhension,
- intégrabilité,
- création ou usage des données.

Dans son algorithme, Kweku considère seulement le dernier critère création et usage des données.

- le troisième apport est constitué par les idées de Courtois [Courtois, 1985] dans son article sur les systèmes pseudo-décomposables:

- la décomposition est hiérarchique,
- les interactions à l'intérieur des sous-systèmes sont plus fortes et plus fréquentes que celles entre sous-systèmes,
- les interactions entre sous-systèmes sont faibles mais non négligeables,
- deux théorèmes sur l'équilibre.

Les propriétés concernant les interactions généralisent à l'échelle de tout le système les concepts de cohésion et de couplage. La différence entre le premier apport et le troisième apport est que dans le premier apport ces deux concepts sont définis pour un module et entre des modules, alors que dans le troisième apport, ces deux concepts sont définis pour un sous-système et entre sous-systèmes d'une façon qualitative et non quantitative.

- le quatrième apport est la définition d'une bonne décomposition de Wand et Weber [Wand et Weber, 1990]: "Une décomposition du système est une bonne décomposition en ce qui concerne une transformation du système, si la transformation induit une transformation bien définie dans tous les sous-systèmes de la décomposition".

Les auteurs définissent la transformation comme le passage d'un état à un autre, à la suite d'un événement. La notion de transformation bien définie montre qu'une transformation induit sur un sous-système, une transformation déterministe. Le critère considéré est le comportement du système. En analysant l'article de Wand et Weber, Lustman [Lustman, 1991] affirme: "la notion de bonne décomposition est intéressante à plusieurs égards. D'une part, elle mérite d'être testée sur différents exemples. D'autre part, elle est valable pour une transformation; peut-on la généraliser à l'ensemble des transformations constituant le comportement du système? ". Dans cette recherche, le critère comportement sera considéré et testé sur des SI réels.

Au départ, le premier problème à résoudre à l'aide de cette thèse est de trouver les critères de décomposition conduisant à une bonne ou à une mauvaise décomposition d'un

SI. Pour résoudre ce problème, nous avons décidé de quantifier la qualité d'une décomposition. Un deuxième problème est alors apparu: il n'y a pas de métriques de cohésion et de couplage au niveau système. Nous avons décidé de résoudre ce deuxième problème. Pour atteindre nos objectifs, un modèle général a été développé ainsi que des métriques pour évaluer quantitativement la qualité d'une décomposition.

Dans la section suivante, nous donnons une description sommaire des problèmes à résoudre.

1.2 Description des problématiques

Dans cette recherche, on tente de résoudre les deux problèmes suivants:

- Trouver les critères de décomposition qui ont une influence positive, négative ou nulle sur la qualité de la décomposition d'un SI.
- Trouver comment on évalue quantitativement la qualité de la décomposition d'un SI.

1.2.1 Problème 1: meilleurs critères de décomposition

Un système est décomposé en sous-systèmes durant la phase d'analyse et de conception. Cette décomposition est connue comme ayant une influence significative sur la facilité ou la difficulté de développer, de maintenir ou de changer un système. La décomposition de SI peut être basée sur les données, sur les fonctions, sur le temps, ou sur un autre critère de décomposition.

Mais il y a peu de connaissances sur le critère qui pourrait conduire à la meilleure décomposition. Après avoir analysé quelques approches de décomposition, Wand et Weber [Wand et Weber, 1990] affirment "Quelle approche de décomposition est "meilleure" reste un problème fondamental non résolu".

Le but de notre recherche est d'expérimenter jusqu'à quel point le choix d'un critère de décomposition pendant la phase d'analyse et de conception peut avoir une influence sur la maintenabilité d'un SI. Nous avons décidé de nous concentrer sur la maintenabilité comme critère externe de qualité car cette activité occupe plus de 70 % du cycle de vie de développement des logiciels dans les organisations [Pressman, 1997], [Karoui, Tagoug,

Lustman, Dsouli, 1997]. En plus elle est devenue la préoccupation majeure des utilisateurs.

Notre approche est de nature expérimentale et peut être divisée en deux phases. Dans une première phase, un modèle général de représentation de SI sera développé, et une liste des critères de décomposition sera dressée. Cette liste est basée sur la revue de la littérature, sur les différentes méthodologies et sur la pratique en génie logiciel.

Dans une deuxième phase, des expérimentations de ces critères sont conduites pour évaluer le degré d'influence de chaque critère sur la qualité d'un SI. Les résultats de cette expérimentation vont nous permettre d'évaluer quantitativement la qualité de la décomposition d'un SI et de proposer des conclusions sur le meilleur critère à considérer pour avoir une bonne décomposition.

1.2.2 Problème 2: évaluation quantitative de la qualité

Pour évaluer la qualité d'un SI, il faut considérer certains critères externes de qualité tels que la maintenabilité, la fonctionnalité, la portabilité ou autres, définis dans [ISO 9126, 1990], et considérer certains critères internes tels que: la cohésion, le couplage, la modularité, la taille, la complexité, etc., et avoir une métrique pour quantifier ces critères.

Les critères de cohésion et de couplage sont de bons prédicteurs de la qualité d'un SI. Malheureusement, ces deux critères sont définis seulement au niveau du module et entre deux modules, et non définis au niveau système et entre les sous-systèmes. De plus, les métriques de cohésion et de couplage existantes considèrent seulement le nombre d'interactions entre deux modules et non la nature de ces interactions. Pour résoudre ce problème, nous nous sommes basés sur l'idée de Courtois [Courtois, 1985] dans sa description des systèmes quasi-décomposables. Il a remarqué que: "les interactions des éléments à l'intérieur d'un sous-système, sont plus fortes et plus fréquentes que les interactions entre les sous-systèmes". La cohésion et le couplage considérés comme critères

internes, réfèrent à la même idée. Pour cette raison, nous avons pensé de définir une métrique unifiée de cohésion et de couplage et une métrique de qualité basée sur ces deux critères.

Comme critère externe de qualité, nous avons choisi la maintenabilité. Une métrique de qualité qui prédit la maintenabilité dans les premières phases de développement du logiciel est définie.

1.3 Solutions proposées

La solution pour le premier problème cité dans la section 1.2.1 consiste:

- à définir un modèle général de SI,
- à sélectionner certains critères de décomposition,
- à expérimenter des décompositions basées selon ces critères sur des SI réels, et
- à tirer des conclusions en se basant sur les résultats obtenus.

Plus précisément, les cinq critères choisis sont: les données, les fonctions d'affaires, le comportement, le temps et la structure organisationnelle. Ceci nous a permis de proposer le meilleur critère pour avoir une bonne décomposition et le plus mauvais critère à éviter qui conduit à une mauvaise décomposition.

La solution pour le deuxième problème cité dans la section 1.2.2, est

- de supposer que la cohésion et le couplage comme critères internes sont des bons indicateurs de qualité d'une décomposition,
- de définir au niveau système une métrique unifiée pour ces deux critères et surtout de considérer le nombre, la nature et la force des liens entre composants d'un SI, et
- de définir une métrique de qualité basée sur ces deux critères.

Pour définir des poids aux différents liens entre composants d'un système, une approche complètement indépendante de la première est choisie. Nous avons défini d'autres métriques de qualité basées sur le critère externe de qualité, la maintenabilité,

l'effort nécessaire pour apporter des modifications à un SI. Nous avons expérimenté ces métriques sur la qualité d'une décomposition basée sur cinq critères de décomposition sur trois SI réels. Ceci nous a permis de définir des poids pour les liens entre primitives et de calibrer la métrique unifiée de cohésion et de couplage.

1.4 Méthodologie de recherche

Notre méthodologie de recherche comprend 5 étapes:

Etape 1: Modélisation d'un SI: un modèle général d'un SI et les critères de décomposition à expérimenter sont définis.

Etape 2: Modélisation de la qualité de la décomposition:

- Métriques de qualité basées sur un critère interne sont définies,
- Métriques de qualité basées sur un critère externe sont définies.

Etape 3: Expérimentation :

- Un banc d'essai comprenant trois SI réels et leurs ensembles de changements est constitué.
- La décomposition de système en des sous-systèmes selon les critères de décomposition.
- Un programme d'analyse de qualité est exécuté.

Etape 4: Analyse et évaluation des résultats de qualité basée sur le critère externe: les résultats de qualité basés sur le critère externe obtenus dans l'étape 3 sont analysés et évalués pour classifier les critères de décomposition.

Etape 5: Validation des métriques de qualité basées sur le critère interne: les métriques de qualité basées sur le critère interne définies dans l'étape 2 sont validées.

1.5 Résultats

Les principaux résultats de cette thèse sont:

- métriques de qualité interne et externe:
 - une métrique unifiée de cohésion et de couplage est définie,
 - une métrique de qualité basée sur ces deux critères est définie,
 - une métrique de qualité basée sur un critère externe, indépendante de la précédente est définie,
- classification des critères de décomposition:

Le meilleur critère de la décomposition, le critère données et le plus mauvais, le critère structure organisationnelle, ont été identifiés.

1.6 Organisation de la thèse

Le **chapitre 2** souligne l'importance de la décomposition dans le développement des SI. Les forces et les faiblesses de six méthodes de décomposition et de cinq algorithmes sont discutés. Les critères de décomposition pris en considération par chacune de ces méthodes et algorithmes sont analysés.

Le **chapitre 3** fait le point sur les critères internes et externes de la qualité d'une décomposition d'un système d'information. Une correspondance entre ces critères est fournie à la fin du chapitre.

Le **chapitre 4** définit les concepts de base d'un SI et les critères de décomposition et présente le modèle général d'un SI. Ce modèle sera utilisé pour évaluer les différentes décompositions selon les différents critères.

Le **chapitre 5** présente un modèle de qualité, en définissant quantitativement les critères internes: cohésion et couplage. Nous avons défini une métrique unifiée pour la cohésion dans un sous-système et le couplage entre sous-systèmes. Cette métrique

contient des poids pour les liens entre les composants du système. Ces poids seront définis après expérimentation des critères de décomposition, dans le chapitre 8.

Le **chapitre 6** présente l'approche d'expérimentation en décrivant la méthodologie à suivre et le banc d'essai qui est composé de trois SI réels. Cette approche sera utilisée dans les trois expérimentations qui sont décrits dans les chapitres 7, 8 et 9.

Le **chapitre 7** présente un modèle simplifié d'effort. Ce modèle est complètement différent du modèle de qualité défini dans le chapitre 5. Une métrique de qualité basée sur la maintenabilité est définie. Cette métrique est expérimentée sur les cinq critères de décompositions de trois SI réels.

Le **chapitre 8** présente un modèle plus raffiné d'effort, car le modèle simplifié n'a pas pu discriminer entre les différents critères. Nous avons fait une deuxième expérimentation des cinq critères basée sur ce modèle raffiné et nous avons pu déterminer des poids pour les différents liens qui serviront à calibrer la métrique unifiée de cohésion et de couplage.

Le **chapitre 9** présente une validation de la métrique de qualité basée sur les critères internes cohésion et couplage, sur les mêmes SI réels. Pour contrôler les résultats de la validation, nous les avons comparés avec les résultats des deux premières expérimentations basées sur le critère externe, pour voir si la métrique est un bon indicateur de qualité de la décomposition et pour classer les différents critères de décomposition.

Le dernier chapitre, le **chapitre 10**, résume le travail de cette thèse, énumère les contributions à la décomposition des SI et considère les possibilités des travaux futurs dans ce domaine.

Chapitre 2

Décomposition des systèmes d'information

2.1 Introduction

La modélisation comprend deux phases importantes: l'analyse et la conception. Durant la phase d'analyse, un analyste identifie les parties du monde réel qui seront représentées dans le modèle de système d'information (SI). Durant la phase de conception, on assigne chaque élément résultant de l'analyse à un composant logiciel. Ensuite on définit l'architecture du logiciel, soit le regroupement des composants suivant un critère. La décomposition d'un SI est alors définie comme étant le regroupement des composants du monde réel en sous-systèmes durant la phase de conception. Quelle que soit la méthode d'analyse suivie, on trouve donc plus ou moins les mêmes composants de bas niveau (atomiques) dans la conception. Par exemple, dans l'analyse structurée [Gane et Sarson, 1989; [DeMarco, 1979] la fonction principale du système est décomposée en sous-fonctions. Dans la conception structurée [Yourdon, 1979], ces sous-fonctions sont représentées par des modules. Ensuite, ces modules sont regroupés dans des différents sous-systèmes pour représenter l'architecture du système. En analyse orientée-objet [Rumbaugh, 1991]; [Booch, 1991] on identifie les objets et leurs associations. Ensuite dans la conception orientée-objet, ces objets sont groupés en classes d'objets et si la méthode le prévoit, en sous-systèmes.

La façon de regrouper les composants a une influence directe sur la qualité de l'architecture du SI. La décomposition réduit la complexité d'un système et influence sa

qualité. Courtois [Courtois, 1985] remarque: “La décomposition a été longuement recon- nue comme un outil puissant pour l’analyse des grands systèmes complexes. La tech- nique de décomposer un système, en analysant ses composants et en analysant les interactions entre ses composants a été utilisée dans plusieurs domaines du génie et dans les sciences.”

Dans cette thèse, nous considérons les architectures logicielles dans l’approche procédurale et non l’approche objet où le concept de sous-système n’est pas clairement défini.

Par hypothèse, nous considérons qu’un composant élémentaire actif du monde réel (qui effectue un travail) est implanté par un module.

Cette hypothèse est raisonnable pour les deux raisons suivantes:

- c’est ce qu’on fait dans certaines méthodes de conception par exemple la méthode de conception structurée [Yourdon, 1979],
- cette méthode conduit à des modules dont la cohésion est maximale; la qualité d’une architecture ne dépend plus alors de la cohésion des modules, mais surtout du regroupement de ces modules en sous-systèmes selon un critère, pour avoir l’architec- ture générale du SI.

Le choix du critère a une grande influence sur la qualité du SI. Il permet de réduire l’effort et le coût de développement et de maintenance du logiciel.

Malgré l’importance du critère de décomposition, les méthodologies de décomposi- tion existantes ont tendance à se concentrer sur deux critères, les données et les fonctions. Pourtant, certaines méthodes de décomposition considèrent d’autres critères tels que le comportement, le temps, la structure organisationnelle. Le meilleur critère de décomposi- tion n’est pas connu.

Dans la section 2.2, nous décrivons et analysons six méthodes de décomposition. Dans la section 2.3, cinq algorithmes de décomposition sont décrits et analysés. Un résumé est donné dans la section 2.4.

2.2 Méthodes de décomposition

Plusieurs méthodes de décomposition ont été proposées. Nous présentons les six méthodes de décomposition suivantes:

- la méthode de décomposition fonctionnelle,
- les méthodes structurées,
- les méthodes basées sur les structures de données,
- la méthode de dérivation formelle,
- les méthodes basées sur les réseaux de Pétri,
- les méthodes orientées-objet.

2.2.1 Décomposition fonctionnelle

Dans la décomposition fonctionnelle [Mills, 1987]; [Hamilton, 1976]; et dans la méthode d'ordre supérieur (HOS) (High Order Software) [Martin, 1985], l'analyste commence par identifier la fonction principale réalisée par le système. Celle-ci sera ensuite subdivisée en des sous-fonctions en utilisant la technique diviser pour régner.

Ce type de décomposition ne tient compte que du critère fonctions et ignore les autres critères tels que le temps, les données et le comportement.

2.2.2 Méthodes structurées

Dans ces méthodes [Gane, Sarson, 1989]; [DeMarco, 1979], en analyse structurée, l'analyste construit un diagramme de flot de données (DFD) pour décrire le système existant ou le système proposé. Le DFD est une représentation graphique des flots d'informations et de transformations qui sont appliqués aux données d'entrée pour produire les sorties. Le DFD peut être utilisé pour représenter le système à n'importe quel niveau d'abstraction. En effet, les DFDs peuvent être raffinés en donnant plus de détails. En conception structurée [Yourdon, 1979], les DFDs formés durant la phase d'analyse servent de base à deux types de structure: transformationnelle et transactionnelle.

La méthode de conception structurée s'applique bien aux systèmes d'information où

le flot d'information est l'élément majeur du système. Elle s'applique mal aux systèmes où le temps et les événements sont les éléments majeurs car les flots de contrôle sont absents. Il y a une faiblesse au niveau de la modélisation des données, c'est pour cela qu'on fait appel au modèle entité-relation pour les modéliser. De plus, la méthode ne dit pas comment décomposer c'est à l'analyste de prendre les décisions.

Le critère de décomposition considéré est les fonctions. Les autres critères tels que le temps, le comportement et autres ne sont pas pris en compte dans la décomposition.

2.2.3 Méthodes basées sur les structures de données

Dans ces méthodes [Jackson, 1983]; [Warnier, 1981]; [Orr, 1981], l'analyste commence par concevoir les structures de données du système à informatiser. La structure du système (et sa décomposition) seront ainsi déduites comme conséquence naturelle des transformations nécessaires pour passer des structures de données d'entrées aux structures des données de sorties.

Ces méthodes sont efficaces pour des systèmes simples où les structures de données sont très hiérarchisées et sont séquentielles. Elles s'appliquent mal aux SI complexes où la structure de données n'est pas toujours hiérarchisée. Ces méthodes considèrent seulement la structure des données, elles ignorent les autres critères tels que le temps, le comportement, etc.

2.2.4 Méthodes de dérivation formelle

Dans les méthodes de dérivation formelle [Mills, 1987], l'analyste spécifie le système sous forme d'un prédicat qui transforme un ensemble d'états d'entrée ("préconditions") en un ensemble d'états de sortie ("postconditions"). Cette transformation sera itérativement raffinée afin de construire la structure du système.

La méthode considère seulement le comportement du système et ignore les autres critères.

2.2.5 Méthodes basées sur les réseaux de Pétri

Dans ces méthodes [Keller, Shen, Tao, Lajoie, Ozkan, 1995], l'analyste modélise un SI en intégrant données, processus et comportement du système. Cette méthode intègre quelques concepts de la conception orientée-objet et des réseaux de Pétri. Elle est basée sur quatre primitives: l'entité, la place de l'entité, l'action et la relation. Ajroud et Jaoua [Ajroud, Jaoua, 1996] ont utilisé ce modèle en proposant une méthode automatique d'abstraction d'architecture de SI. Ils ont conclu que "cette méthode est utilisée pour chaque niveau d'abstraction du système. Elle fournit une architecture optimale, pour chaque niveau d'abstraction, nous obtenons les sous-systèmes les plus indépendants possibles".

Le critère de décomposition de cette méthode est le comportement du système pour décomposer un SI en sous-systèmes.

2.2.6 Méthodes orientée-objet

Dans ces méthodes [Rumbaugh, 1991]; [Booch, 1991], l'analyste commence par identifier les objets dans le domaine d'intérêt et les opérations sur les objets:

- **Méthode de Rumbaugh** [Rumbaugh, 1991]

La méthode orientée-objet de Rumbaugh fusionne trois activités d'analyse traditionnelles qui sont la modélisation d'informations, l'analyse temps réel et la décomposition fonctionnelle. Le modèle orienté objet complet comprend le modèle objet, le modèle dynamique et le modèle fonctionnel. Il fait la synthèse de deux visions qui coexistent dans les SI, l'approche analyse des données et l'approche analyse des traitements. La décomposition, qui dans toutes les autres méthodes a toujours un caractère arbitraire, est facilitée par la notion d'héritage.

Dans le modèle objet, on définit:

- les objets, les attributs et les associations,
- les classes avec héritage multiple,
- l'agrégation et la généralisation,

- les clés candidates,
- les contraintes sur les attributs et les associations.

L'agrégation se réfère à la composition des objets à partir des éléments. La généralisation se réfère à la classification des objets en des sous-ensembles.

Le modèle dynamique ajoute le concept d'événements qui représente les états d'objets et les transitions d'un état à l'autre.

Le modèle fonctionnel comprend les processus, les flots de données, les dépôts de données, les acteurs et les flots de contrôle et les contraintes.

Le modèle fonctionnel apporte un élément nouveau qui est le flot de contrôle. Une faiblesse du modèle fonctionnel est que les deux notions d'agrégation et de généralisation qui sont appliqués aux deux autres modèles, sont absentes pour ce modèle.

- **Méthode de Booch** [Booch, 1991]

Le modèle orienté-objet de Booch consiste à définir deux modèles: le modèle logique ou statique et le modèle physique ou dynamique.

Le modèle logique représente les aspects statiques. Il sert à décrire l'espace problème et comporte quatre diagrammes: le diagramme de classes, le diagramme objet, le diagramme de modules et le diagramme de processus.

- le diagramme de classes est utilisé pour montrer l'existence des classes et de leurs relations dans le modèle logique d'un système.
- le diagramme d'objets est utilisé dans la conception pour montrer l'existence d'objets et leurs relations et pour tracer le comportement du système.
- le diagramme de modules est utilisé pour montrer l'allocation des classes et des objets aux modules dans la conception physique du système. Ces diagrammes de modules indiquent la décomposition du système en couches pour partitionner l'architecture.
- le diagramme de processus est utilisé pour montrer l'allocation des processus dans la conception physique du système.

Pour décrire les aspects dynamiques, Booch ajoute deux autres diagrammes: le diagramme de transition d'états et le diagramme d'interactions:

- le diagramme de transition d'états est utilisé pour décrire les états d'une classe donnée, les événements et les actions qui résultent de ces changements d'états;
- le diagramme d'interactions est utilisé pour tracer l'exécution d'un scénario dans le même contexte qu'un diagramme d'objets.

Le processus de conception orientée-objet est différent de la conception procédurale:

Dans le paradigme procédural, le concepteur commence par décomposer le système en des modules ensuite ces modules sont regroupés en des sous-systèmes, alors que dans le paradigme orienté-objet, il commence par la formation des objets du monde réel qui serviront éventuellement à des définitions des classes et des sous-systèmes.

Dans l'un ou dans l'autre paradigme, le meilleur critère de décomposition à choisir pour avoir une bonne décomposition n'est toujours pas connu.

2.2.7 Synthèse de six méthodes de décomposition

Les six méthodes de décomposition passées en revue sont différentes. Elles prennent en compte des critères de décomposition et ignorent d'autres critères: La méthode de décomposition fonctionnelle et la méthode basée sur le flot de données ne considèrent que les fonctions; tous les autres critères sont absents.

La méthode basée sur les structures de données considère un seul aspect des données: la structure des données.

La méthode de dérivation formelle et la méthode basée sur les réseaux de Pétri considèrent le comportement.

La méthode orientée-objet prend en compte les données, les fonctions et le comportement.

Dans toutes ces méthodes, il n'y a pas d'algorithme de décomposition. Le critère de décomposition qu'il faut choisir et qui conduit à la meilleure décomposition n'est pas connu. Vu le manque de connaissance du meilleur critère de décomposition, on ne peut pas savoir quelle méthode de décomposition est meilleure que les autres. Wand et Weber [Wand et Weber, 1989] constatent "Quelle est la "meilleure" approche de décomposition? Cela reste un problème fondamental, non résolu." Non seulement on ne sait pas

quel critère conduit à la meilleure décomposition mais de plus, on ne sait pas ce que signifie “meilleure” décomposition. L’analyste n’a pas de guide sur le critère qu’il doit considérer pour avoir une bonne décomposition. Un objectif de cette thèse est d’apporter une réponse à cette importante question qui est devenue une préoccupation majeure en génie logiciel.

Dans la prochaine section, nous décrivons cinq algorithmes de décomposition, et nous analysons les critères pris en considération par chacun d’eux.

2.3 Algorithmes de décomposition

Certains auteurs ont tenté de formaliser et d’automatiser le processus de décomposition. Nous décrivons et analysons les cinq algorithmes suivants:

- Kweku propose un algorithme de décomposition basé sur l’interaction des données [Kweku, 1984].
- Adler propose un algorithme basé sur les diagrammes de flots de données [Adler, 1988].
- Hsia et Yaung proposent un algorithme basé sur les notions de besoins et de scénarios [Hsia, Yaung, 1988].
- Paulson et Wand [Paulson, Wand, 1989] proposent un algorithme de décomposition basé sur le comportement.
- Ammari, Arour, Jaoua et Ounelli [Ammari et al., 1994] proposent un algorithme de décomposition basé sur la décomposition rectangulaire.

2.3.1 Algorithme basé sur l’interaction des données

→ **Description de l’algorithme** [Kweku, 1984]

Un système est décrit par un ensemble de fonctions et un ensemble de données. L’algorithme regroupe l’ensemble des fonctions qui interagissent à travers les mêmes données.

→ **Résumé de l'algorithme**

L'algorithme est formé de deux étapes:

La première étape: On définit une première procédure. Cette procédure est équivalente à la fermeture transitive d'un graphe où les noeuds représentent les fonctions et les arcs représentent les données. Deux noeuds sont reliés par un arc si les fonctions correspondantes interagissent sur la donnée représentée par l'arc. La procédure définit alors des ensembles fermés des fonctions interagissant sur des ensembles fermés de données. Après cette étape, il reste souvent des fonctions non groupées.

La deuxième étape est la procédure d'énumération des chemins: cette procédure est appliquée aux fonctions restantes de l'étape précédente:

- 1- un graphe décrivant les liens de la fonction avec d'autres fonctions est établi: les liens sont les données échangées;
- 2- si la fonction restante est liée aux fonctions d'un seul sous-système, elle peut être regroupée avec ce sous-système;
- 3- si la fonction restante est liée à plusieurs sous-systèmes, le choix est laissé à l'analyste de la regrouper avec un de ces sous-systèmes et même de définir un nouveau sous-système.

→ **Synthèse de l'algorithme**

Le critère de décomposition considéré est le critère données, en regroupant les fonctions qui interagissent avec les mêmes données. Les autres critères de décomposition temps, comportement ne sont pas considérés.

2.3.2 Algorithme de décomposition des diagrammes de flot de données

→ **Description de l'algorithme** [Adler, 1988]

Dans cette algorithme, une algèbre est définie pour décomposer un diagramme de flots de données (DFD) en des processus par regroupement des entrées contribuant à la même sortie:

→ Résumé de l'algorithme

Le système est défini de la manière suivante:

- 1- on définit la matrice d'entrée/sortie: il y a un 1 si l'entrée spécifiée sur la ligne participe à la sortie de l'élément spécifié en colonne;
- 2- à partir de cette matrice, on peut alors établir l'expression initiale;
- 3- puis on applique les opérations suivantes sur une expression initiale: absorption, collection, substitution exacte, substitution d'un sous-ensemble, substitution faible et connexion;
- 4- quand l'expression résultante est minimale, chaque variable apparaissant seulement une fois, l'algorithme se termine. A partir de l'expression, un ensemble de processus interreliés par des flots de données partant des entrées est dérivé.

→ Synthèse de l'algorithme

La procédure est entièrement déterministe et peut être automatisée. Cet algorithme a été testé par Nour [Nour, 1994] qui a constaté: "L'algorithme travaille d'une façon ascendante. Le critère de décomposition est de grouper dans un seul processus toutes les entrées contribuant à une ou plusieurs sorties. L'algorithme est complètement déterministe, mais non complet. En créant des processus, il décompose les fonctions mais ne fait rien pour les données."

Le critère de décomposition considéré est les fonctions. Les autres critères tels que le temps, les données, le comportement sont absents.

2.3.3 Algorithme basé sur les besoins et les scénarios

→ Description de l'algorithme [Hsia et Yaunge, 1988]

L'analyste définit le SI sous forme d'un graphe dans lequel chaque noeud est un besoin et chaque arc est une relation qui est un lien entre deux besoins. Six catégories de relations entre deux besoins, correspondant à 4 niveaux de force d'une relation sont définies dans la façon suivante:

Nom de la relation	Taux
Relation restrictive	3
Relation fonctionnelle forte	2
Relation objet forte	2
Relation fonctionnelle faible	1
Relation objet faible	1
Relation indépendante	0

→ Résumé de l'algorithme

L'analyste définit un ensemble de scénarios et applique l'algorithme qui comporte les 7 étapes suivantes:

- 1- on constitue une matrice dont les lignes sont les scénarios et les colonnes sont les besoins; un élément est marqué si le besoin est relié au scénario;
- 2- on élimine les besoins apparaissant dans tous les scénarios;
- 3- en ne considérant que les besoins ci-dessus, on trie les besoins fonctionnels des besoins de type restrictifs (Contraintes) et on relie les uns aux autres;
- 4- on ne considère plus que les besoins fonctionnels; on construit la matrice de liens vue au début;
- 5- on fusionne 2 grappes s'il existe une arête entre deux noeuds et que la relation est de force > 1 ;
- 6- on partitionne une grappe en deux grappes si en enlevant les arêtes de force < 2 , la grappe se décompose en deux;
- 7- si à l'étape 6 on a obtenu une partition, on retourne à l'étape 5. Puis on inclut les besoins communs à toutes les grappes et on remet dans les grappes pertinentes les besoins de type restrictifs.

→ Synthèse de l'algorithme

Cette approche de décomposition est originale, car elle apporte une nouvelle vision qui est la force plus ou moins grande des liens. La faiblesse de l'algorithme reste la notion de scénario, qui n'est pas définie d'une façon formelle et qui se base sur le jugement de l'analyste. Les définitions de liens sont si floues que l'algorithme s'est avéré inapplicable. Cet algorithme a été testé par Nour [Nour, 1994]: "il nous était difficile à partir de l'article, de définir le lien pour ces types de relations et de les appliquer à nos systèmes d'information".

Le critère de décomposition considéré est les besoins usagers qui correspondent aux fonctions d'affaires. Les autres critères de décompositions tels que le comportement, le temps ne sont pas considérés.

Dans notre travail de recherche, nous allons exploiter cette idée de considérer la force des liens entre les composants d'un système pour définir une métrique unifiée de cohésion et de couplage.

2.3.4 Algorithme basé sur le comportement

Paulson et Wand [Paulson, Wand, 1989] définissent une méthode basée sur un cadre de spécification formelle, une définition formelle d'une bonne décomposition, des heuristiques pour trouver la meilleure décomposition candidate et une métrique de la complexité qui permet de classer les différentes décompositions.

Leur approche repose sur les principes suivants pour supporter la décomposition d'un système. Ils ont défini un formalisme de modélisation capable de représenter les aspects statiques et les aspects dynamiques suivants d'un système:

- a - Les éléments du système,
- b - Les états permis du système,
- c - Comment peut-on passer d'un état à un autre?

Ils ont défini un système et des heuristiques de décomposition:

“un système est un ensemble de choses composées.

un sous-système est décrit par un sous-ensemble X des variables d'état qui décrit un système σ .

un sous-système déterministe: le comportement de chaque sous-système est déterminé seulement par ses variables d'état qui décrivent le sous-système.”

Ils ont défini six heuristiques de décomposition qu'ils appliquent dans leur algorithme.

→ **Résumé de l'algorithme**

- 1- trouver toutes les variables d'état de sortie de l'espace d'état intermédiaire;
- 2- si les sorties sont vides, tous les états dans l'espace d'état intermédiaire sont stables;
- 3- trouver les sous-systèmes déterministes;
- 4- trouver tous les sous-ensembles de l'ensemble des sous-systèmes déterministes applicables à la mise à jour de l'espace d'état intermédiaire;
- 5- exécuter une recherche du type “Profondeur d'abord” pour les décompositions déterministes.

→ **Synthèse de l'algorithme**

Cet algorithme est utile pour la décomposition d'un SI en se basant sur le comportement. Les autres critères d'influence ne sont pas tous considérés. La grande contribution des travaux de Paulson et Wand est de formaliser la théorie de la décomposition.

2.3.5 Algorithme basé sur la décomposition rectangulaire

Ammari, Arour, Jaoua et Ounelli [Ammari et al., 1994] ont proposé une méthode de décomposition pour automatiser le processus de décomposition d'un système à partir d'un échantillon d'exemples de son comportement. Leur approche de la décomposition rectangulaire est la suivante:

“Pour chaque système, une structure d'information est associée qui est composée de deux types d'objets:

a) un ensemble A des informations élémentaires, composées de deux parties: sa valeur et son type;

b) une relation binaire R décrivant les interactions des éléments de A.

Deux variables (v_1 , VARIABLE1) et (v_2 , VARIABLE2) interagissent, si et seulement si il y a un exemple tel que: quand la variable VARIABLE1 a la valeur v_1 , la variable VARIABLE2 a la valeur v_2 , v_1 peut être un état d'entrée et v_2 un état de sortie ou un état intermédiaire.

A partir d'une relation binaire R , la méthode de décomposition consiste à regrouper dans un même sous-système les variables qui ont le plus d'interactions; les variables d'entrée et de sortie de ce sous-système sont bien discriminées.

Un rectangle RE est défini comme étant n'importe quel produit cartésien de deux ensembles D et C , non nécessairement disjoints: ($RE = D \times C$).

Une relation difonctionnelle ou (relation rectangulaire) est l'union des rectangles avec des domaines disjoints et des images disjointes."

→ Résumé de l'algorithme

La décomposition de système peut être automatisée en suivant les cinq étapes suivantes:

- 1- à partir des exemples réels sur le comportement du système, créer la relation binaire R ;
- 2- une décomposition rectangulaire d'une relation R en un ensemble minimal de rectangles;
- 3- à chaque rectangle RE , on associe le sous-système possible par ses variables d'entrées I (et respectivement par ses sorties) où I est l'ensemble des variables qui sont associés aux valeurs du domaine du RE ;
- 4- planifier tous ces sous-systèmes de telle sorte que chaque sous-système sera considéré comme consommateur des sorties des autres sous-systèmes et producteur des entrées aux autres sous-systèmes;
- 5- sélectionner l'architecture la moins complexe, le système qui est composé par les sous-systèmes les plus simples et qui a l'interaction minimale.

→ Synthèse de l'algorithme

Cette algorithmme de décomposition rectangulaire a donné de bons résultats pour la décomposition des systèmes. Jaoua, Ounalli et Belkhiter [Jaoua et al., 1995] confirment que la décomposition rectangulaire fournit les trois avantages suivants:

- un rectangle optimal contient les informations les plus importantes d'une relation n-éléments;
- il fournit un gain dans l'espace mémoire
- il permet toujours de discriminer entre deux entités.

Un apport de l'approche de Jaoua [Jaoua et al., 1995] est sa contribution à la formalisation de la théorie de la décomposition des systèmes.

Le critère de décomposition considéré est le comportement, les autres critères de décomposition tels que temps, fonctions d'affaires et structure organisationnelle ne sont pas considérés.

2.3.6 Synthèse générale des cinq algorithmes

Les cinq algorithmes présentés précédemment sont complètement différents.

L'algorithme de décomposition basé sur l'interaction des données de Kweku est basé sur le critère données. Cet algorithme ne considère pas les autres critères tels que le comportement et le temps, etc..

L'algorithme de décomposition des DFDs ne considère que les fonctions.

L'algorithme basé sur les besoins et scénarios ne peut être opérationnalisé dans la forme proposée car les définitions de liens sont floues. Par contre il apporte une vision nouvelle au problème de la décomposition: la nature et la force des liens entre composants du système, plutôt que la nature des composants seulement.

L'algorithme basé sur le comportement de Paulson et Wand considère seulement le comportement comme critère de décomposition, les autres critères tels que le temps, les fonctions d'affaires ne sont pas considérés.

L'algorithme basé sur la décomposition rectangulaire est très utile pour automatiser

la décomposition en se basant sur le comportement du système. Les autres critères de décomposition tels que le temps et les fonctions d'affaires ne sont pas considérés.

2.4 Résumé

Dans ce chapitre, nous avons passé en revue six méthodes et cinq algorithmes de décomposition. Ces méthodes et ces algorithmes considèrent certains critères et ignorent d'autres critères:

Les méthodes de décomposition fonctionnelle et les méthodes structurées considèrent seulement les fonctions. Les méthodes basées sur les structures de données considèrent seulement un aspect de données: leur structure. La méthode de dérivation formelle et les méthodes basées sur les réseaux de Pétri considèrent seulement le comportement. La méthode orientée-objet considère à la fois les données, les fonctions et le comportement.

Dans toutes ces méthodes, les critères temps ou structure organisationnelle sont absents; il n'y a pas vraiment d'algorithme de décomposition.

Les algorithmes de décomposition passés en revue diffèrent les uns des autres:

Kweku considère l'interaction des données. C'est un critère important, mais on ne sait toujours pas s'il conduit à la meilleure décomposition.

Hsia et Yaunge considèrent seulement les besoins usagers, assimilés aux fonctions d'affaires.

Adler considère seulement les fonctions.

Paulson et Wand se basent sur le comportement pour décomposer un SI en sous-systèmes.

Jaoua et al. se basent aussi sur le comportement pour décomposer un système, fournit un algorithme de décomposition automatique.

Tous ces algorithmes de décomposition à part l'algorithme d'Adler ont tourné le dos aux méthodes de décomposition. Il y a ni méthode ni algorithme de décomposition universel.

Cependant, on note deux grands apports en matière de décomposition:

a) un apport de Jaoua et al. et de Paulson et Wand, qui est le cadre formel qu'ils ont défini pour la théorie de la décomposition,

b) l'idée de Hsia et Young de baser la décomposition sur la nature et force de liens entre composants du système plutôt que la nature des composants seulement.

Dans cette recherche, nous allons exploiter l'idée de Hsia et Young de baser les décompositions sur la nature et la force des liens entre composants d'un système. Pour cela, il faudra définir rigoureusement la nature des composants et la nature et la force des liens entre ces composants.

Le bilan de notre étude de la littérature soulève deux questions:

1) La bonne décomposition n'est toujours pas connue car on ne sait pas quel critère ou quelle méthode favoriser.

2) On ne sait pas comment comparer les critères de décompositions car on n'a aucune approche, guide ou métrique pour les comparer.

Dans cette thèse, nous allons tenter de répondre à ces deux questions.

Chapitre 3

Qualité d'une décomposition d'un système d'information

3.1 Introduction

Les modèles de qualité du logiciel existants décomposent la qualité en critères internes et critères externes et définissent des métriques. Les critères internes correspondent aux propriétés internes de la décomposition d'un SI, par exemple: cohésion, couplage, taille, complexité. Les critères externes correspondent aux propriétés externes d'un logiciel, par exemple: maintenabilité, fiabilité, portabilité. Les métriques correspondent aux mesures des critères internes et externes. La revue de la littérature sur la définition d'une bonne décomposition montre qu'il y a peu de définitions de cette notion. Comme nous l'avons déjà mentionné dans le chapitre 1, la seule définition trouvée est celle de Wand et Weber [Wand, Weber, 1990]. Néanmoins, leur définition considère un seul critère de décomposition: le comportement d'un SI, mais n'inclut pas les autres critères de décomposition. De plus, la majorité des modèles de qualité existants sont basés sur des métriques de code source qui ne peuvent être collectées que lorsque la codification d'un programme est terminée. Les métriques de décomposition peuvent se baser sur la documentation de la conception pour prédire la qualité de la décomposition dès la phase de conception générale.

Ce chapitre est organisé comme suit: dans la section 3.2, nous analysons les critères externes de qualité proposées, dans la section 3.3, nous décrivons quelques modèles d'effort basés sur la maintenabilité, dans la section 3.4, nous résumons les critères internes de qualité, en nous concentrant sur la cohésion et le couplage, dans la section

3.5, nous décrivons le lien entre cohésion, couplage et maintenabilité. Un résumé est donné dans la section 3.6.

3.2 Critères externes de qualité

Les critères externes qu'une bonne décomposition doit satisfaire sont nombreux. Nous analysons comment ces critères sont définis par les auteurs suivants: Myers, Page-Jones, McCall, Boehm et Kweku et par l'ISO 9126. Ensuite nous donnerons une synthèse générale de ces critères.

3.2.1 Critères de Myers

→ Définition des critères

Myers [Myers, 1974] définit six critères externes de qualité pour décomposer un programme en des parties fortement indépendantes durant la phase de conception détaillée de la manière suivante:

- fiabilité: est une mesure du nombre d'erreurs rencontrées dans un programme;
- maintenabilité: est une mesure de l'effort et du temps requis pour corriger les erreurs;
- modifiabilité: est une mesure du coût de changement ou de l'extension d'un programme;
- généralité: est une mesure du domaine des fonctions qu'un programme doit exécuter;
- utilisation: est une mesure des critères humains liés à un programme;
- efficacité: est une mesure du comportement de l'exécution du programme.

→ Synthèse

Ces critères sont surtout définis pour des programmes et non pour la décomposition d'un SI. Seulement trois critères sont quantifiables pour la décomposition: le critère fiabilité est quantifiable, on peut mesurer si un système est fiable si on a déjà collecté des données sur le nombre d'erreurs rencontrées quand le système est opérationnel ou pendant la période de tests. Les critères maintenabilité et modifiabilité sont quantifiables pour une décomposition si on considère le nombre des modules ou des sous-systèmes

affectés par un changement.

Les autres critères, généralité, utilisation et efficacité, sont difficiles à quantifier. D'ailleurs pour classer les différents niveaux de cohésion et de couplage entre les modules, Myers considère seulement la fiabilité, la modifiabilité et la maintenabilité. Il propose d'examiner l'impact de ces critères pour avoir la meilleure structure d'un programme.

3.2.2 Critères de Page-Jones

Page-Jones [Page-Jones, 1980] considère les critères suivants: la maintenabilité, la modifiabilité, la compréhension et la réutilisation des modules pour classer les niveaux de cohésion et de couplage d'un module.

→ Synthèse des critères

Les critères de maintenabilité, modifiabilité et réutilisation sont des critères quantifiables pour la qualité d'une décomposition d'un SI, alors que la compréhension est un critère qualitatif, difficile à quantifier.

3.2.3 Critères de McCall et Cavano

→ Définitions des critères

Les critères externes de qualité proposés par McCall et Cavano [McCall, Cavano, 1977] se concentrent sur trois aspects importants du logiciel qui sont:

- ses caractéristiques opérationnelles,
- son aptitude à subir des changements,
- son adaptabilité à un nouvel environnement.

Le premier aspect concerne le comportement courant du programme et considère les critères suivants: conformité, fiabilité, efficacité, intégrité et utilisation. Le deuxième aspect se rapporte à la facilité des changements et prend en compte les critères suivants: flexibilité, maintenabilité et testabilité. Le troisième aspect traite de la facilité de conversion et d'interface avec d'autres programmes et considère les critères suivants: portabilité, réutilisation et interopérabilité. Il définit ces critères de la façon suivante:

- conformité: jusqu'à quel point un programme satisfait les spécifications et accomplit les objectifs de la mission du client;
- fiabilité: jusqu'à quel point un programme peut exécuter sa fonction avec la précision voulue;
- efficacité: la quantité des ressources ordinateur et de code requises par un programme pour exécuter sa fonction;
- intégrité: jusqu'à quel point l'accès au logiciel ou aux données par des personnes non autorisées peut être contrôlé;
- utilisation: l'effort demandé pour apprendre, opérer, préparer une entrée, et interpréter une sortie d'un programme;
- maintenabilité: l'effort demandé pour localiser et corriger une erreur dans un programme;
- flexibilité: l'effort demandé pour modifier un programme opérationnel;
- testabilité: l'effort demandé pour tester un programme, pour s'assurer qu'il accomplit la fonction désirée;
- portabilité: l'effort demandé pour transférer un programme dans un environnement différent;
- réutilisation: jusqu'à quel point un programme peut être réutilisé dans d'autres applications;
- interopérabilité: l'effort demandé pour connecter un système à un autre système.

→ Synthèse des critères

Ces critères sont devenus les plus utilisés pour évaluer la qualité d'un programme. Les critères quantifiables pour la décomposition sont: la conformité, la fiabilité, la maintenabilité, la flexibilité, la testabilité, la portabilité, la réutilisation et l'interopérabilité. Les critères qualitatifs qui sont l'efficacité, l'intégrité et l'utilisation, sont difficiles à quantifier. L'apport de McCall est que la liste qu'il a proposée est devenue la principale référence ISO/IEC 9126 [ISO, 1990], où la majorité de ces critères sont décomposés en six principaux facteurs.

3.2.4 Critères de Kweku

Kweku [Kweku, 1984] définit cinq critères de base auxquels doit satisfaire une décomposition et qui servent dans la deuxième phase de son algorithme (voir chapitre 2, section 2.3.1) :

- flexibilité - changement: aptitude de chaque sous-système à s'adapter aux besoins changeants d'information, sans que le changement dans le sous-système n'entraîne des changements dans les autres sous-systèmes;
- séparabilité - unicité: les composants de chaque sous-système doivent être séparés et uniques, chacun peut être analysé en détail, indépendamment des autres;
- compréhension: chaque sous-système doit avoir une taille et une complexité qui permet sa compréhension;
- intégrabilité: les interfaces entre sous-systèmes doivent être clairement définies, de manière à permettre l'intégration des sous-systèmes pour former le système;
- création ou usage de données: chaque sous-système doit correspondre à un ensemble de fonctions fortement interreliées par la création ou l'usage commun de données.

→ Synthèse des critères

Tous les critères tels que Kweku les a définis, sont quantifiables pour la décomposition. En réalité, ces critères externes se ramènent à deux critères internes qui sont la cohésion et le couplage: les critères flexibilité - changement, séparabilité - unicité et intégrabilité se rapportent au couplage d'une décomposition alors que les critères création ou usage des données et compréhension se rapportent à la cohésion d'une décomposition.

3.2.5 Critères de Boehm

Boehm [Boehm, 1978] propose un modèle de qualité qui comprend deux critères principaux, l'utilisabilité et la maintenabilité. L'utilisabilité représente le point de vue de l'utilisateur, et la maintenabilité représente le point de vue du concepteur.

- L'utilisabilité se décompose en trois critères:
 - fiabilité: est le degré avec lequel un système s'exécute sans occurrence d'erreurs;
 - efficacité: est le degré avec lequel un système exécute les fonctions requises sans gaspiller les ressources de l'ordinateur;
 - convivialité: est le degré représentant la commodité et la facilité de l'usage d'un système.
- La maintenabilité se décompose en quatre critères:
 - compréhensibilité: représente la facilité pour un humain de comprendre l'objet, les éléments (divers produits logiciels, par exemple la spécification fonctionnelle, la conception, le code source, etc) d'un système;
 - modifiabilité: est le degré de facilité de modification du système;
 - testabilité: est le degré de facilité pour tester un système;
 - portabilité: est le degré de facilité pour porter un système d'une plate-forme à une autre.

→ Synthèse des critères

Les critères proposés par Boehm recourent ceux proposés par McCall. Les critères quantifiables pour la décomposition sont la fiabilité, la modifiabilité, la testabilité et la portabilité.

3.2.6 Norme ISO/IEC 9126

→ Définitions des critères

Le standard international ISO/IEC 9126 [ISO, 1990] retient six critères pour la qualité du logiciel. Chaque critère peut être évalué en considérant d'autres sous-critères (table 3.1).

Table 3.1 Norme ISO standard 9126

Fonctionnalité	Fiabilité	Utilisation
Aptitude	Maturité	Compréhension
Exactitude	Tolérance aux fautes	Apprentissage
Interopérabilité	Récupération	Opérabilité
Conformité		
Sécurité		
Efficacité	Maintenabilité	Portabilité
Temps de réponse	Diagnostic	Adaptabilité
Ressources utilisées	Changement	Installation
	Stabilité	Conformance
	Testabilité	Remplacement

- fonctionnalité: l'existence d'un ensemble de fonctions et leurs propriétés spécifiées. Les fonctions sont celles qui satisfont des besoins explicites ou implicites;
- fiabilité: est la capacité du logiciel à maintenir son niveau de performance sous des conditions établies pour une certaine période de temps;
- utilisation: l'effort nécessaire pour l'utilisation par un ensemble d'utilisateurs impliqués;
- efficacité: est mesurée par le temps de réponse et les ressources utilisées
- maintenabilité: l'effort nécessaire pour les modifications spécifiées;
- portabilité: la capacité du logiciel à être transféré d'un environnement à l'autre.

→ Synthèse

Les six critères proposés par l'ISO 9126 sont: la fonctionnalité, la fiabilité, l'utilisation, l'efficacité, la maintenabilité et la portabilité. Tous ces critères peuvent être quantifiés pour la décomposition d'un SI.

Chacun des ces critères est divisé en sous-critères. Nous remarquons que des critères qui sont considérés par Kweku et Meyer sont définis ici comme des sous-critères par exemple la modifiabilité est un sous-critère de la maintenabilité et la compréhension

est un sous-critère de l'utilisation. Nous concluons qu'il n'y a pas des définitions standards pour tous les critères.

3.2.7 Synthèse des critères externes de qualité

La table 3.2 résume et classe les différents critères selon le nombre de considérations par les cinq auteurs et par l'ISO 9126. Un "√" dans une case correspondante à l'auteur, indique que ce dernier prend en considération le critère correspondant, La dernière colonne donne le nombre de fois où chaque critère est pris en considération.

Table 3.2 Résumé des critères externes considérés

Critère	Auteur	Myers	Page-Jones	McCall	Boehm	Kweku	ISO 9126	Fois consid.
Maintenabilité		√	√	√	√	√	√	6
Flexibilité -Modifiabilité		√	√	√	√	√	√	6
Fonctionnalité		√		√		√	√	4
Utilisabilité		√		√	√		√	4
Efficacité		√		√	√		√	4
Compréhension			√		√	√	√	4
Fiabilité		√		√	√		√	4
Portabilité				√	√		√	3
Interopérabilité				√	√		√	3
Testabilité				√	√		√	3
Réutilisation			√	√				2
Intégrabilité				√		√		2
Séparabilité -Unicité						√		1

Cette table montre que la maintenabilité est considéré par tous les auteurs. Ceci démontre l'importance de la maintenabilité comme critère externe de qualité. Vu l'importance de ce critère, dans cette thèse nous basons notre modèle d'effort sur la maintenabilité. Celle-ci peut être mesurée si on dispose de données de maintenance, c'est-à-dire d'un ensemble de changements, avec pour chaque changement les modules affectés, à modifier. Dans la section suivante, nous décrivons quelques modèles d'effort basées sur la maintenabilité.

3.3 Modèles d'effort basées sur la maintenabilité

3.3.1 Généralités

La maintenance consiste en quatre activités de base: la maintenance corrective, la maintenance adaptative, la maintenance de perfectionnement et la maintenance préventive.

- La maintenance corrective inclut le diagnostic et la correction des erreurs qui ne sont pas trouvées durant la phase de tests. Durant l'utilisation de système, les erreurs découvertes sont rapportées au développeur pour les corriger.
- La maintenance adaptative modifie le logiciel pour qu'il puisse faire interface au changement d'environnement tels que l'installation d'un nouveau système d'exploitation ou d'un nouveau matériel, etc.
- La maintenance de perfectionnement ajoute des nouvelles capacités au logiciel, modifie les fonctions existantes et incorpore d'autres améliorations générales. Celles-ci sont généralement les résultats des demandes formulées par les utilisateurs.
- La maintenance préventive cherche à améliorer la maintenabilité ou la fiabilité du logiciel et fournit une meilleure base pour les modifications futures.

Pressman [Pressman, 1997] affirme que la maintenance du logiciel peut occuper plus de 70% de l'effort total dépensé par un service informatique. Il dénote l'importance de la maintenabilité en affirmant que "la maintenabilité est l'objectif clé qui guide les étapes du processus de génie logiciel". Il définit qualitativement la maintenabilité comme la facilité avec la quelle un logiciel peut être compris, corrigé, adapté, et / ou amélioré.

Les activités de maintenance adaptative, de perfectionnement et préventive représentent la plupart de l'effort de maintenance. Tagoug et Lustman [Tagoug, Lustman, 1997] affirment "quelques SI ont un cycle de vie très long, et à travers le temps, la maintenance corrective diminue alors que la maintenance adaptative et celle de perfectionnement augmentent." Dans cette thèse, nous avons décidé de considérer seulement ces trois types de

maintenance, qui selon [Hsia, Gupta, Kung, Peng, Liu, 1995] représentent 83% de l'effort de maintenance.

Malgré l'importance primordiale de la maintenabilité, Basili et al. [Basili, Briand, Steven, Kim, Melo, Valett, 1996] constatent que "le processus de maintenance du logiciel est encore très mal compris et mondialement mal géré et que les méthodes qui aident à modifier les grands systèmes sans dépassement de temps et de budget, sont rares."

Dans la section suivante, nous décrivons quelques modèles quantitatifs d'effort basées sur la maintenabilité:

3.3.2 Modèle d'effort de Belady et Lehman

Belady et Lehman [Belady, Lehman, 1972] montrent que l'effort augmente exponentiellement si l'approche de développement utilisée est mauvaise et que la personne qui utilise cette approche n'est pas disponible pour maintenir le système. Ils mesurent l'effort à l'aide de l'expression suivante:

$$M = p + Ke^{(c-d)}$$

où M = effort total dépensé dans la maintenance,

p = effort de production (Analyse et évaluation, modification de la conception, codification),

K = une constante empirique,

c = une mesure de la complexité qui peut être attribuée au manque de conception et de documentation,

d = une mesure du degré de familiarité avec le logiciel.

Ce modèle d'effort est subjectif, il repose sur des facteurs humains. Il ne peut pas quantifier la qualité de la décomposition d'un SI, en plus il n'a pas été validé.

3.3.3 Modèle d'effort de Li et Henry

Li et Henry [Li, Henry, 1993] proposent le modèle d'effort suivant pour estimer la maintenabilité des systèmes orienté-objets:

Changement = nombre des lignes changées par classe

L'effort de maintenance est mesuré par le nombre des lignes changées par classe. Une ligne changée peut être une addition ou une suppression. Un changement dans le contenu d'une ligne est compté comme une addition ou suppression.

Ce modèle d'effort est assez simple: il considère simplement l'implantation des changements et il ne tient pas compte de l'effort dépensé dans l'analyse, la conception et les tests des objets modifiés.

3.3.4 Modèle d'effort de Basili & al.

Basili et al. [Basili, Briand, Steven, Kim, Melo, Valett, 1996] développent un modèle d'effort pour un laboratoire de la NASA, en considérant:

- le nombre des heures d'effort passées à effectuer les types de changements suivants:
 - la correction d'erreurs: corriger les erreurs dans le système délivré;
 - l'amélioration: améliorer la performance, les attributs ou la fonctionnalité d'un système;

- l'adaptation: adapter le système à un nouveau environnement;
- dans les activités de maintenance suivantes:
 - l'analyse et l'inventaire: l'analyse d'impact et de coût et l'inventaire;
 - la conception: la conception des changements et la moitié de (l'inspection, la certification et la consultation);
 - l'implantation: la codification et les tests unitaires et la moitié de (l'inspection, la certification et la consultation);
 - les tests: les tests d'intégration, les tests de régression et les tests d'acceptation;
 - autres: la documentation de système, autre documentation, etc.

Ils donnent les métriques suivantes pour mesurer l'effort de maintenance:

$$\text{Taille de changement} = \text{Somme des lignes de source code (SLOC) ajoutés, changées et supprimées.}$$

$$\text{Effort} = \text{Nombre des heures travaillées par une personne dans une activité de maintenance.}$$

Pour ajuster la métrique d'effort au projet de la NASA, ils proposent la métrique suivante:

$$\text{Effort en Heures} = (0.36 * \text{SLOC}) + 1040$$

1040 heures: les auteurs ne savent pas très bien à quoi est dû ce terme constant et ils suggèrent qu'il représente un surplus des heures travaillées dans ce projet de maintenance.

Ce modèle est une amélioration des modèles passés en revue précédemment car il contient un deuxième terme autre que le nombre des lignes corrigées.

3.3.5 Synthèse générale des modèles d'effort

Les modèles d'effort passés en revue ne peuvent s'appliquer à mesurer l'effort de la maintenance d'une décomposition:

Le modèle d'effort de Belady et Lehman est subjectif, se repose sur des facteurs humains pour mesurer l'effort de la maintenance.

Li et Henry mesurent l'effort en comptant les lignes changées dans une classe d'objet. Ce modèle est simple car il ne prend pas en compte de toutes les activités de la maintenance.

Le modèle de Basili et al est obtenu par régression, n'est pas adaptable tel quel ailleurs. Par contre il marque un progrès par rapport autres modèles car:

- Il est obtenu à partir d'expérience sur des données réelles dans différents projets de maintenance.
- Il est plus complet que les autres modèles que nous avons trouvé dans la littérature.

Les modèles que nous avons passés en revue s'appliquent à des programmes, ne peuvent pas s'appliquer à la décomposition car nous ne connaissons pas le détail du code. De plus ils nous paraissent trop simples à l'exception du modèle proposé par Basili, Briand, Kim, Melo et Valett. Dans cette thèse, nous allons développer un modèle d'effort de maintenance prenant en compte les données disponibles dans une décomposition et l'appliquer à trois SI réels pour pouvoir tirer des conclusions et affirmer des résultats.

3.4 Critères internes de qualité

La méthode de conception structurée suggère que la qualité de la conception est basée en grande partie sur son couplage, sa cohésion, sa complexité, sa taille et sa modularité. Ces critères correspondent aux propriétés internes de la décomposition d'un SI. Dans les prochaines sections, nous décrivons les plus importants travaux faits sur ces critères tout en insistant sur les travaux concernant les critères de cohésion et de

couplage dans le paradigme procédural et le paradigme orienté objet.

3.4.1 Complexité

Un grand nombre de métriques de complexité ont été proposées. Parmi les métriques les plus citées, on trouve les métriques de la complexité cyclomatique de McCabe et l'effort de programmation de Halstead au niveau module et la métrique de complexité de Paulson et Wand au niveau système:

- McCabe [McCabe, 1976] a décrit une mesure de complexité basée sur la théorie des graphes, et a illustré comment elle peut être utilisée dans la gestion et le contrôle de la complexité d'un programme.

La métrique de complexité cyclomatique proposée est la suivante:

$$V(G) = E - N + 2$$

où $V(G)$: est la complexité cyclomatique du graphe G ; E : nombre d'arcs, N : nombre de noeuds.

Cette métrique permet de mesurer la complexité d'un programme mais elle ne peut pas mesurer la complexité d'une décomposition d'un SI.

- Halstead [Halstead, 1977] a défini un certain nombre de mesures de propriétés d'un programme et a proposé la métrique de complexité suivante d'un programme E :

$$E = \frac{n_1 N_2 (N_1 + N_2) \log_2(n_1 + n_2)}{2n_2}$$

Où n_1 : nombre d'opérateurs distincts dans le code;

n_2 : nombre d'opérandes distinctes dans le code;

N_1 : nombre d'occurrences totales d'opérateurs;

N_2 : nombre d'occurrences totales d'opérandes;

Cette métrique est purement reliée au code d'un programme. Elle ne peut pas s'appliquer à la décomposition d'un SI.

- Paulson et Wand [Paulson et Wand, 1989] ont proposé une métrique pour évaluer la complexité d'une décomposition afin de classer les différentes décompositions candidates:

Leur métrique de complexité C est la suivante:

$$C = \sum_{i=1}^N l_i \cdot \log_2 \left(\frac{I}{l_i} \right)$$

I = Nombre total d'états d'entrée.

l_i = Nombre d'états d'entrées qui conduisent à l' i ème état de sortie.

N = Etats de sortie.

L'identification d'une entrée fournit $\log_2 \left(\frac{I}{l_i} \right)$ bits d'informations.

Un état d'entrée d'un système est défini comme n'importe quel état apparaissant du côté gauche d'une relation système.

Un état de sortie d'un système comprend les valeurs des variables d'état de sortie du côté droit d'une relation système.

La métrique de Paulson et Wand considère seulement le critère comportement et ignorent les autres critères tels que données, fonctions d'affaires, temps et structure organisationnelle.

3.4.2 Modularité, cohésion et couplage

La modularité est une mesure de la décomposition d'un SI en sous-systèmes. Yourdon et Constantine [Yourdon, Constantine, 1979] suggèrent que "la modularité de la

conception peut être mesurée par deux propriétés qualitatives: la cohésion et le couplage”.

Pressman [Pressman, 1997] définit la cohésion comme étant “une mesure de la force de la dépendance fonctionnelle relative d’un module” et définit le couplage comme étant “une mesure d’interconnexions parmi les modules formant la structure du logiciel”. Ces définitions sont applicables à des modules et non à la décomposition d’un SI.

Dhama [Dhama, 1995] définit la cohésion des modules comme “étant une propriété intra-modules qui reflète les considérations de conception pour intégrer les différents composants d’un module en une seule unité. C’est aussi la colle qui relie les différents composants dans un module. C’est la mesure de la force logique dans un module de logiciel.”

Il définit le couplage entre modules comme “étant une propriété inter-modulaire, et une mesure de l’interdépendance entre deux modules du logiciel.”

Plusieurs métriques de cohésion et de couplage ont été définies dans la littérature. Dans les prochaines sections, nous présenterons les principaux travaux reliés à ces deux critères dans le paradigme procédural et le paradigme orienté-objet.

3.4.3 Cohésion et couplage dans le paradigme procédural

Dans le paradigme procédural, plusieurs travaux ont été effectués pour définir les critères de cohésion et de couplage, nous citons et analysons les plus connus:

- Myers [Myers, 1974] décrit l’indépendance fonctionnelle d’un module comme un compromis entre la maximisation des relations à l’intérieur de chaque module et la minimisation des relations entre les modules. La maximisation des relations à l’intérieur d’un module décrit sa cohésion et la minimisation des relations entre les modules décrit son couplage avec un autre module. Il définit des niveaux informels de cohésion et de

couplage pour des programmes. La meilleure cohésion est la cohésion fonctionnelle et la pire cohésion est la cohésion de coincidence; le meilleur couplage est le couplage indépendant et le pire couplage est le couplage du contenu.

Ces niveaux sont définis pour des programmes, ils ne sont ni précis ni prescrits. Ce qui entraîne beaucoup de subjectivité dans l'interprétation des niveaux. Ces niveaux ne s'appliquent pas à la décomposition d'un SI.

- Karimi et Konsynski [Karimi, Konsynski, 1988] se basent sur les travaux de Huff [Huff, 1979] sur sa définition du mesure de la similarité entre deux noeuds dans un graphe direct pour des métriques de cohésion, de couplage et de qualité d'un module. Ils représentent un module sous forme d'un sous-graphe. Ils affirment que plus le poids de la similarité du lien qui relie deux objets est élevé, plus grand sera le niveau de cohésion du module résultant de leur regroupement:

La cohésion S_i du sous-graphe est donnée par la formule suivante:

$$S_i = \frac{L_i - (N_i - 1)}{(N_i * (N_i - 1) / 2) - (N_i - 1)} * \frac{W_i}{L_i}$$

Le couplage C_{ij} entre le sous-graphe (i) et le sous-graphe (j) est donné par la formule suivante:

$$C_{ij} = \frac{L_i}{N_i * N_j} * \frac{W_{ij}}{L_{ij}}$$

où L_i = nombre des liens à l'intérieur du sous-graphe (i);

N_i = nombre des noeuds à l'intérieur du sous-graphe (i);

L_{ij} = nombre des liens reliant les noeuds dans le sous-graphe (i) aux noeuds dans le sous-graphe (j);

W_i = somme des poids des liens dans le sous-graphe (i).

W_{ij} = somme des poids des liens reliant les noeuds dans le sous-graphe (i) aux noeuds dans le sous-graphe (j).

La qualité M est donnée par la métrique suivante:

$$M = \sum_{i=1}^k S_i - \sum_{i=1}^{k-1} \sum_{j=k+1}^k C_{ij}$$

Où k = nombre des sous-graphes qui n'ont pas de chevauchements.

Toutefois ces métriques ne s'appliquent pas à évaluer la décomposition d'un SI pour les deux raisons suivantes:

- ces métriques sont définies pour des modules, d'ailleurs les auteurs ont pris l'échelle de Meyer [Meyer, 1978] pour proposer les niveaux de cohésion et définir des poids de liens entre deux noeuds,
- la métrique de qualité peut donner une valeur supérieure à 1, ce qui ne permet pas de comparer deux décompositions.

Cependant le grand apport de ces métriques est la considération de la force des liens entre deux objets en attribuant un poids au lien qui les relie.

Dans cette thèse, nous allons attribuer un poids au lien entre sous-systèmes et adopter l'idée que la qualité est égale à la somme de cohésions moins le couplage pour définir des métriques à la décomposition d'un SI.

- Fenton et Melton [Fenton, Melton, 1990] définissent une théorie de la mesure et une métrique pour mesurer le couplage d'un module à l'intérieur d'un programme et proposent la métrique suivante pour mesurer le couplage $M(x,y)$ entre deux modules x et y :

$$M(x,y) = i + \frac{n}{n+1}$$

Où i = niveau de couplage;

n = nombre d'interconnexions.

Les niveaux de couplage considérés sont ceux définis par Meyer [Meyer, 1974] pour des modules. Cette métrique ne peut s'appliquer à la décomposition d'un SI.

- Offut, Harold et Kolte [Offut, et al., 1993] proposent une autre échelle de couplage différente de celle définie par Meyer [Meyer, 1974] pour les modules, en définissant de nouveaux types de couplage et en introduisant la notion de bidirection pour mesurer le couplage dans les modules et le couplage entre les modules. En se basant sur la métrique de Fenton et Melton, ils ont proposé la métrique suivante pour mesurer le couplage $M(x,y)$ entre deux modules x et y :

$$M(x,y) = i + \frac{n}{n+1} - \frac{1}{2}$$

La métrique est définie pour des modules et non pour des systèmes et entre sous-systèmes. Elle ne peut pas être appliquée à mesurer la décomposition.

- Bieman et Ott [Bieman, Ott, 1994] définissent un modèle pour la cohésion fonctionnelle de la procédure d'un programme où ils introduisent de nouveaux concepts de morceaux de programmes: "program slicing" et des jetons de données colles et super-colles. Un jeton de données est une variable de sortie. Les jetons de données colles sont les jetons qui sont communs à plus d'un morceau de données dans une procédure. Les jetons de données super-colles sont les jetons qui sont communs à chaque morceau de données dans une procédure. Ils définissent deux métriques de cohésion fonctionnelle pour une procédure:

- La cohésion fonctionnelle forte est:

$$SFC(p) = \frac{|SG(SA(p))|}{|jetons(p)|}$$

La cohésion fonctionnelle forte $SFC(p)$ est définie comme le rapport des jetons super-colles au nombre total des jetons de données dans une procédure p .

- La cohésion fonctionnelle faible est:

$$WFC(p) = \frac{|G(SA(p))|}{|jetons(p)|}$$

La cohésion fonctionnelle faible $WFC(p)$ est définie comme le rapport des jetons colles au nombre total des jetons de données dans une procédure p .

Ce modèle s'applique bien à des programmes, mais il nous a été difficile de le transposer pour la décomposition d'un système en sous-systèmes.

- Dhama [Dhama, 1995] définit un modèle quantitatif pour mesurer la cohésion et le couplage pour des modules. Il définit un ensemble de métriques appliquées à des programmes.

Il divise la cohésion totale en quatre catégories: la cohésion fonctionnelle F , la cohésion de flots de données D , la cohésion de paquet d'actions A et la cohésion de paquet logique L . Par exemple la métrique de la cohésion fonctionnelle d'un module F est:

$$F = \frac{1}{p}$$

La cohésion totale CT d'un module est égale à la somme de 4 catégories de

cohésion:

$$CT = F + D + A + L$$

où $p = i1 + q_1i2 + u1 + q_2u2 + l1 + q_3l2 + g1 + q_4g2 + q_5w$

q_1, q_2, q_3, q_4 et q_5 sont des constantes;

$i1$ = les paramètres de données d'entrée;

$i2$ = les paramètres de contrôle d'entrée;

$u1$ = les paramètres de données de sortie;

$u2$ = les paramètres de contrôle de sortie;

$l1$ = nombre des variables locales utilisées comme données;

$l2$ = nombre des variables locales utilisées comme contrôle;

$g1$ = nombre des variables globales utilisées comme données;

$g2$ = nombre des variables globales utilisées comme contrôle;

w = nombre des modules appelés;

Il divise le couplage en quatre catégories: le couplage de données, le couplage de flots de contrôle, le couplage global et le couplage environnemental.

$$\text{Le couplage total d'un module} = 1/m$$

$$m = i1 + q_6i2 + u1 + q_7u2 + g1 + q_8g2 + w + r$$

où q_6, q_7 et q_8 sont des constantes.

r = nombre de modules appellants le module considéré.

Ces métriques s'appliquent à des programmes et non à la décomposition de système. Un apport de Dhama est que les métriques de cohésion et de couplage utilisent plusieurs paramètres en commun.

3.4.4 Cohésion et couplage dans le paradigme orienté objet

D'autres auteurs ont proposé des métriques de cohésion et de couplage pour le paradigme orienté objet, nous allons passer en revue celles qui sont les plus connues.

- Chidamber et Kemerer [Chidamber, Kemerer, 1994] ont proposé une suite de six métriques pour la conception orientée objet basée sur la théorie de mesure qui sont:

- *Métrique 1*: le nombre des méthodes par classe d'objets (*WMC*):

$$WMC = \sum_{i=1}^n C_i$$

où C_i = la complexité de méthode i d'une classe.

- *Métrique 2*: la profondeur de l'arbre d'héritage (*DIT*);
- *Métrique 3*: le nombre de sous-classes immédiatement subordonnées à une classe dans une hiérarchie des classes (*NOC*);

- *Métrique 4*: le couplage entre classes d'objets (*CBO*): le *CBO* d'une classe et le nombre des autres classes auxquelles, elle est couplée;

- *Métrique 5*: la réponse d'une classe (*RFC*):

$$RFC = |RS|$$

où RS est l'ensemble des réponses d'une classe;

- *Métrique 6*: le manque de cohésion dans les méthodes (*LCOM*) est le nombre d'ensembles disjoints formés par l'intersection de n méthodes.

Ces six métriques tournent autour des critères de cohésion et couplage: les métriques 1 et 6 correspondent à la cohésion d'une classe et les métriques 2, 3, 4 et 5 correspondent au couplage d'une classe. Elles sont définies au niveau d'une classe et non pour un

groupement de classes et ne s'appliquent surtout pas à mesurer la qualité de la décomposition d'un SI.

- Li et Henry [Li et Henry, 1993] ont défini une suite de dix métriques, et ont montré que les métriques peuvent prédire l'effort de maintenance.

Ils ont ajouté 5 nouvelles métriques à celles définies par Chidamber et Kemerer, en supprimant la métrique (*CBO*), car ils pensent que cette métrique peut être mesurée par les deux métriques reliées au couplage (*NOC* et *DIT*):

- *Métrique 6*: le couplage par passage de messages entre les classes (*MPC*);
- *Métrique 7*: le couplage de données abstraites, le nombre de variables de type "ADT" (Abstract Data Type) peuvent indiquer le nombre des structures de données dont dépendent d'autres classes (*DAC*);
- *Métrique 8*: le nombre des méthodes locales d'une classe (*NOM*);
- *Métrique 9*: le nombre de lignes de code d'une classe (*SIZE1*);
- *Métrique 10*: le nombre d'attributs et le nombre de méthodes locales d'une classe (*SIZE2*).

Ces métriques aussi tournent autour de trois critères internes cohésion, couplage et taille: les métriques 6, et 7 correspondent au couplage d'une classe et les métriques 8, 9 et 10 correspondent à la taille d'une classe.

Ces métriques sont définies pour une classe et non pour la décomposition d'un SI. Cependant un apport de Li et Henry est que l'effort de maintenance peut être prédit en utilisant des métriques.

- Bieman et Kang [Bieman, Kang, 1995] définissent deux métriques pour la cohésion d'une classe, basées sur les connections directes et indirectes entre les méthodes:

La cohésion forte $TCC(C)$ d'une classe C est:

$$TCC(C) = \frac{NDC(C)}{NP(C)}$$

où $NP(C)$ = le nombre maximum possible de connections directes ou indirectes dans une classe; (s'il y a N méthodes dans une classe C alors $NP(C) = N*(N-1)/2$);

$NDC(C)$ = le nombre de connections directes dans $AC(C)$.

La cohésion faible $LCC(C)$ d'une classe est:

$$LCC(C) = \frac{(NDC(C) + NIC(C))}{NP(C)}$$

où $NIC(C)$ = le nombre des connections indirectes dans $AC(C)$.

Ces métriques sont destinées à mesurer une classe et non un groupement de classes et surtout elles ne s'appliquent pas à la décomposition. Un apport de Bieman et Kang pour calculer la cohésion maximum $NP(C)$ d'une classe est la considération du nombre maximum possible des connections directes ou indirectes dans une classe.

3.4.5 Synthèse générale

Les critères internes de la qualité d'une décomposition sont la complexité, la taille, la modularité, la cohésion et le couplage.

En ce qui concerne la complexité et la taille, Mc Cabe et Halstead ont proposé des métriques de complexité d'un programme; par conséquent ces métriques ne s'appliquent pas à mesurer la décomposition d'un SI. Par ailleurs, Paulson et Wand ont proposé une métrique pour évaluer la complexité d'une décomposition pour classer les décompositions candidates. Leur métrique ne considère qu'un seul critère de décomposition, le

comportement, et ignore les autres critères de décomposition tels que structure organisationnelle, temps, etc.

En ce qui concerne la modularité, la cohésion et le couplage, Yourdon et Constantine suggèrent que la modularité peut être mesurée par les deux critères cohésion et couplage.

- **Dans le paradigme procédural:**

Myers définit une échelle de niveaux de cohésion et de couplage pour des modules. Les niveaux définis s'appliquent à des modules et non à la décomposition d'un SI. En se basant sur cette échelle, Fenton et Melton, Offut et al et Karimi et Konsynski définissent des métriques pour mesurer le couplage entre modules. Un apport de Karimi et Konsynski est l'attribution des poids aux liens entre modules. Bieman et Ott définissent des métriques pour mesurer la cohésion fonctionnelle d'une procédure dans un programme. Dhama définit plusieurs métriques pour calculer la cohésion et le couplage d'un module en utilisant plusieurs paramètres en commun pour les deux critères.

Toutes ces métriques sont définies au niveau module et ne s'appliquent pas à mesurer le couplage entre sous-systèmes. Nous concluons qu'aucune de ces métriques n'est définie au niveau système. Nous constatons que les critères les plus importants sont la cohésion et le couplage. D'ailleurs Troy et Zweben [Troy, Zweben, 1981] ont testé tous les critères internes sur 73 conceptions de systèmes en considérant la proportion de nombres d'erreurs dans un module: en supposant que plus le couplage est faible, plus la cohésion est forte, moins la complexité est grande, plus la modularité est grande et plus la taille d'un module est petite, moins il y a d'erreurs. Ils ont avancé les conclusions suivantes:

- le couplage est le critère qui a le plus d'influence sur la qualité du produit résultant;
- la complexité et la taille ont une certaine influence sur la qualité;
- la cohésion et la modularité ne sont pas des critères importants d'influence sur la qualité.

D'après l'ensemble de ces résultats, nous dirons que tous les auteurs, l'exception de Troy et Zweben, considèrent que le couplage et la cohésion sont les facteurs les plus importants pour la qualité d'une décomposition; plus on augmente la cohésion des composants d'une conception, plus leur couplage diminue et meilleure est sa qualité.

- **Dans le paradigme orienté-objet:**

Chidamber et Kemerer définissent une suite de six métriques pour la conception orientée- objet qui correspondent aux critères de cohésion et de couplage. En se basant sur les métriques de Chidamber et Kemerer, Li et Henry ont défini une suite de dix métriques en montrant que l'effort de maintenance peut être prédit par les métriques de cohésion et de couplage. Bieman et Kang définissent deux métriques pour mesurer la cohésion d'une classe.

Toutes ces métriques s'appliquent à une classe et non à un regroupement de classes et surtout ne s'appliquent pas pour mesurer la décomposition d'un SI.

Nous constatons que la cohésion et le couplage sont aussi les critères les plus importants dans le paradigme orienté-objet. D'ailleurs ces critères de cohésion et de couplage sont les mêmes pour des systèmes procéduraux ou orientés objets. Schach [Schach, 1996] affirme que "Plusieurs tentatives ont été faites pour étendre les métriques classiques (appliquées à des modules) de cohésion et de couplage au paradigme orienté objet. Malheureusement, la majorité des traitements de cohésion et de couplage des objets sont d'une complexité non nécessaire." Il ajoute qu'il n'y a pas de différence entre la cohésion d'un objet et la cohésion d'un module; le couplage entre deux objets peut être exprimé en termes du couplage classique, c'est à dire le couplage entre deux modules et qu'un seul type de couplage est spécifique aux objets, c'est le couplage d'héritage qui a un caractère totalement différent du couplage classique.

En conclusion, les critères les plus importants sont la cohésion et le couplage dans les deux paradigmes. Dans cette thèse, nous allons nous concentrer sur ces deux critères, pour définir un modèle de qualité interne basé sur la cohésion et le couplage au niveau système.

3.5 Lien entre cohésion, couplage et maintenabilité

Il y a un lien entre la cohésion, le couplage et la maintenabilité. Plusieurs auteurs ont essayé d'établir la correspondance entre ces critères internes et critère externe de qualité.

- Page-Jones [Page-Jones, 1980] affirme qu'un couplage faible entre les modules tend à résulter d'une forte cohésion dans ces modules tout en donnant trois raisons principales pour que le couplage entre deux modules soit faible:

“1- Quand il y a une erreur dans un module, cette erreur n'aura pas d'influence sur d'autres modules.

2- Quand un changement se produit dans un module, ce changement ne doit pas causer des problèmes à d'autres modules.

3- Un faible couplage entre modules réduit le temps de compréhension des détails d'autres modules.”

Les propriétés avancées par Page-Jones pour des modules sont applicables à la qualité de la décomposition.

- Dhama [Dhama, 1995] remarque que: “les coûts du cycle de vie du logiciel dépendent des facteurs de qualité comme la complexité, la maintenabilité, la réutilisation, la fiabilité et la portabilité. Les deux propriétés du logiciel qui ont le plus grand impact sur la qualité du logiciel sont la cohésion et le couplage.” Il définit un modèle de cohésion et de couplage pour des modules en se basant sur l'effort de changements; en affirmant que la force et la qualité d'un module augmentent en augmentant sa cohésion et en diminuant son couplage et qu'il est préférable que les changements effectués dans un module n'affectent que peu un autre module.

La maintenance est la tâche la plus difficile et la plus coûteuse dans le cycle de vie d'un SI. Pour réduire la complexité de cette activité, nous avons besoin de la prédire durant les premières phases de développement de logiciel.

- Rombach [Rombach, 1990] affirme que la plupart des mesures trouvées dans la littérature mesurent la complexité durant la phase de conception détaillée à partir du document du programme source. Il remarque que les informations de la conception générale ont plus d'influence sur la maintenabilité que celles de la conception détaillée. Il remarque aussi que la maintenabilité peut être prédite en utilisant des métriques durant la phase de conception générale et spécialement celles qui mesurent les interconnexions entre les composants.

Dans cette recherche, nous allons définir une métrique de qualité qui prédit la maintenabilité durant la conception générale.

- Li et Henry [Li, Henry, 1993] se basent sur l'effort de maintenance pour définir des métriques orientées objet.

D'autres auteurs ont tenté de valider les métriques de cohésion et de couplage comme indicateurs de qualité. Par exemple Basili, Briand et Melo [Basili et al., 1996] ont essayé de valider les métriques orientées objets de Chidamber et Kemerer comme prédicteurs de qualité dans les premières phases de développement. En estimant la fréquence des changements durant la maintenance d'une classe, ils relient la qualité d'un système au nombre d'erreurs trouvés dans une classe.

Les résultats de tous les travaux cités précédemment montrent :

- 1) l'importance de la maintenabilité comme critère externe et l'importance de la cohésion et le couplage comme critères internes pour évaluer la qualité,
- 2) qu'il y a un lien direct entre la maintenabilité, la cohésion et le couplage.

Vu l'importance de ces critères, dans cette thèse, nous allons nous baser sur la maintenabilité pour définir des poids pour les métriques de cohésion, de couplage et de qualité de la décomposition.

3.6 Résumé

Les modèles de qualité décomposent la qualité en critères internes et critères externes. Des métriques sont définies pour ces critères.

La revue de littérature sur les critères externes conduit aux constatations suivantes:

- la maintenabilité est le critère externe le plus important et le plus considéré par tous les auteurs;
- Il n'y a pas de critères universels pour évaluer la qualité de la décomposition;
- Il n'y a pas des définitions standard des critères.

La revue de littérature sur les modèles d'effort basées sur la maintenabilité a montré l'absence d'un modèle adéquat pour mesurer l'effort de maintenance au niveau de la décomposition d'un SI.

La revue de littérature sur les critères internes de qualité montre les points suivants:

- la cohésion et le couplage sont les critères les plus importants;
- ces deux critères sont définies quantitativement seulement au niveau programme et non au niveau système;
- Il y a un lien entre la cohésion, le couplage et la maintenabilité.

Dans ce travail, nous allons nous concentrer sur le critère de maintenabilité comme critère externe et la cohésion et le couplage comme critères internes de qualité pour définir quantitativement une métrique unifiée de cohésion et de couplage et des métriques de qualité de la décomposition, l'une basée sur les critères internes et l'autre basée sur le critère externe. Ces deux dernières métriques seront complètement indépendantes l'une de l'autre.

Chapitre 4

Modélisation d'un système d'information

4.1 Introduction

La modélisation d'un système d'information (SI) comprend deux phases: l'analyse et la conception. Ces deux phases sont concernées par deux modèles: le modèle du monde réel et le modèle de SI qu'on construit pour implanter le modèle du monde réel.

Durant la phase d'analyse, à partir des informations du monde réel, on identifie les besoins du système pour les représenter sous forme d'un modèle, appelé modèle du monde réel. Ce modèle fait partie des spécifications du système du monde réel. En analyse structurée, ces spécifications sont sous forme de diagrammes de flots de données et en analyse orientée-objet, elles sont sous forme de diagrammes d'objets.

Durant la phase de conception générale, les spécifications sont transformées en une représentation du logiciel, appelée modèle de SI représentant l'architecture générale de SI.

Durant la conception détaillée, chaque composant de l'architecture du SI est raffiné en détaillant les représentations algorithmiques du logiciel et la structure des données.

Durant l'étape de réalisation, les composants sont écrits en code source sous forme de programmes dans un langage machine.

Cette recherche est concernée par le modèle de SI produit durant la phase de conception. Pour représenter ce modèle, Bubenko [Bubenko, 1986] remarque que la pratique de l'analyse et de la conception des SI est caractérisée par des centaines de méthodologies différentes. La majorité de ces méthodes produisent des modèles qui sont spécifiques au paradigme procédural ou au paradigme orienté-objet. Ces modèles ne sont pas généraux.

Notre objectif est de définir un modèle général, indépendant des paradigmes procédural et orienté-objet pour pouvoir expérimenter et classifier les différents critères de décomposition.

Ce chapitre est organisé comme suit: dans la section 4.2, les objectifs du modèle général de SI sont décrits; dans la section 4.3, le modèle de diagrammes de flots de données et le modèle de Courtois sont décrits et analysés; dans la section 4.4, un exemple de SI, un système de paie est décrit; dans la section 4.5, le modèle général de SI est défini; dans la section 4.6, les critères de décomposition sont définis et illustrés à l'aide de l'exemple de paie; dans la section 4.7, un cas particulier de décomposition est discuté; un résumé est donné dans la section 4.8.

4.2 Objectifs du modèle général d'un système d'information

Les modèles de représentation de SI existant dans la littérature et dans la pratique ne correspondent pas au modèle général que nous souhaitons avoir pour expérimenter les différents critères de décomposition.

Parmi les modèles les plus connus dans le paradigme procédural, il y a le modèle de diagrammes de flots de données (DFDs) [Gane, Sarson, 1989]; [DeMarco, 1979] et dans le paradigme orienté-objet il y a le modèle de Rumbaugh [Rumbaugh, 1991] et le modèle de Booch [Booch, 1994] qui décrivent l'analyse orientée-objet. D'autres modèles sont indépendants des deux paradigmes, l'un étant le modèle de Courtois [Courtois, 1985].

Pour cette recherche, nous avons besoin d'un modèle général de SI qui puisse satisfaire aux six objectifs suivants:

- **objectif 1:** représenter un SI avec tous ses composants que ce soit à l'analyse ou à la conception;
- **objectif 2:** représenter un système, une partie de système à différents niveaux de raffinements;
- **objectif 3:** être indépendant de deux paradigmes de développement (procédural ou orienté-objet);

- **objectif 4:** représenter la décomposition d'un système en sous-systèmes;
- **objectif 5:** mettre en évidence les liens entre les composants d'un système;
- **objectif 6:** avoir une représentation graphique simple du système.

Nous avons retenu deux modèles pertinents de SI qui peuvent satisfaire plus ou moins les six objectifs du modèle général: le modèle de DFDs et le modèle de Courtois.

4.3 Modèle de diagrammes de flots de données et modèle de Courtois

Nous décrivons le modèle de DFD et le modèle de Courtois en dégagant leurs avantages et leurs inconvénients. Les avantages de ces deux modèles serviront de base pour définir le modèle général souhaité.

4.3.1 Modèle de diagrammes de flots de données

→ Description du modèle

Un système est modélisé à l'aide des quatre primitives qui sont l'entité externe, le processus, le flot des données et le dépôt de données [Gane, Sarson, 1989]; [DeMarco, 1979]. L'analyste ou le concepteur construit un DFD pour décrire le système existant ou le système proposé en suivant la méthode qui consiste à 4 étapes:

- étape 1: on commence par le DFD de niveau 0, appelé aussi diagramme de contexte, qui représente la fonction principale du système;
- étape 2: on construit le DFD de niveau 1: la fonction principale est décomposée en plusieurs processus et dépôts qui correspondent au système entier représenté par le diagramme de contexte;
- étape 3: on décompose chaque processus du DFD de niveau 1 en sous-processus, ce qui correspond au DFD de niveau 2;

- étape 4: chaque DFDs de niveau 2 est raffiné à un niveau de détail plus élevé, et ainsi de suite, jusqu'à atteindre le plus bas niveau élémentaire. Cela consiste à décrire l'intérieur de chaque processus de manière plus détaillée, lorsqu'un processus ne se décompose plus mais s'exprime par un algorithme décrivant la fonction, on arrête de raffiner pour ce processus.

→ **Synthèse du modèle des DFDs**

Nous comparons les six objectifs du modèle général souhaité avec le modèle de DFDs:

- **Les inconvénients du modèle sont:**

- objectif 1: représenter un SI avec tous ses composants que ce soit à l'analyse ou à la conception: le modèle de DFDs décrit les fonctions seulement dans la phase d'analyse; il ne représente pas la conception, car il faut faire appel à la méthode de conception structurée pour avoir l'architecture générale du système.

- objectif 3: être indépendant de deux paradigmes de développement (procédural ou objet): le modèle est défini pour le paradigme procédural;

- objectif 4: représenter la décomposition d'un système en sous-systèmes: le modèle ne représente qu'une partie des composants d'une décomposition et non la totalité des composants, les sous-systèmes ne sont pas représentés car la méthode ne dit pas comment regrouper les processus et les dépôts en sous-systèmes;

- objectif 5: mettre en évidence les liens entre composants: le modèle ne dit rien sur la force et la fréquence des liens entre composants.

- **Les avantages du modèle sont:**

- objectif 2: représenter un système, une partie de système à différents niveaux de raffinements: le modèle de DFDs permet les raffinements successifs;

- objectif 6: avoir une représentation graphique simple: ce modèle permet la représentation graphique simple, le système est représenté à l'aide de quatre primitives.

4.3.2 Modèle de Courtois

Courtois [Courtois, 1985] définit un modèle pour représenter la décomposition des systèmes en expliquant les propriétés utiles du comportement d'un système complexe:

- **Description du modèle**

Courtois se base sur les travaux de Simon et Ando [Simon, Ando, 1961], introduit un nouveau concept: la quasi-décomposabilité des systèmes et affirme que la compréhension de ce concept et de ses propriétés est essentiel pour comprendre le comportement des systèmes à différentes échelles dans l'espace et le temps. Il fait les deux observations suivantes:

- “ 1) Fréquemment, la complexité prend la forme d'une hiérarchie, dans laquelle un système complexe est composé de sous-systèmes interreliés qui ont à leur tour leurs propres sous-systèmes, et ainsi de suite, jusqu'à atteindre le plus bas niveau élémentaire des composants.

- 2) En général, les interactions dans les sous-systèmes sont plus fortes et plus fréquentes qu'entre sous-systèmes.”

Courtois remarque que les interactions entre les sous-systèmes, quoiqu'elles soient faibles, ne sont pas négligeables, pour que le système soit complètement décomposable:

“Malgré leur faiblesse et rareté, ce sont ces interactions entre sous-systèmes qui sont la raison d'être du système”.

En définissant les propriétés dynamiques d'un système, il est dit qu'un système quasi décomposable se comporte différemment à court et à long terme; les propriétés essentielles de ce comportement sont établies par les deux théorèmes de Simon et Ando:

- “Théorème 1: Dans le court terme, les sous-systèmes ont tendance à atteindre un équilibre interne, "approximativement" indépendant l'un de l'autre.

- Théorème 2: Sur une plus longue période, alors que la structure évolue vers un équilibre global sous l'influence des interactions faibles entre sous-systèmes, les équilibres internes atteints à la fin de la période court terme, sont maintenus "approximativement" en valeur relative.”

→ Synthèse du modèle

La deuxième observation de Courtois est très pertinente et apporte des notions qu'il faut considérer pour avoir une bonne décomposition, qui sont la distinction de la force et de la fréquence des interactions intra et inter sous-systèmes; ces critères se ramènent en fait aux deux critères internes de qualité: la cohésion et le couplage.

Les deux théorèmes de Simon et Ando ont des conséquences importantes sur la décomposition des systèmes: le comportement relatif à court terme peut être déterminé pour chaque sous-système en isolation comme si le système était complètement décomposable et puisque l'équilibre des sous-systèmes est préservé approximativement, le comportement de la structure complète peut être évaluée par un modèle macroscopique.

Ces propriétés fournissent un critère pour décomposer un système, en analysant les composants en isolation et pour analyser ensuite les interactions entre sous-systèmes d'une façon simple. Autrement dit en analysant en isolation la cohésion de chaque sous-système et ensuite analyser le couplage entre sous-systèmes.

Nous comparons les six objectifs du modèle général de SI souhaité avec ce modèle pour dégager ses avantages et ses inconvénients:

- **Les inconvénients sont:**

- objectif 6: avoir une représentation graphique simple: le modèle ne comprend pas de représentation graphique; en plus le modèle n'est pas spécifique pour les SI car il ne définit pas de façon explicite les composants de base d'un SI.

- **Les avantages sont:**

- objectif 1: le modèle permet de représenter un système avec tous ses composants que ce soit à l'analyse ou à la conception;

- objectif 2: représenter un système, une partie de système à différents niveaux de raffinements: le modèle permet les raffinements successifs d'une décomposition;

- objectif 3: être indépendant de deux paradigmes de développement (procédural ou objet): le modèle est général et indépendant de deux paradigmes de développement;

- objectif 4: représenter la décomposition d'un système en sous-systèmes: le modèle décrit la décomposition d'un système en sous-systèmes;

- objectif 5: le modèle met en évidence les liens entre composants en tenant en considération la force et la fréquence des interactions inter et intra sous-systèmes

Dans cette thèse, nous allons nous inspirer des avantages de deux modèles pour définir le modèle général d'un SI.

Dans la section suivante, nous décrivons le système de gestion de la paie qui sera pris comme exemple pour illustrer les composants, les concepts et les critères de décomposition qui seront définis dans le modèle général.

4.4 Exemple d'un système d'information: Système de paie

Le système de paie sert à gérer la paie des employés d'une organisation X. La figure 4.1 représente le modèle général de système de paie.

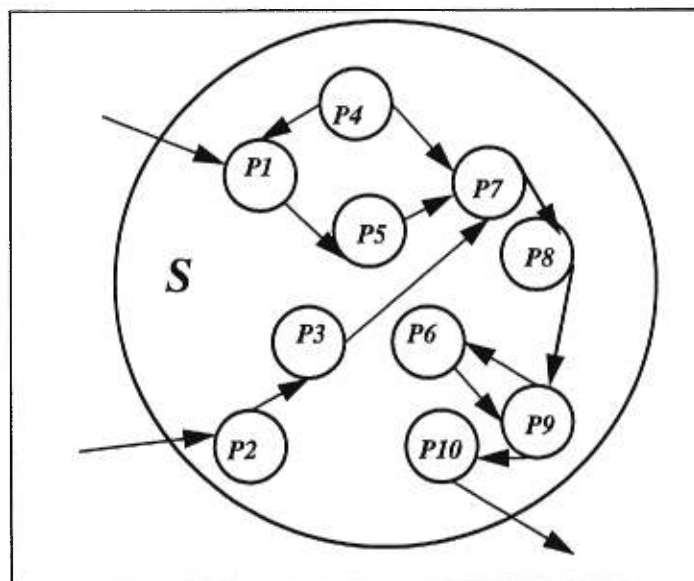


Figure 4.1 Modèle général du système de paie

<i>P1</i>	processus saisie des employés	<i>P6</i>	dépôt des salaires
<i>P2</i>	processus saisie heures travail	<i>P7</i>	processus calcul paie brute
<i>P3</i>	dépôt des heures travaillées	<i>P8</i>	dépôt paie brute
<i>P4</i>	dépôt classification employés	<i>P9</i>	processus calcul paie nette
<i>P5</i>	dépôt employés	<i>P10</i>	processus impression paie

Les informations des employés sont saisies et stockées dans le dépôt des employés (*P5*, voir Figure 4.1). La classification des employés est contenue dans le dépôt classification (*P4*). Les heures travaillées par chaque employé sont saisies et stockées dans le dépôt des heures travaillées (*P3*). Le traitement de la paie s'effectue chaque deux semaines. Pour calculer la paie brute, une lecture est faite des dépôts contenant la position et les heures travaillées par chaque employé. Le résultat de calcul est stocké dans le dépôt paie brute (*P8*). Finalement une paie nette est calculée et stockée dans le dépôt des salaires (*P6*); suivie ensuite d'une impression de chèques de paie.

4.5 Modèle général d'un système d'information

Notre approche de modélisation est basée sur le modèle de Courtois [Courtois, 1985] et sur le modèle des DFDs de Gane et Sarson et Tom DeMarco car ces deux modèles sont complémentaires:

- Pour atteindre les objectifs 1, 2, 3, 4, et 5, nous nous sommes inspirés du modèle de Courtois car il permet de représenter un SI avec tous ses composants que ce soit à l'analyse ou la conception, est indépendant des deux paradigmes de développement, représente une décomposition et met en évidence les liens entre composants.

- Pour atteindre l'objectif 6, nous nous sommes inspirés du modèle basé sur le DFDs qui permet la représentation graphique simple.

En plus, nous voulons que le modèle général soit indépendant des paradigmes procédural et orienté-objet. Notre modèle général est abstrait et suivant le sens que l'on donne à ses composants, il permet de représenter une architecture basée sur le paradigme procédural ou une architecture orientée-objet.

Dans les prochaines sections, nous définissons les principaux composants et concepts de base du modèle général d'un SI tels que primitive, lien, système, sous-système et décomposition.

4.5.1 Primitive

Définition: Une primitive est un composant considéré comme indécomposable en d'autres composants indépendants.

Une primitive est décrite par ses aspects statiques et son comportement.

Du point de vue statique, une primitive est décrite par l'ensemble des éléments définissant sa structure interne.

Dans le paradigme procédural, une primitive peut représenter un processus, un dépôt du monde procédural. Dans le paradigme orienté-objet, une primitive peut représenter une classe ou un composant d'une classe.

Dans cette recherche, on considère surtout la représentation des SI dans un contexte procédural.

Représentation graphique: La figure 4.2 montre la représentation graphique d'une primitive.

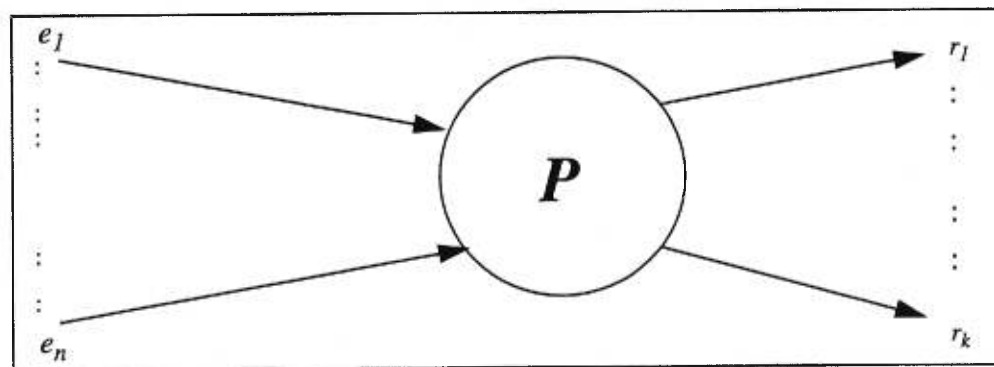


Figure 4.2 Représentation graphique d'une primitive

P représente une primitive; $\{e_1, \dots, e_n\}$ représentent les liens entrants; $\{r_1, \dots, r_k\}$ représentent les liens sortants. On considère deux types de primitives: le processus et le dépôt:

- **Processus**

Définition: Un processus est un élément du système effectuant des traitements sur réception des données ou sur réception de signaux de contrôle. Il reçoit donc des données ou des signaux arrivant sur des liens entrants; sur réception de ces entrées, il effectue des

traitements et émet éventuellement des résultats (données ou signaux) sur des liens sortants.

Exemple: Dans le système de paie, les processus sont: la saisie des employées (*P1*), la saisie des heures de travail (*P2*), calcul paie brute (*P7*), calcul paie nette (*P9*) et impression paie (*P10*).

Comportement d'un processus: Le comportement d'un processus se définit par un FSM (Fine State Machine): Le processus étant dans un état, reçoit des liens entrants, effectue des traitements, change d'état et émet éventuellement des liens sortants.

• Dépôt

Définition: Un dépôt stocke de l'information. Il est alimenté par un ou plusieurs processus et est utilisé par un ou plusieurs processus. Un dépôt stocke un nombre quelconque de blocs de données ou de contrôle tous ayant la même structure. Un dépôt n'effectue aucun traitement. Par conséquent il reçoit ou émet des blocs de données ou de contrôle de structure identique à celle des blocs qu'il contient.

Exemple: Dans le système de paie (voir Figure 4.1), les dépôts sont: dépôt des heures travaillées (*P3*); dépôt classification employés (*P4*); dépôt employés (*P5*); dépôt des salaires (*P6*); dépôt paie nette (*P8*).

Comportement d'un dépôt: Le comportement d'un dépôt peut être modélisé par une machine séquentielle: Le dépôt étant dans un certain état, reçoit une entrée, change d'état en effectuant un ajout, une modification ou une suppression. S'il est consulté, il ne change pas d'état et émet une sortie.

4.5.2 Lien

On distingue deux types de lien: lien physique ou lien conceptuel.

Définition du lien physique: Un lien physique représente un échange de données ou de signaux de contrôle.

Définition du lien conceptuel: Un lien conceptuel représente des propriétés communes aux primitives liées par le lien.

Avec ce concept, on peut modéliser tout autant dans le paradigme procédural que dans le paradigme orienté-objet. Par exemple, dans le paradigme procédural, un lien phy-

sique est un appel de procédure et un lien conceptuel est un critère de décomposition partagé par deux primitives. Dans le paradigme orienté-objet, un lien physique peut être un échange de message et un lien conceptuel est un critère de décomposition partagé par deux objets. Dans le monde objet, d'autres types de liens peuvent être à la fois physiques et conceptuels tels que l'association, l'héritage ou l'agrégation, etc.

Un lien peut être entrant ou sortant: un lien entrant est un lien consommé par une primitive; un lien sortant est un lien produit par une primitive.

Un lien peut être interne ou externe: un lien interne est un lien entre deux primitives à l'intérieur du système.

Un lien externe entrant est un lien de l'environnement vers le système.

Un lien externe sortant est un lien du système vers l'environnement.

Représentation graphique:

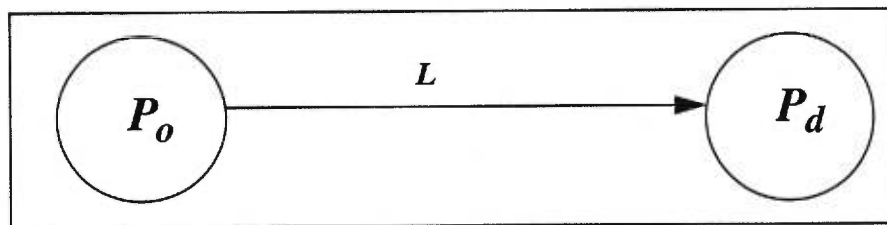


Figure 4.3 Représentation graphique d'un lien

La figure 4.3 représente le lien L entre les primitives P_o et P_d .

Exemple: Dans le système de paie: les informations saisies des employés sont le lien physique entre le processus de saisie et le dépôt des employées.

Après avoir défini les composants de base, dans les prochaines sections, nous définissons les concepts de base d'un SI: système, sous-système et décomposition.

4.5.3 Système

Définition: Un système est un ensemble de primitives interreliées par des liens pour accomplir un objectif commun.

Un système est défini par ses aspects statiques et son comportement:

Description statique: La description statique du système est constituée par l'ensem-

ble des descriptions statiques de ses primitives et la description des liens entre ses primitives.

Comportement: Le comportement du système se définit de la même façon qu'une machine séquentielle (FSM): le système étant dans un état initial, reçoit des liens externes entrants, passe dans un état intermédiaire en changeant les états internes de ses primitives et émet éventuellement un ensemble de liens externes sortants.

Représentation graphique La figure 4.4 représente un système S composé de 3 primitives $\{P_1, P_2, P_3\}$, et des liens internes l_1, l_2 et l_3 recevant des liens externes entrants $\{e_1, \dots, e_n\}$ et produisant des liens externes sortants $\{r_1, \dots, r_k\}$:

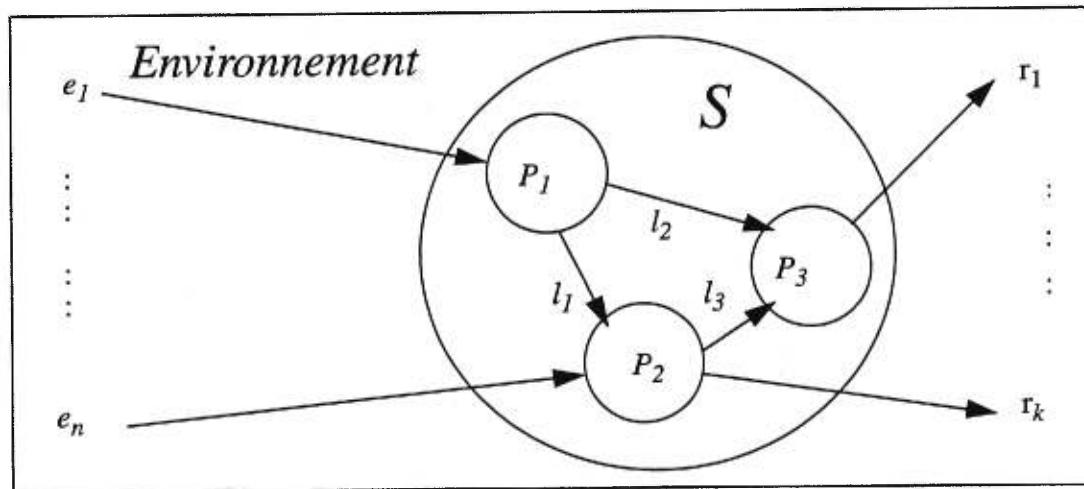


Figure 4.4 Système composé de 3 primitives.

Exemple: La figure 4.1 représente un modèle général du système de paie (voir section 4.4).

4.5.4 Sous-système

Définition: Un sous-système est un système relié par des liens à d'autres sous-systèmes dans un système plus grand.

Un sous-système est représenté graphiquement de la même façon qu'un système.

4.5.5 Décomposition

Définition: La décomposition d'un système est un ensemble de sous-systèmes tels que chaque primitive fait partie d'un sous-système et un seul et chaque lien interne au système est soit interne à un sous-système ou soit entre primitives de deux sous-systèmes différents.

Exemple La figure 4.5 représente une décomposition du système de paie, formé de 4 sous-systèmes (*SS1*, *SS2*, *SS3* et *SS4*) interreliés.

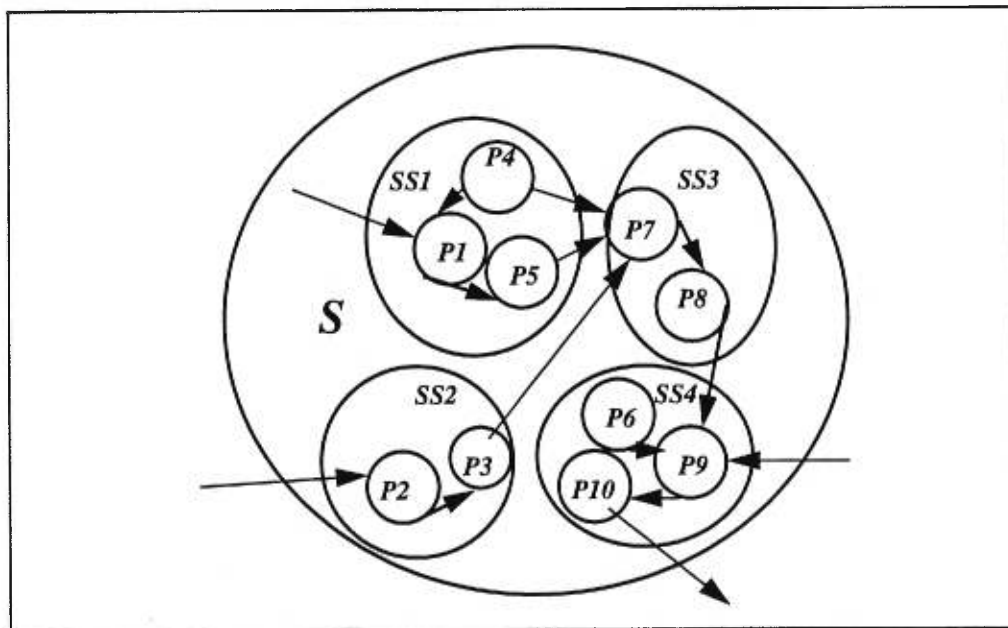


Figure 4.5 Exemple de décomposition de système de paie

Dans la suite de notre recherche, on exclut

les deux décompositions suivantes:

- Toutes les primitives dans un seul sous-système.
- Une primitive par sous-système.

Elles sont exclues car elles sont des cas limites de décompositions qui ne sont pas réalistes. Cette recherche est concernée surtout par la décomposition des SI réels.

4.6 Critères de décomposition

4.6.1 Introduction

Un SI est décomposé en sous-systèmes durant la phase d'analyse et de conception selon un critère de décomposition.

La table 4.1 résume les critères de décomposition que nous avons choisis et pour chaque critère, un exemple de l'auteur ou de la méthode qui le considère.

Table 4.1 Critères de décomposition

Critère de décomposition	Exemple de méthode ou auteur
Données	Kweku [Kweku, 1984]
Fonctions d'affaires	Décomposition fonctionnelle [Wirth, 1973], Méthode HOS [Martin, 1985]
Temps	Méthode Remora [Rolland et al., 1991]
Comportement	Paulson [Paulson, 1989], [Ammari et al, 1994], Courtois [Courtois, 1985]
Structure organisationnelle	Conrath [Conrath, 1989]

4.6.2 Critère de décomposition

Définition: Un critère de décomposition est une propriété quelconque des primitives, permettant à l'analyste de décomposer un système en des sous-systèmes.

Exemple: les fonctions d'affaires, les données, la structure organisationnelle, le comportement, le temps, etc ...

Représentation graphique

Tout critère de décomposition ayant un lien conceptuel avec une primitive peut être

représenté par un graphe orienté complémentaire:

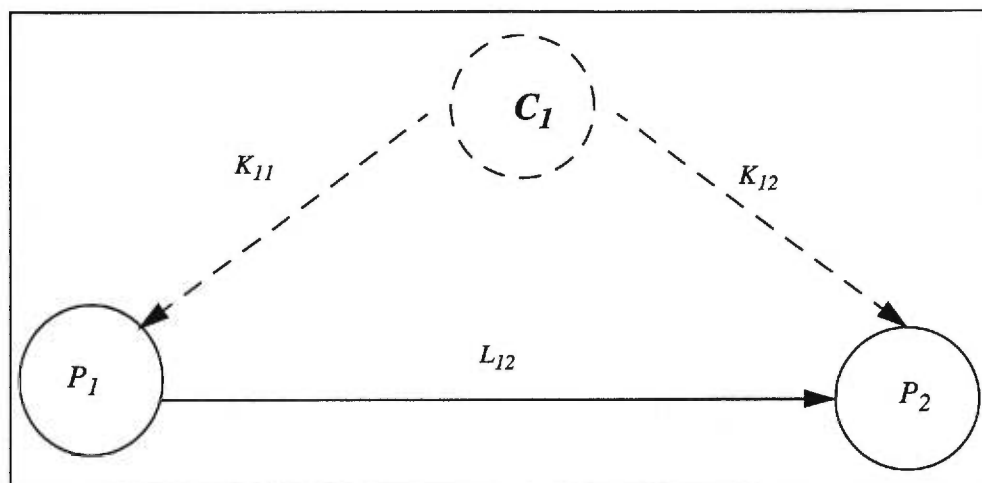


Figure 4.7 Représentation graphique d'un critère de décomposition

La figure 4.7 représente un critère de décomposition C_1 reliant deux primitives P_1 et P_2 par des liens conceptuels (K_{11} et K_{12}); L_{12} est un lien physique entre P_1 et P_2 . Ces liens peuvent avoir des poids. Dans cette recherche, nous définissons des poids aux liens conceptuels et physiques.

Dans les prochaines sections, les cinq critères de décomposition choisis: données, fonction d'affaires, structure organisationnelle, temps et comportement seront définis.

4.6.3 Critère données

Tous les SI manipulent des données et supportent des fonctions. La plupart des méthodes d'analyse considèrent plus ou moins un aspect des données dans la décomposition. Le seul auteur qui décompose d'une façon explicite selon le critère données est Kweku [Kweku, 1984]. Il considère l'interaction des processus avec les mêmes données: si un processus crée une donnée que l'autre l'utilise, ces deux processus peuvent être regroupés ensemble.

Définition du critère données: Toutes les primitives qui interagissent avec les mêmes données peuvent être regroupées dans un même sous-système.

Exemple: La figure 4.8 représente une décomposition selon les données pour le système de gestion de paie: les primitives $P1$, $P4$ et $P5$ sont regroupées dans le même sous-système $SS1$, car elles interagissent avec la même donnée ($D1$) "employé". Les primitives $P2$ et $P3$ sont dans le même sous-système $SS2$, car elles interagissent avec la même donnée ($D2$) "heures de travail"; les primitives $P7$ et $P8$ sont dans le même sous-système $SS3$; car elles interagissent avec la même donnée ($D3$) "paie brute" et les primitives $P6$, $P9$ et $P10$ sont dans le même sous-système $SS4$, car elles interagissent avec la même donnée ($D4$) "paie nette". Il est à noter que $D1$, $D2$, $D3$ et $D4$ sont des dépôts de données dans le système.

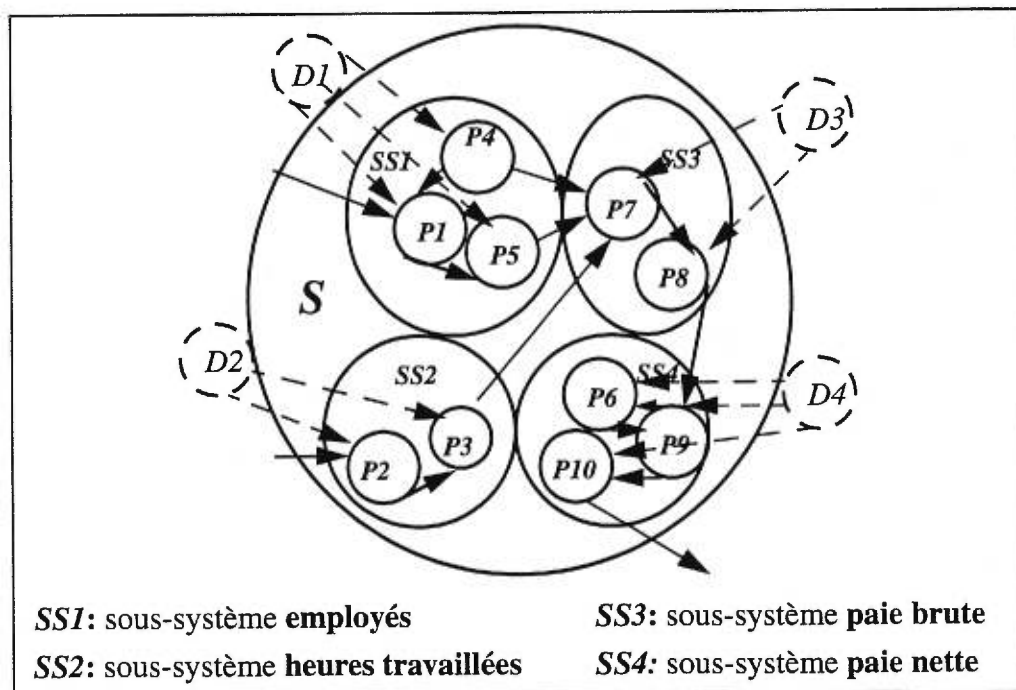


Figure 4.8 Décomposition du SI paie selon les données

4.6.4 Critère fonctions d'affaires

Une décomposition selon les fonctions d'affaires consiste à identifier les principales fonctions d'affaires d'un SI et à attribuer chaque fonction d'affaires à un sous-système. Une fonction d'affaires correspond à un service rendu par le SI. Par exemple dans une banque la fonction d'affaires des guichets est d'effectuer les opérations courantes de guichets bancaires tels que le retrait ou le dépôt des chèques, la fonction d'affaires d'un conseiller de prêts est d'octroyer des prêts.

Définition du critère fonction d'affaires: Toutes les primitives qui contribuent à la même fonction d'affaires peuvent être regroupées dans un même sous-système.

Exemple: Dans le système de paie, il y a deux fonctions d'affaires qui sont la gestion des employés et la production de la paie. La figure 4.9 représente une décomposition selon les fonctions d'affaires pour le système de gestion de paie: les primitives *P1*, *P4* et *P5* sont regroupées dans le même sous-système *SS1*, car elles contribuent à la même fonction d'affaires (*FA1*) "gestion des employés". Les autres primitives *P2*, *P3*, *P6*, *P7*, *P8*, *P9* et *P10* sont dans le même sous-système *SS2*, car elles concernent la même fonction d'affaires (*FA2*) "production de la paie".

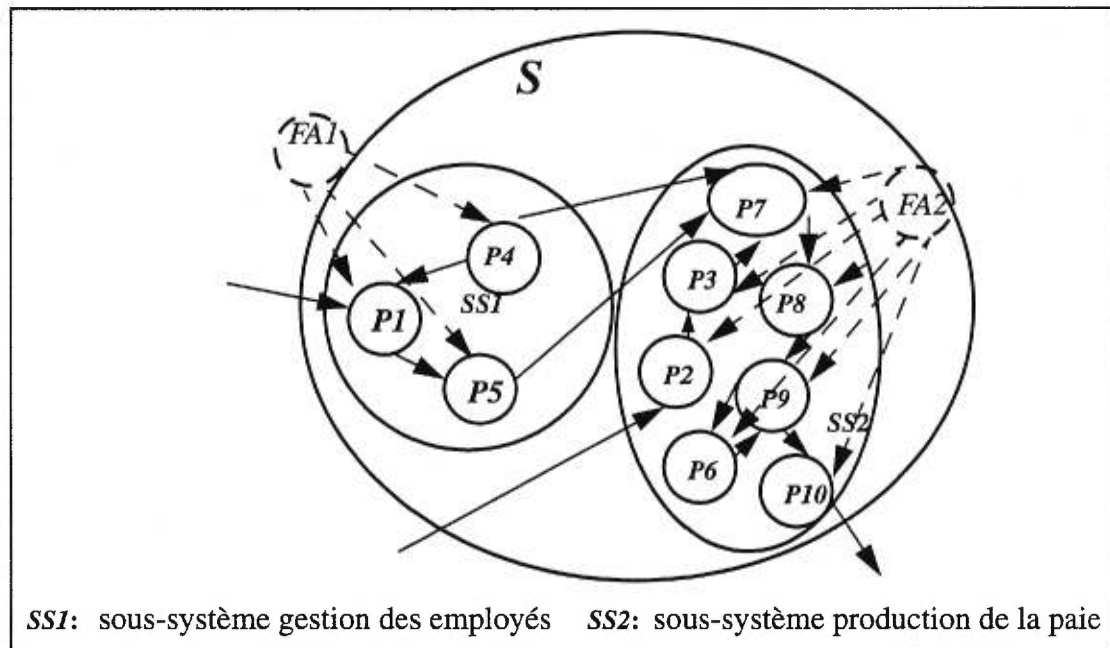


Figure 4.9 Décomposition du SI paie selon les fonctions d'affaires

4.6.5 Critère temps

Le facteur temps est pris en considération par quelques méthodes. Une décomposition basée sur le temps regroupe des primitives dans un même sous-système si elles sont exécutées dans la même tranche de temps. Dans la méthode Remora [Rolland et al, 1991] les auteurs modélisent les propriétés temporelles des objets. Ils incluent le paramètre temps d'une façon explicite dans la description statique des objets, en faisant la distinction

entre les propriétés constantes dans le temps et les propriétés variables au cours du temps.

Définition du critère temps: Toutes les primitives qui sont exécutées dans la même tranche de temps sont regroupées dans un même sous-système.

Exemple: La figure 4.10 représente une décomposition selon le temps pour le SI de gestion de la paie: les primitives $P1$ et $P5$ sont regroupées dans le même sous-système $SS1$, car elles sont exécutées dans la même tranche de temps $T1$ (saisie employés); même chose pour les primitives $P2$ et $P3$ qui sont dans le même sous-système $SS3$, car elles sont exécutées successivement dans la tranche temps $T3$ (saisie heures travaillées) et même chose aussi pour les primitives $P6, P7, P8, P9$ et $P10$ qui sont dans le même sous-système $SS4$, car elles sont exécutées dans la même tranche de temps $T4$ (chaque quinzaine de jours).

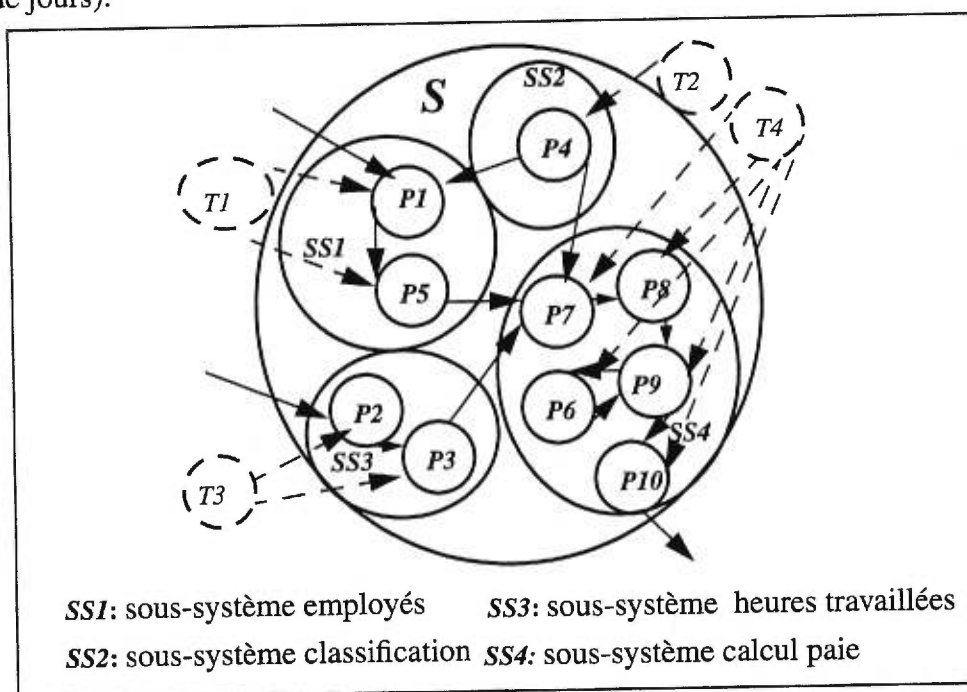


Figure 4.10 Décomposition du SI paie selon le temps

4.6.6 Critère structure organisationnelle

Ce facteur est négligé par la plupart des méthodes. Il est considéré par Conrath [Conrath, 1989] qui affirme "une organisation n'est pas seulement le travail à faire et les machines d'exécution. Elle implique les gens, leurs rapports formels et informels, la prise

de décision et le contrôle, et plusieurs autres facettes qui influencent l'organisation et qui sont influencés par l'efficacité du système de support technique".

Définition du critère structure organisationnelle: Toutes les primitives qui correspondent aux tâches ou données qui appartiennent à la même unité organisationnelle peuvent être regroupés dans un même sous-système.

Exemple: La figure 4.11 représente une décomposition selon la structure organisationnelle pour le SI de gestion de la paie: les primitives *P1*, *P2*, *P3*, *P4* et *P5* sont dans le même sous-système *SS1*, car elles correspondent à des tâches ou des dépôts qui appartiennent au département des ressources humaines (*SO1*). Les primitives *P7*, *P8* et *P9* sont dans le même sous-système *SS2*, car elles correspondent à des tâches concernant le département de finances (*SO2*). Les primitives *P6* et *P10* sont dans le même sous-système service de la paie car elles correspondent à des activités qui incombent au service de la paie (*SO3*).

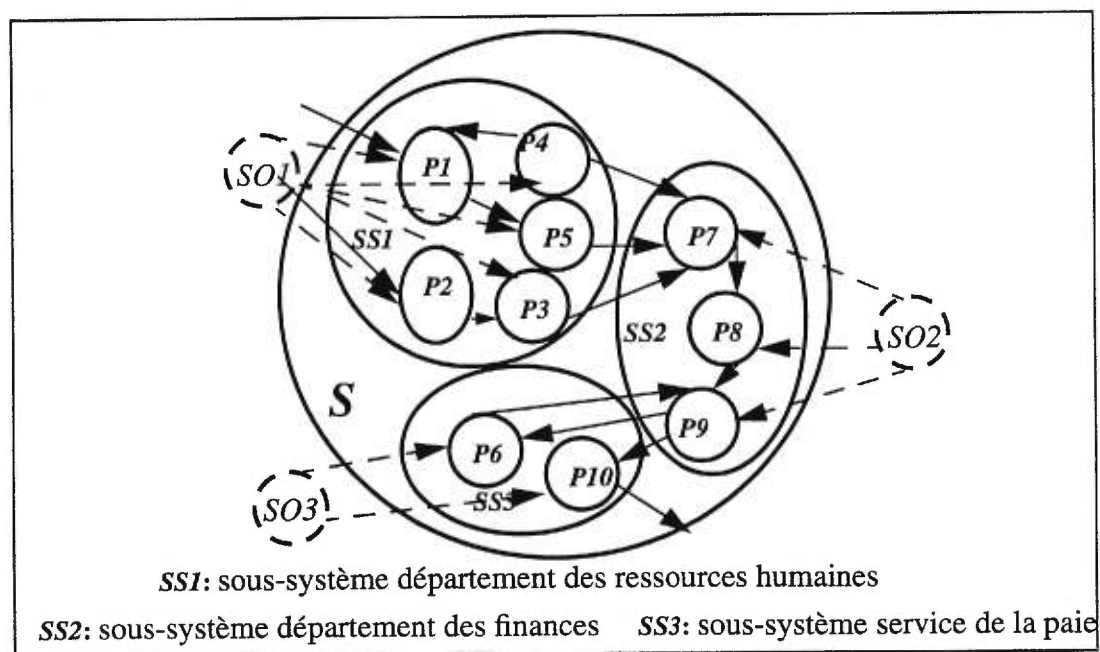


Figure 4.11 Décomposition du SI paie selon la structure organisationnelle

4.6.7 Critère comportement

Une décomposition selon ce critère exige de regrouper dans un même sous-système toutes les primitives qui ont une relation dans leurs changements d'états. Paulson [Paulson, 1989] considère le comportement comme critère de décomposition en affirmant "C'est seulement en observant le comportement du système qu'un concepteur peut trouver comment on peut décomposer le système en des parties". Ammari, Arour, Jaoua et Ounelli [Ammari et al., 1994] considèrent le comportement: à partir des exemples réels sur le comportement du système, ils créent la relation binaire R pour regrouper les variables qui ont les plus d'interactions dans un même sous-système. Courtois [Courtois, 1985] se base sur les propriétés du comportement du système à court et long terme pour décomposer un système en sous-systèmes.

→ Définition du critère comportement

Si un changement d'état dans une primitive entraîne un changement d'état dans d'autres primitives, toutes ces primitives peuvent être regroupées dans un même sous-système.

Exemple: La figure 4.12 représente une décomposition selon le comportement dans le système de la paie: le comportement $C1$ correspond à un changement d'état dans la primitive $P1$, saisie informations employés, qui provoque un changement d'états dans les primitives $P4$ (dépôt classification employés) et $P5$ (dépôt employés), les primitives concernées par le comportement $C1$ sont regroupées dans le même sous-système $SS1$. Le comportement $C2$ correspond à un changement d'état dans le processus $P2$ (saisie des heures travaillées) et entraîne un changement d'état dans le dépôt $P3$ (dépôt des heures travaillées), les primitives concernées par le comportement $C2$ sont regroupées dans le même sous-système $SS2$. Le comportement $C3$ correspond à un changement d'état dans $P7$ qui entraîne un changement d'état dans les primitives $P6$, $P8$, $P9$ et $P10$, les primitives concernées par le comportement $C3$ sont regroupées dans le même sous-système $SS3$.

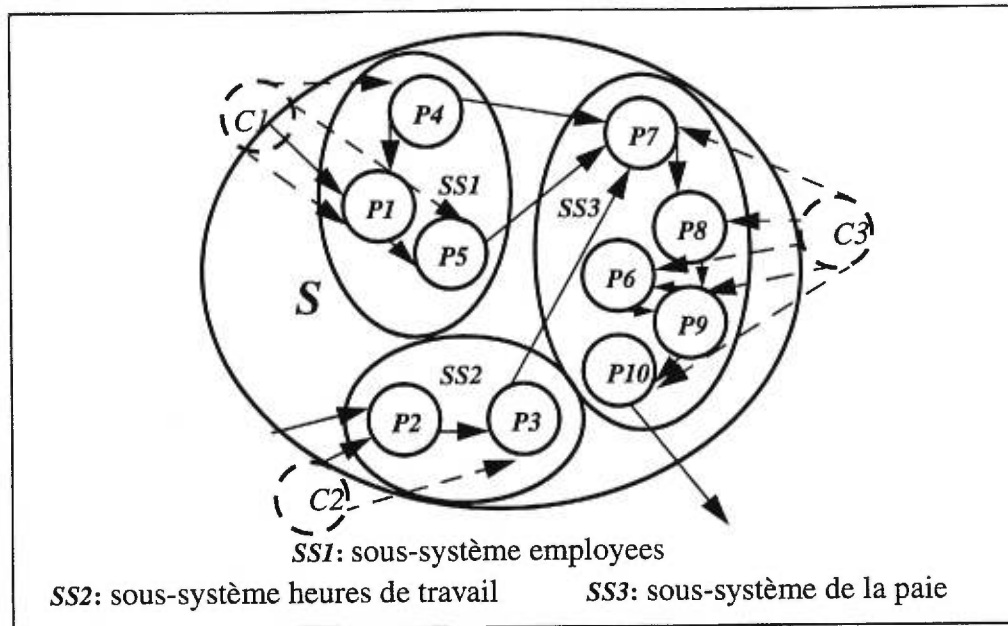


Figure 4.12 Décomposition du SI paie selon le comportement

4.7 Cas particulier de décomposition

Dans les décompositions précédentes, nous avons considéré que chaque primitive a des liens conceptuels avec les primitives situées dans le même sous-système. Dans une décomposition, il se peut qu'une primitive ait un ou des liens conceptuels avec une ou plusieurs primitives situées dans différents sous-systèmes. Une telle primitive peut faire partie de ces sous-systèmes. En prenant comme indicateur de qualité la métrique de qualité externe définie dans le chapitre 7, nous avons considéré la décomposition basée sur les données du système de prêts (défini dans le chapitre 6), nous avons testé la qualité de chacune des décompositions en mettant successivement la primitive dans chacun des sous-systèmes dont elle peut faire partie et le résultat a montré que la qualité de ces décompositions est plus ou moins la même. Nous avons décidé de mettre une telle primitive dans n'importe quel sous-système dont elle peut faire partie sans influencer la qualité de la décomposition d'un SI.

4.8 Résumé

Dans ce chapitre un modèle général d'un SI est défini en se basant sur deux modèles: le modèle de Courtois et le modèle des DFDs. Ce modèle général abstrait a les propriétés suivantes:

- représente un SI avec tous ses composants que ce soit à l'analyse ou à la conception;
- représente un système, une partie de système à différents niveaux de raffinements;
- est indépendant de deux paradigmes de développement (procédural ou objet);
- représente la décomposition d'un système en sous-systèmes;
- met en évidence les liens entre les primitives et les sous-systèmes;
- a une représentation graphique simple.

Les composants et les concepts de base physiques du modèle de SI définis sont: lien, primitive, sous-système, système et décomposition. Les composants conceptuels du modèle définis sont les critères de décomposition. Les cinq critères de décomposition choisis et définis sont: les fonctions d'affaires, les données, le comportement, la structure organisationnelle et le temps. Un système de gestion paie a servi d'exemple pour illustrer les définitions des composants physiques et conceptuels du modèle général. Ces cinq critères seront expérimentés dans les chapitres 7, 8 et 9 pour savoir leur influence sur la qualité de la décomposition d'un SI.

Chapitre 5

Métriques de qualité d'une décomposition

5.1 Introduction

Dans le chapitre 2, nous avons conclu que la revue de la littérature sur les méthodes de décomposition montre que les deux problèmes suivants ne sont pas résolus:

- La bonne décomposition n'est toujours pas connue car on ne sait pas quel critère ou quelle méthode favoriser.
- On ne sait pas comment comparer les critères de décompositions car on n'a aucune approche, guide ou métrique au niveau système pour les comparer.

Dans le chapitre 3, nous avons conclu que les critères de qualité se partagent en deux catégories: critères externes et critères internes. Les critères externes ne font pas référence à la décomposition. Parmi ces critères externes, la maintenabilité est le critère le plus considéré. Pour les critères internes, la cohésion et le couplage sont les critères les plus importants, définis quantitativement seulement au niveau module et entre deux modules et non au niveau système et entre sous-systèmes.

Dans ce chapitre, nous allons étendre les critères internes de qualité de cohésion et de couplage, proposer des métriques pour chacun d'entre eux et proposer une métrique de qualité d'une décomposition, basée sur ces deux critères, au niveau système. Dans la section 5.2, nous définissons et rappelons les objectifs de cette thèse, les concepts de base et les hypothèses de la décomposition d'un SI que nous considérons. Dans la section 5.3,

une métrique de cohésion d'un ensemble est définie. Dans la section 5.4, la même métrique de cohésion est redéfinie pour le couplage. Dans la section 5.5, une métrique de qualité d'une décomposition est définie. Un résumé est donné dans la section 5.6.

5.2 Concepts et objectifs de la décomposition d'un SI

5.2.1 Concepts de base: cohésion et couplage

Pour définir la métrique unifiée de cohésion et de couplage de la décomposition d'un SI, l'idée de base est tirée du modèle de Courtois [Courtois, 1985] quand il a remarqué: "En général, les interactions dans les sous-systèmes sont plus fortes et plus fréquentes qu'entre sous-systèmes." Cette observation met en évidence la force et la fréquence des liens entre composants d'un système: Elle peut être subdivisée en deux parties correspondant aux interactions inter et intra sous-systèmes:

- les interactions des composants à l'intérieur des sous-systèmes sont fortes et fréquentes: ceci en réalité correspond à la cohésion d'un sous-système, et
- les interactions entre sous-systèmes sont relativement faibles et rares: ceci correspond au couplage entre sous-systèmes.

La structure d'un système est composée de sous-systèmes avec un couplage interne qui est plus fort que le couplage entre ses différents sous-systèmes.

Les métriques existantes de cohésion et couplage ne sont pas définies pour la décomposition des systèmes, elles sont définies pour des programmes. Or Rombach [Rombach, 1990] confirme que "les métriques reliées à la conception générale ont plus d'influence sur la maintenabilité que les métriques de bas niveau et qui sont reliées au code."

Henry et Kafura [Henry, Kafura, 1981] divisent les métriques en deux niveaux: le niveau micro et le niveau macro: le niveau micro concerne les composants individuels d'un système. le niveau macro concerne les interconnexions entre composants du système. Pour définir la métrique unifiée de cohésion et de couplage et la métrique de qualité, nous avons choisi de définir des métriques de niveau macro pour mesurer les liens entre les primitives d'une décomposition à l'intérieur d'un sous-système et entre les sous-systèmes. Car ce genre de métriques est plus approprié pour évaluer la qualité de la

décomposition d'un SI que les métriques de niveau micro, qui sont reliées au code

5.2.2 Rappels des objectifs de la thèse

Nous rappelons les quatre principaux objectifs de la thèse:

- **Objectif 1:** Pouvoir dire quel(s) critère(s) conduisent à une bonne décomposition.
- **Objectif 2:** Que le jugement porté soit aussi quantitatif, cela implique une ou des métriques.
- **Objectif 3:** Que dans la mesure du possible une métrique unique permette de décrire la qualité d'une décomposition.
- **Objectif 4:** Que l'on puisse comparer deux décompositions sur la valeur de leurs métriques quelque soit le système considéré et quelque soit la décomposition considérée.

L'objectif 4 implique que les domaines de valeurs d'une métrique soient fixées et indépendantes des caractéristiques du système et de la décomposition et que la métrique ou les métriques seront définies entre 0 et 1.

Pour atteindre ces objectifs, dans les prochaines sections, nous allons définir une métrique unifiée de cohésion et de couplage et une métrique de qualité d'une décomposition d'un SI.

5.3 Cohésion d'un ensemble de primitives

5.3.1 Rappel du modèle de SI

Soit un système S composé de 3 sous-systèmes SS_1 , SS_2 et SS_3 (voir Figure 5.1). Les liens internes entre les primitives P_i et P_j dans les sous-systèmes sont étiquetés l_{ij} , alors que les liens connectant des primitives P_i et P_j qui sont situées dans des sous-systèmes différents sont étiquetés L_{ij} .

Dans le chapitre 4, nous avons défini les deux concepts de primitive et de lien. Une primitive est un composant indécomposable. Elle peut être un processus ou un dépôt. Il y

a deux types de liens: physique et conceptuel. Un lien physique peut être un échange de données ou des signaux de contrôle. Un lien conceptuel représente des propriétés communes aux primitives liées par le lien.

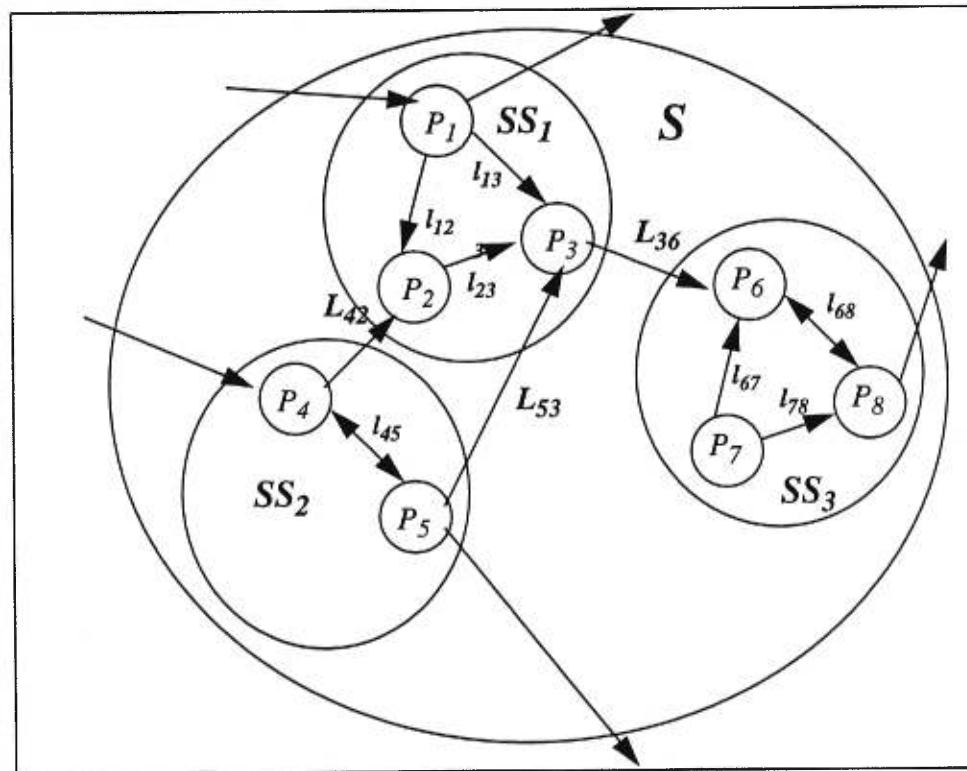


Figure 5.1 Système composé de 3 sous-systèmes

Selon l'observation de Courtois, ces liens traduisent la force des interactions entre les primitives. Ces liens ont des poids qui mesurent cette force.

Les différents types de liens que nous considérons sont les suivants:

- les liens physiques entre deux primitives sont de type données ou contrôle: s'il y a un échange de données ou de signaux de contrôle entre deux primitives, et
- les liens conceptuels entre deux primitives sont de type structure organisationnelle ou fonction d'affaires ou données ou comportement ou temps: si ces deux primitives sont reliées par le même critère de décomposition.

Les métriques qui seront définies peuvent être appliquées quelle que soit la nature du lien pourvu qu'il puisse avoir un poids traduisant la force des interactions.

5.3.2 Hypothèses

Pour calculer la qualité d'une décomposition, nous allons faire les hypothèses suivantes:

- Hypothèse 1: Etant donné que nous considérons le niveau macro pour définir des métriques au niveau système, par hypothèse la cohésion d'une primitive est égale à 1.
- Hypothèse 2: Afin de comparer la cohésion d'un sous-système avec la cohésion d'un autre sous-système et la cohésion d'une décomposition avec une autre décomposition, la valeur de la métrique est comprise entre 0 et 1:

Cohésion = 0	aucun lien entre primitives.
Cohésion = 1	toutes les primitives sont interreliées.

5.3.3 Métrique de cohésion

Soient:

S	un système (Figure 5.1, section 5.3.1).
E	n'importe quel ensemble des primitives de S .
L_{ij}	ensemble des liens physiques et conceptuels entre les primitives P_i et P_j avec P_i et P_j appartenant à l'ensemble E .
W_{ij}	somme des poids des liens entre les primitives P_i et P_j .
W_{max}	maximum de (W_{ij}) dans le système S , égale au poids W_{ij} du lien le plus fort entre deux primitives dans le système S .
$n = E $	nombre de primitives à l'intérieur de E .
$(n*(n-1)/2)$	nombre maximum des liens qui peut exister dans E .
$C(E)$	cohésion de E

- $C(E)$ vaut 1 si $n = 1$;
- $C(E)$ est définie par la formule (1) suivante pour $n > 1$.

$$C(E) = \frac{\sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n W_{ij}}{W_{max} * (n*(n-1)/2)} \quad (\text{Formule (1)})$$

Etant donné un sous-système composé de n primitives, ces primitives sont reliées par différents types de lien. Chaque type de lien entre deux primitives P_i et P_j a un poids différent W_{ij} .

$W_{max} * (n*(n-1)/2)$ représente la cohésion la plus forte possible si on considère la force maximale possible des liens dans le système.

Comme nous voulons que la valeur de la métrique soit comprise entre 0 et 1:

- si toutes les primitives sont interreliées par des liens de poids maximal, le numérateur et le dénominateur de la formule (1) sont égaux, alors la cohésion $C(E) = 1$;
- s'il n'y a aucun lien entre les primitives, le numérateur est égal à zéro, alors $C(E) = 0$.

Par exemple dans la figure 5.1, la cohésion du sous-système SS_1 est égale:

$$C(SS_1) = \frac{W_{12} + W_{13} + W_{23}}{W_{max} (3*(3-1)/2)}$$

Les poids W_{ij} des liens l_{ij} entre les primitives P_i et P_j ne sont pas connus pour l'instant, car en plus de leurs liens physiques, elles ont des liens conceptuels. Ces poids seront définis dans le chapitre 8.

Il est utile de remarquer que la formule (1) est applicable quelle que soit la nature des liens et quels que soient les poids et quelle que soit la granularité des composants, elle peut être utilisée dans d'autres perspectives.

Dans la section suivante, nous allons illustrer la métrique définie pour la cohésion à l'exemple du système de paie.

5.3.4 Illustration de la métrique de cohésion

Considérant la décomposition basée sur le temps du système de paie (Figure 5.2):

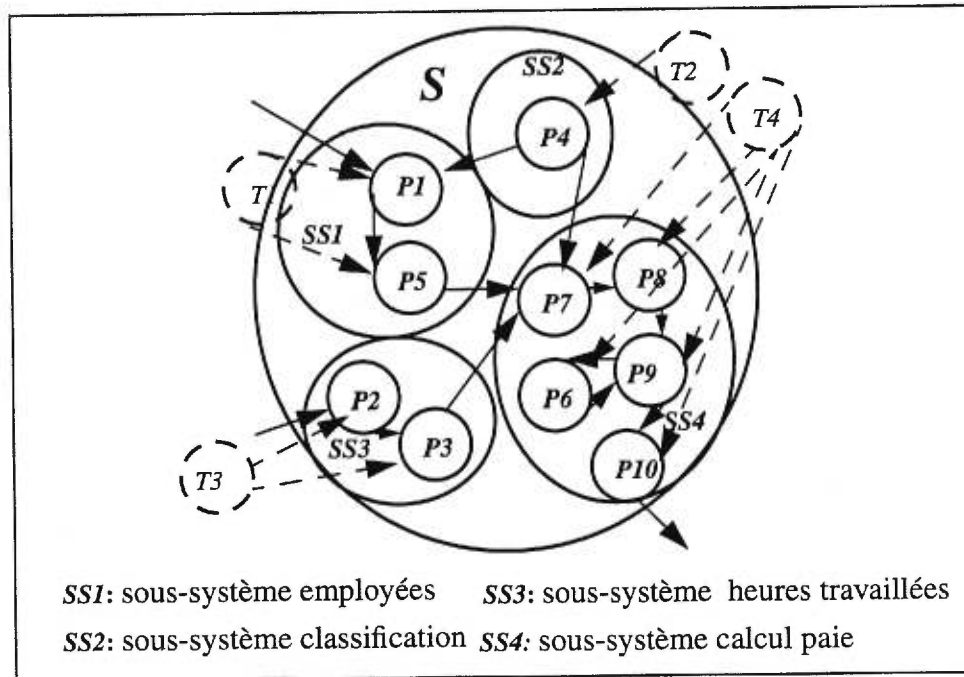


Figure 5.2 Décomposition du SI paie basée sur le temps

Par exemple, pour calculer la cohésion du sous-système $SS1 = C(SS1)$, dans ce sous-système, nous avons deux primitives donc $n = 2$ et le dénominateur de la formule (1) égale à $(n*(n - 1)/2)*W_{max} = W_{max}$. Pour calculer le numérateur, nous avons besoin des poids pour les différents liens entre $P1$ et $P5$. Supposons que les poids sont les suivants:

Type de Lien	Poids
Données	5
Temps	5
Fonctions d'affaires	4
Comportement	3
Structure organisationnelle	1

Les liens entre *P1* et *P5* sont résumés dans la table 5.1: (il y a un lien conceptuel entre *P1* et *P5* si elles partagent le même critère de décomposition dans le même sous-système. (voir figures 4.9 à 4.13 dans le chapitre 4, section 4.6).

Table 5.1 SI paie: liens dans *SSI*

Type de lien	Référence	Poids
Physique		
données	Figure 5.2	5
Conceptuel		
structure organisationnelle	Figure 4.11	1
comportement	Figure 4.12	3
données	Figure 4.8	5
fonctions d'affaires	Figure 4.9	4
temps	Figure 4.10	5
<i>W₁₅</i>		23

Supposons que le poids maximum W_{max} est égale à 27. En remplaçant les termes par leurs valeurs dans la formule suivante (formule (1)):

$$C(E) = \frac{\sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n W_j}{W_{max} * (n*(n-1)/2)}$$

Nous aurons la cohésion de *SSI*:

$$C(SS1) = \frac{(5 + 1 + 3 + 5 + 4 + 5)}{27 * (2 * (2 - 1) / 2)} = \frac{23}{27} = 0.85$$

De la même façon on calcule la cohésion de chaque sous-système et les résultats de calcul de tous les sous-systèmes sont décrites dans la table 5.2:

Table 5.2 Cohésion de la décomposition basée sur le temps

	<i>SS1</i>	<i>SS2</i>	<i>SS3</i>	<i>SS4</i>
Cohésion	0.87	1	0.85	0.63
Cohésion totale				3.33
Cohésion moyenne				0.83

5.4 Couplage d'un ensemble de composants

5.4.1 Couplage et cohésion: mesure de la même chose

En définissant son modèle quantitatif de cohésion et de couplage entre modules, Dhama [Dhama, 1995] définit le couplage comme étant “une propriété inter-modulaire, une mesure de l’interdépendance entre deux modules du logiciel.”

Cette définition s’applique seulement au couplage entre deux modules. Dans notre modèle, le couplage doit être défini:

- a) entre plus de deux modules;
- b) pour des composants qui peuvent être plus complexes qu’un module, tel que sous-systèmes.

Compte tenu de l’observation de Courtois sur les interactions inter et intra sous-systèmes, si on considère un composant comme un tout, en appliquant la définition du couplage entre modules de Dhama, le couplage entre composants exprime la force plus ou moins grande des liens entre ces composants.

Il en résulte que compte tenu du modèle, couplage et cohésion expriment la même chose: la force des liens entre les composants considérés:

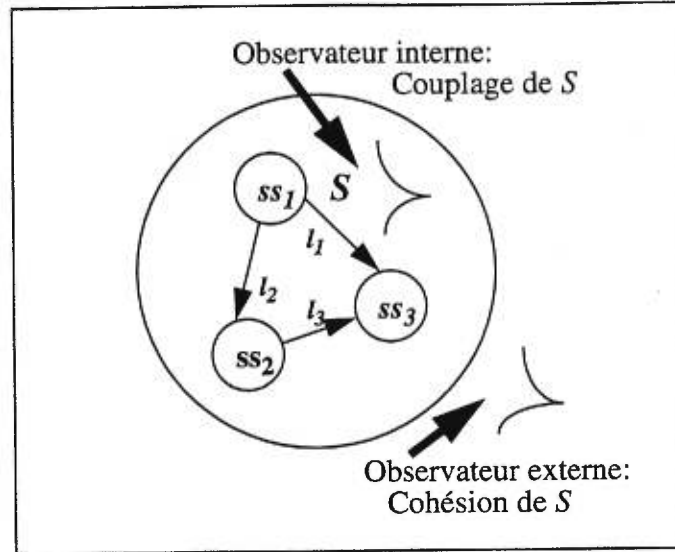


Figure 5.3 Cohésion et couplage: Mesure de la même chose

Soit S un ensemble des composants (voir Figure 5.3)

Si on observe à partir de l'intérieur de l'ensemble S , nous observons les liens entre ses composants SS_1 , SS_2 et SS_3 , dans ce cas, la mesure est le couplage entre les composants de S .

Si nous observons à partir de l'extérieur de l'ensemble S , nous observons le système en entier; dans ce cas, la mesure est la cohésion de l'ensemble S .

En conséquence, la cohésion et le couplage mesurent la force des liens entre les composants et le couplage va pouvoir s'exprimer par la même formule que la cohésion. Ce qui va changer c'est la nature des objets reliés et si nécessaire, la nature (le poids) des liens considérés.

Par hypothèse, Nous considérons aussi que la valeur de la métrique de couplage est comprise entre 0 et 1:

Couplage = 0	aucun lien entre composants.
Couplage = 1	toutes les composants sont interreliés par des liens de force maximale

5.4.2 Métrique de couplage entre sous-systèmes

Considérons la décomposition du système S présenté dans la figure 5.1 (section 5.3.1): il est composé de trois sous-systèmes SS_1 , SS_2 et SS_3 . Les liens internes dans les sous-systèmes sont étiquetés l_{ij} , alors que les liens connectant des primitives qui sont situées dans des sous-systèmes différents sont étiquetés L_{ij} .

- Le couplage entre les sous-systèmes est exprimé par la même formule (1) définie pour la cohésion, appliquée au système tel que vu dans la figure suivante (figure 5.4):

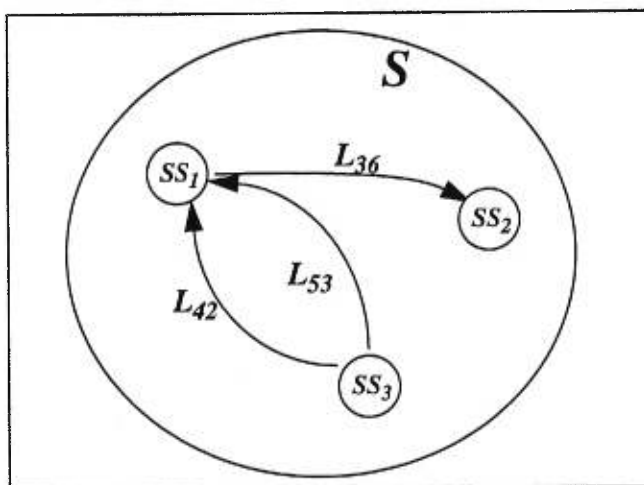


Figure 5.4 Couplage du système

Chaque sous-système de S devient un élément simple comme s'il était une primitive. Les seuls liens considérés sont les liens qui connectent des primitives appartenant à différents sous-systèmes, c'est à dire L_{42} , L_{53} et L_{36} .

Sur l'ensemble des composants liés décrits dans la figure 5.4, la formule (1) définie pour la cohésion s'applique au couplage avec une seule exception qui est la considération du poids maximum W_{max} :

Selon la définition du poids maximum donnée pour la cohésion (section 5.3.3), le poids maximum dans la figure 5.4 est $W_{max} = \text{Maximum} (L_{36}, (L_{42} + L_{53}))$, où $(L_{42} + L_{53})$ représentent la somme des liens entre les sous-systèmes SS_1 et SS_3 . Si cette valeur est plus grande que le poids maximum obtenu pour la cohésion, on prendra cette valeur

comme nouveau poids maximum, sinon c'est celle obtenue pour la cohésion qui sera considérée comme poids maximum.

- **Justifications:**

- La somme des poids des liens entre deux sous-systèmes peut être plus grande que l'ancien poids maximum W_{max} . Si on garde l'ancien W_{max} dans la formule, on aura des couplages plus grands que 1. Ceci explique pourquoi on remplace le nouveau W_{max} quand la somme des poids des liens est supérieure à l'ancien W_{max} .

- Par contre ceci n'explique pas pourquoi on garde l'ancien W_{max} si la somme des poids des liens entre sous-systèmes est inférieure à l'ancien W_{max} . L'explication c'est que cela fausserait les comparaisons entre couplages des différents ensembles de sous-systèmes:

Considérons un système S tel que le poids maximum W_{max} de la cohésion égale à W_{max0} :

Soit une première décomposition telle que: la valeur maximale des sommes des poids des liens entre sous-systèmes est W_{max1} et W_{max1} est supérieur à W_{max0} .

Si tous les sous-systèmes sont interreliés par des liens, tous de poids W_{max1} , alors le couplage = 1.

Soit une deuxième décomposition telle que: la valeur maximale des sommes des poids des liens entre sous-systèmes est W_{max2} et W_{max2} est inférieur à W_{max0} .

Si tous les sous-systèmes sont interreliés par des liens tous de poids W_{max2} , pour calculer le couplage de cette deuxième décomposition on prend W_{max2} , le couplage calculé sera aussi égale à 1.

Or intuitivement, comme W_{max1} est supérieur à W_{max2} , il serait bon que le couplage de la première décomposition soit plus fort que celui de la deuxième décomposition. Si on prend comme poids maximum W_{max0} (le poids maximum de la cohésion du système

S : ancien W_{max}) pour la deuxième décomposition. Comme W_{max0} est supérieur à W_{max2} , ceci sera réalisé.

5.4.3 Illustration de la métrique de couplage

Pour le système de paie, calculons le couplage pour la même décomposition, la décomposition basée sur le temps, en suivant les trois étapes suivantes:

Etape 1: reconcevoir le modèle du système sous forme de graphe où les noeuds représentent les sous-systèmes et les arcs représentent les liens.

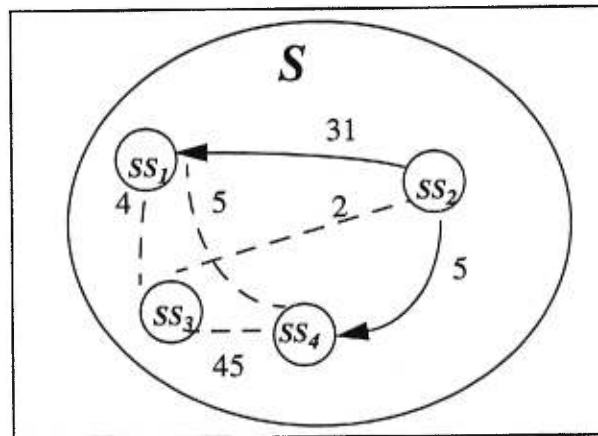


Figure 5.5 Couplage du système pour la décomposition basée sur le temps

La figure 5.5 représente le couplage entre les sous-systèmes de la décomposition basée sur le temps du SI paie: les liens conceptuels sont représentés par des arcs en pointillés et les liens physiques sont représentés par des arcs solides. Le poids de chaque lien est indiqué sur l'arc reliant deux noeuds correspondant aux deux sous-systèmes.

Etape 2: déterminer le poids maximum, en calculant le poids le plus élevé W_{ij} entre les sous-systèmes SS_i et SS_j dans le système S . Si cette valeur est plus petite que celle obtenue pour la cohésion (section 5.3.4) la dernière est retenue sinon cette valeur sera considérée comme le poids maximum.

La table 5.3 résume les poids de liens entre les sous-systèmes:

Table 5.3 Poids des liens entre sous-systèmes

	SS2	SS3	SS4
SS1	31	4	5
SS2		2	5
SS3			45

D'après la table 5.3 le poids le plus élevé est celui entre SS3 et SS4 et égal à 45. Cette valeur est plus grande que la valeur 27 obtenue pour calculer les cohésions: donc la nouvelle valeur de $W_{max} = 45$.

Etape 3: calculer le couplage du système en appliquant la formule (1):

La figure 5.5 montre qu'il y a 4 sous-systèmes donc $n = 4$. Le couplage du système est obtenu en remplaçant dans la formule (1) chaque terme par sa valeur:

$$\text{Couplage} = \frac{(31 + 5 + 45 + 4 + 5 + 2)}{45 * (4 * (4 - 1) / 2)} = 0.34$$

5.5 Qualité d'une décomposition

5.5.1 Propriétés de qualité d'une décomposition

Une décomposition est d'autant meilleure que la cohésion de ses sous-systèmes est grande et que le couplage entre ses sous-systèmes est faible.

Il est bon d'intégrer ces propriétés de cohésion et de couplage en une seule métrique.

Afin de comparer les qualités de différentes décompositions, il serait bon aussi que la métrique soit comprise entre 0 et 1.

5.5.2 Métrique de qualité basée sur la cohésion et le couplage

Soit $D(S)$ une décomposition du système S , composée de K sous-systèmes SS_1, SS_2, \dots, SS_k avec $1 < K < |S|$. Chaque sous-système est composé de primitives.

Soit $Cohesion_i$ la cohésion de SS_i (calculée par la formule (1)).

Soit $Couplage$ le couplage entre les sous-systèmes (calculé par la formule (1)).

La qualité totale de la décomposition d'un système S : $Q(D(S))$ est donnée par la formule suivante:

$$Q(D(S)) = \frac{\left(\sum_{i=1}^K Cohesion_i \right) - Couplage}{K} \quad \text{Formule (2)}$$

Pour définir cette métrique, nous nous sommes inspirés de la formule de qualité de Karimi et Konsynski [Karimi, Konsynski, 1988], (décrite dans le chapitre 3, section 3.4.3) appliquée à des modules. Pour calculer la qualité d'un programme, ils font la différence entre la somme des cohésions et du couplage entre deux modules. Dans ce cas la valeur de la qualité peut être supérieure à 1, ce qui n'est pas le cas dans la formule (2) où la qualité est comprise entre 0 et 1.

La plus petite valeur possible pour $Q(D(S))$ est obtenue si le nombre des sous-systèmes K est minimal; c'est à dire $K = 2$, toutes les cohésions sont nulles et le couplage est maximal et égal à 1 et dans ce cas $Q(D(S)) = -0,5$. Par convention, nous allons affecter la valeur 0 à toute qualité négative.

Il est facile de démontrer que la valeur maximale de la qualité $Q(D(S))$ est égale 1. Cette valeur est obtenue si dans tous les sous-systèmes, la cohésion est égale 1 et le couplage est nul.

5.5.3 Illustration de la métrique de qualité

Pour le système de paie, nous aurons la qualité de la décomposition basée sur le temps $Q(D(S))$ en remplaçant dans la formule (2), chaque terme par sa valeur:

$$Q(D(S)) = \frac{(0.85 + 1 + 0.85 + 0.63) - 0.34}{4} = 0.75$$

5.6 Résumé

Dans ce chapitre, nous avons défini une métrique unifiée pour calculer la cohésion d'un sous-système et le couplage entre sous-systèmes et une métrique de qualité interne d'une décomposition d'un SI.

Parmi les quatre objectifs de la thèse fixés (voir section 5.2.2), les objectifs suivants sont atteints:

- Objectif 2: Les métriques définies contiennent des poids permettant de porter un jugement quantitatif.
- Objectif 3: Pour mesurer la qualité de la décomposition: Une métrique unifiée de cohésion et de couplage est définie.
- Objectif 4: Les métriques définies sont comprises entre 0 et 1, permettent de comparer deux décompositions, quelque soit le système considéré et quelque soit la décomposition considérée.

Pour atteindre l'objectif 1 qui est de trouver le ou les critère(s) qui conduisent à une bonne décomposition, il faut réaliser les trois sous-objectifs suivants:

- sous-objectif 1: introduire les critères de décomposition à étudier dans le modèle.
- sous-objectif 2: il faut attribuer des poids aux liens;
- sous-objectif 3: compte tenu des poids choisis pour les liens représentant les meilleurs critères de décomposition, la métrique de qualité donne les meilleurs valeurs.

Parmi ces trois sous-objectifs, le sous-objectif 1 est réalisé car les critères de décomposition à étudier sont introduits et définis dans le chapitre 4. Pour atteindre les sous-objectifs 2 et 3, nous allons tester plusieurs décompositions sur trois SI réels qui seront définis dans le chapitre 6. Ceci implique une autre métrique de qualité indépendante de la première, cette métrique sera basée sur un critère externe pour servir de référence. Le critère externe choisi est la maintenabilité. Ensuite, on reliera ce critère externe au critère interne de qualité de la décomposition pour attribuer des poids aux différents liens entre primitives dans le chapitre 8. Les métriques de qualité basées sur la maintenabilité seront définies dans les chapitres 7 et 8. La métrique de qualité interne basée sur la cohésion et le couplage définie sera validée dans le chapitre 9.

Chapitre 6

Estimation des poids des liens entre primitives: approche d'expérimentation

6.1 Introduction

La quantification des décompositions d'un SI nécessite des métriques au niveau système. Dans notre modèle de qualité définie dans le chapitre 5, nous avons choisi la cohésion et le couplage comme critères internes de qualité: une métrique unifiée de cohésion et de couplage et une métrique de qualité interne au niveau système sont définies. Ces métriques sont paramétrées, considèrent la force et la nature des liens entre primitives. On ne connaît pas les poids de ces liens car il n'y a aucun guide dans la littérature pour les définir. Notre objectif est de trouver des valeurs (même provisoires, même peu sûres) pour ces poids afin d'avoir une indication sur le ou les meilleurs critère(s) de décomposition d'un SI. L'idée est de considérer une nouvelle approche de qualité indépendante de l'approche définie dans le chapitre 5 qui nécessite des poids. Pour estimer ces poids cette nouvelle approche utilise un critère de qualité externe au lieu d'un critère interne, ne contenant pas des poids pour les liens entre les primitives. Tout en espérant que cette nouvelle approche nous permettra de discriminer les critères de décomposition, la métrique externe qui sera définie sera utilisée pour expérimenter des décompositions selon différents critères de décomposition sur un banc d'essai contenant trois SI réels. Le classement obtenu dans l'expérimentation nous permettrait de proposer

des poids pour les liens considérés dans la métrique unifiée des critères internes définie (formule (1)) dans le chapitre 5.

Dans la section 6.2, la philosophie générale de la démarche est décrite. Dans la section 6.3, la nouvelle approche de qualité est présentée. Dans la section 6.4, les SI considérés sont décrits. Dans la section 6.5, la démarche d'expérimentation est décrite. Dans la section 6.6, l'analyseur de qualité est décrit. Dans la section 6.7, l'analyse et l'évaluation des résultats sont décrites. Un résumé est donné dans la section 8.8.

6.2 Philosophie générale de la démarche

Nous avons conclu dans le chapitre 5 que parmi les quatre objectifs de la thèse fixés, trois objectifs sont atteints. Il reste à réaliser l'objectif primordial de cette recherche qui est de trouver quels sont les critères qui conduisent à une bonne décomposition. Ceci nous permettra d'attribuer des poids aux liens entre primitives afin de discriminer les critères de décompositions. Une démarche doit être suivie. La philosophie générale de cette démarche doit répondre essentiellement aux trois questions suivantes:

- Quel est le but de l'expérimentation?
- Quelle approche de qualité faut-il suivre?
- Quels SI faut-il prendre pour l'expérimentation?

6.2.1 But de l'expérimentation

Dans la littérature, il n'y a pas de résultat théorique permettant de classier les critères de décomposition par rapport à la qualité. Une expérimentation sera conduite en faisant des décompositions selon ces critères sur des SI tout en espérant obtenir des résultats qui nous permettront d'attribuer des poids aux différents critères de décomposition. Pour cela il nous faut:

- une autre approche de qualité indépendante de celle définie dans le chapitre 5;
- des SI avec leurs ensembles de changements et leurs décompositions.

6.2.2 Approche de qualité indépendante

Pour que les résultats soient applicables il faut que la qualité soit définie de manière complètement indépendante de celle utilisée dans le chapitre 5. Pour cela il faut que la nouvelle métrique qui sera définie diffère de la métrique unifiée de la façon suivante:

- soit externe et non interne en considérant un critère externe: la maintenabilité et non les critères internes: cohésion et couplage;
- mesurera l'effort de maintenance et non la fréquence et la force des liens entre primitives;
- soit complètement indépendante des poids des liens entre primitives en ne contenant pas ces poids.

Dans le chapitre 3, nous avons choisi la maintenabilité comme critère de qualité externe car c'est le critère externe le plus important. Deux métriques de qualité basées sur ce critère seront définies dans les chapitres 7 et 8. Pour expérimenter ces métriques, nous avons besoin d'un banc d'essai contenant quelques SI.

6.2.3 Les systèmes d'information de l'expérimentation

Pour que l'expérimentation soit significative, les différents critères de décomposition doivent être testés sur des SI réels et de taille réaliste comme Muller [Muller, 1992] l'a suggéré "Nous argumentons que les expérimentations doivent être exécutées sur des sites, utilisant des grands systèmes tels que le système de téléphonie, ou les systèmes bancaires ou les systèmes de santé qui évoluent naturellement à travers les décennies". Pour que le modèle d'effort défini donne des résultats significatifs, nous avons sélectionné trois SI réels avec leurs ensembles de changements réels dans le domaine bancaire. Ces SI sont considérés réels car ils sont utilisés par des organisations et fonctionnent dans le monde réel. Dans cette thèse, nous les décrivons et les décomposons de la même façon qu'ils doivent être dans le monde réel.

6.3 Le critère de qualité externe considéré

Le critère de qualité externe choisi est la maintenabilité et plus précisément l'aptitude d'une décomposition à absorber les changements, c'est à dire l'effort nécessaire pour apporter des modifications à un système. Nous pensons nous concentrer surtout sur les maintenances adaptative, perfective et préventive car elles représentent la plus grande pourcentage d'effort de maintenance (voir section 3.3.1).

Des exemples de maintenance:

- adaptative: changement des terminaux;
- perfective: ajout ou modification des fonctionnalités;
- préventive: Reconcevoir l'architecture d'un SI en déplaçant une primitive d'un sous-système à un autre sous-système.

D'autres exemples sont fournis dans les ensembles de changements des SI considérés pour cette recherche.

Par hypothèse, nous supposons que la qualité de la décomposition a une grande influence sur l'activité de maintenance:

- Plus la qualité d'une décomposition est bonne, plus l'effort de maintenance diminue. Autrement dit: une décomposition est d'autant meilleure que l'implantation d'un changement est plus localisé.

Par changement, nous voulons dire toute demande de changement faite par l'utilisateur, exprimée en termes d'utilisateur ou du système environnement. Un exemple de changement dans un système de gestion des prêts bancaires sera l'ajout d'une nouvelle catégorie de prêt. Un tel changement est traduit par l'informaticien en termes des primitives affectées.

Pour que les résultats aient une signification, on considèrera l'aptitude d'une décomposition à absorber non pas un changement mais l'ensemble des changements du

cycle de vie d'un SI. La métrique de qualité de la décomposition décrivant l'aptitude à absorber des changements sera basée sur l'effort nécessaire pour implanter l'ensemble des changements.

6.4 Les systèmes d'information considérés

6.4.1 Généralités

Le choix des SI à expérimenter dépend des cinq critères suivants:

- 1) il faut qu'ils soient des SI réels qui sont utilisés dans le monde réel par des organisations;
- 2) ces SI contiennent des programmes moyens à grands;
- 3) il faut avoir une certaine familiarité avec ces SI pour les analyser, les modéliser et les décomposer;
- 4) les ensembles des changements de ces SI doivent être réels.

Trois SI réels de taille réaliste ont été sélectionnés car ils satisfaisaient à ces cinq critères:

- un système de gestion des prêts bancaires pour une grande banque tunisienne, que nous avons développé et maintenu durant dix années. Nous avons reconstitué de mémoire les résultats de l'analyse et l'ensemble des changements.
- Un système de gestion de portefeuille pour une petite compagnie de gestion financière. La description complète de système est décrite dans [Lustman, 1985]. Les résultats de l'analyse et les changements ont été constitués à partir de ces descriptions et de souvenirs de M. Lustman qui a développé et supervisé le développement de ce système.

- Un système de gestion de trésorerie pour une grande banque canadienne. La description, les documents d'analyse fonctionnelle et organique ainsi que l'ensemble des changements réels nous ont été fournis pour le but de l'étude envisagée de la décomposition des SI réels.

Dans les prochaines sections, une brève description de ces SI est donnée, la description détaillée de trois systèmes se trouve dans l'Annexe A.

6.4.2 Système des prêts bancaires

• Description générale du système

Ce système comprend 14 primitives. Il effectue les traitements suivants: demandes de prêts, octrois des prêts, déblocage des montants des prêts et remboursements des prêts, pour des clients et des compagnies. (Une description plus détaillée ce système se trouve dans l'Annexe A, section A.1.1).

• Modélisation

Le modèle général est décrit dans la figure 6.1.

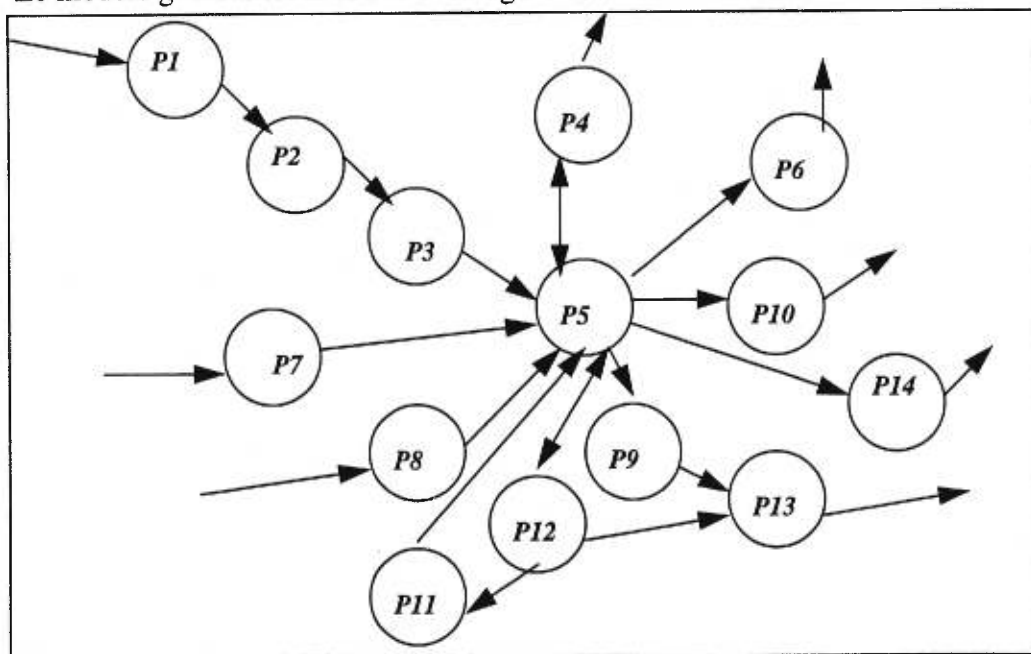


Figure 6.1 Modèle général du SI des prêts bancaires

La table 6.1 suivante décrit les primitives du système:

Table 6.1 Primitives du système de prêt

<i>Numéro primitive</i>	<i>Désignation primitive</i>
<i>P1</i>	Etude de dossier de prêt
<i>P2</i>	dépôt demandes de prêt
<i>P3</i>	Saisie des prêts octroyés
<i>P4</i>	Consultation base de données prêts
<i>P5</i>	Base de données prêts
<i>P6</i>	Impression des prêts octroyés
<i>P7</i>	Validation des prêts octroyés
<i>P8</i>	Saisie des garanties
<i>P9</i>	Déblocage des montants des prêts
<i>P10</i>	Impression débloages
<i>P11</i>	Mise à jour des prêts
<i>P12</i>	Débiter le compte courant
<i>P13</i>	Base de données comptes courants
<i>P14</i>	Impression des débloages

- **Description des changements**

L'ensemble de changements réellement demandés et reconstitués de mémoire, comprend 18 changements. Sa description est donnée dans la table 6.2 qui décrit le type de changement et les primitives affectées par chaque changement.

Table 6.2 Ensemble de changements du système des prêts

No	Désignation	No Primitives affectées
<i>Ch1</i>	Modification du contenu de la demande	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 14
<i>Ch2</i>	Ajout de nouvelles informations client	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 14
<i>Ch3</i>	Ajout des caractéristiques supplémentaires de prêt	3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 14
<i>Ch4</i>	Changement de codification du numéro de prêt	3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 14
<i>Ch5</i>	Modification de la base de données Prêt	3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 14
<i>Ch6</i>	Modification de codification du numéro de compte	5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14
<i>Ch7</i>	Changement de la plate-forme des terminaux	3, 4, 7, 8
<i>Ch8</i>	Modification de la liste d'octrois	6
<i>Ch9</i>	Modification de la liste de déblocage	10
<i>Ch10</i>	Ajout d'une nouvelle garantie de prêt	4, 5, 8, 9, 10, 11, 12, 14
<i>Ch11</i>	Modification de la liste de remboursement	14
<i>Ch12</i>	Ajout d'une nouvelle catégorie de prêt	3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14
<i>Ch13</i>	Changement de clé de validation	4, 5, 6, 7
<i>Ch14</i>	Changement des règles de déblocage	9, 10
<i>Ch15</i>	Changement fréquence temps mise à jour des prêts	5, 11, 12, 13, 14
<i>Ch16</i>	Changement de périodes de déblocage des prêts	5, 9, 10, 13
<i>Ch17</i>	Changement fréquence octroi prêts	3, 5, 6
<i>Ch18</i>	Changement fréquence validation prêts	5, 7

- **Description des 5 décompositions**

Les figures 6.2, 6.3, 6.4, 6.5 et 6.6 correspondent aux décompositions du SI des prêts bancaires respectivement selon la structure organisationnelle, le comportement, les données, les fonctions d'affaires et le temps.

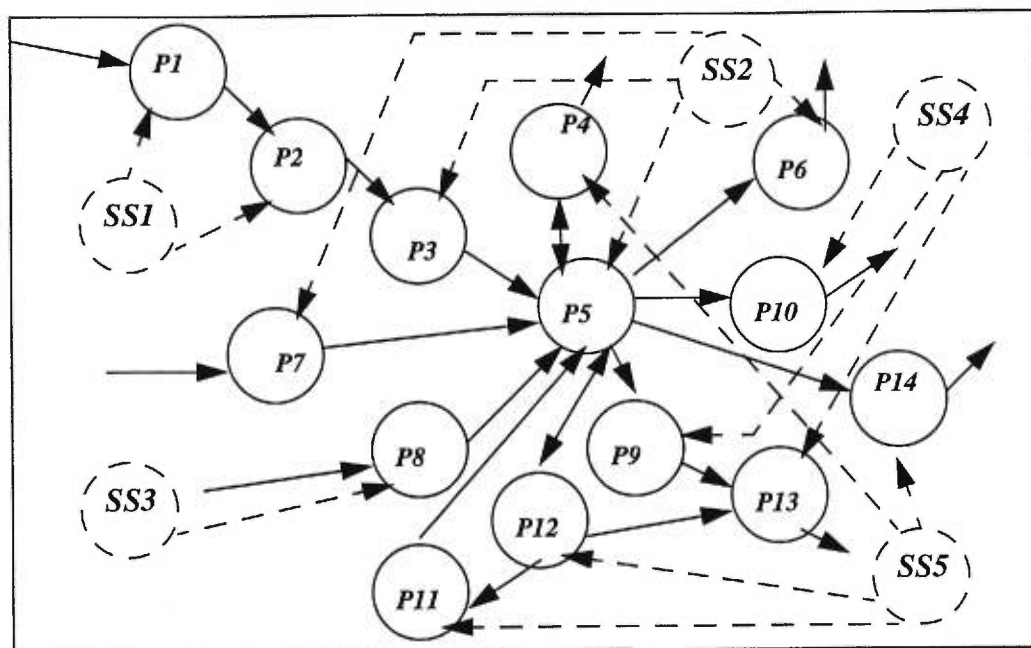


Figure 6.2 Décomposition du SI prêts selon la structure organisationnelle

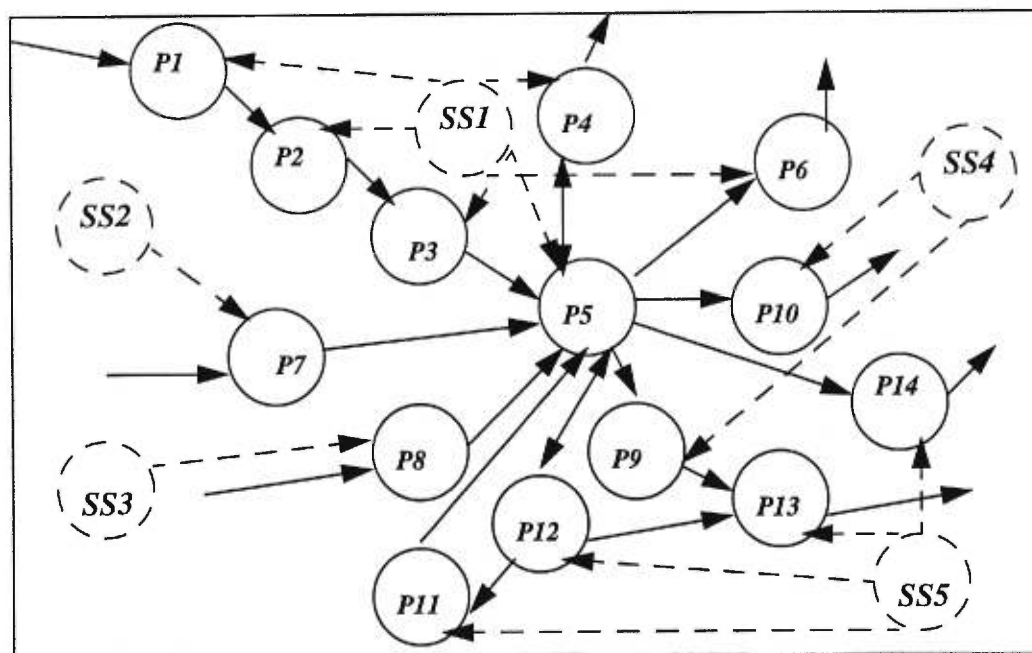


Figure 6.3 Décomposition du SI prêts selon le comportement

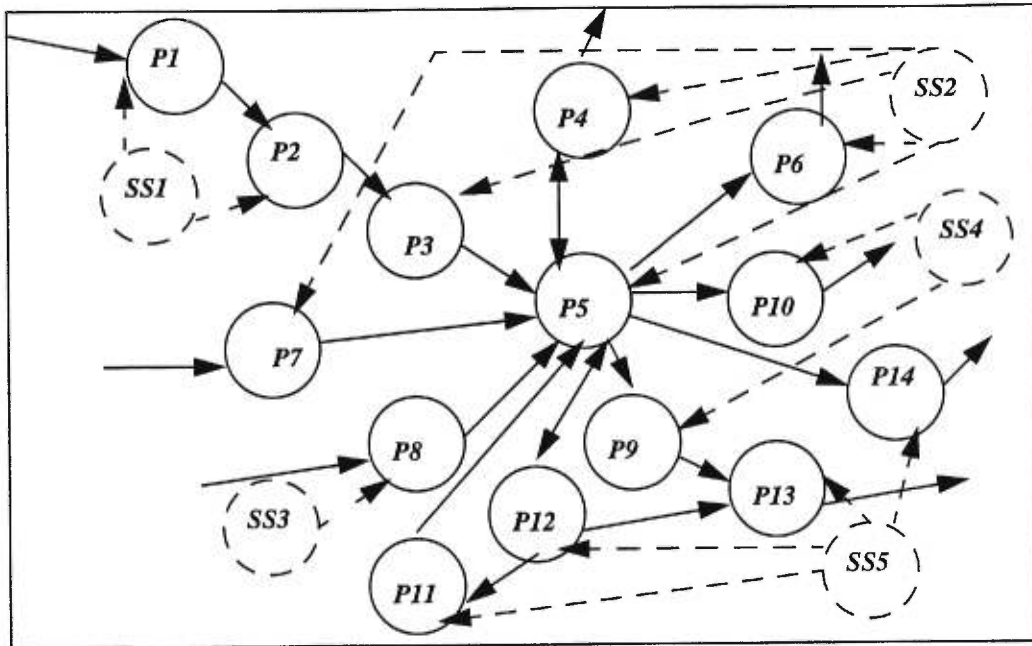


Figure 6.4 Décomposition du SI prêts selon les données

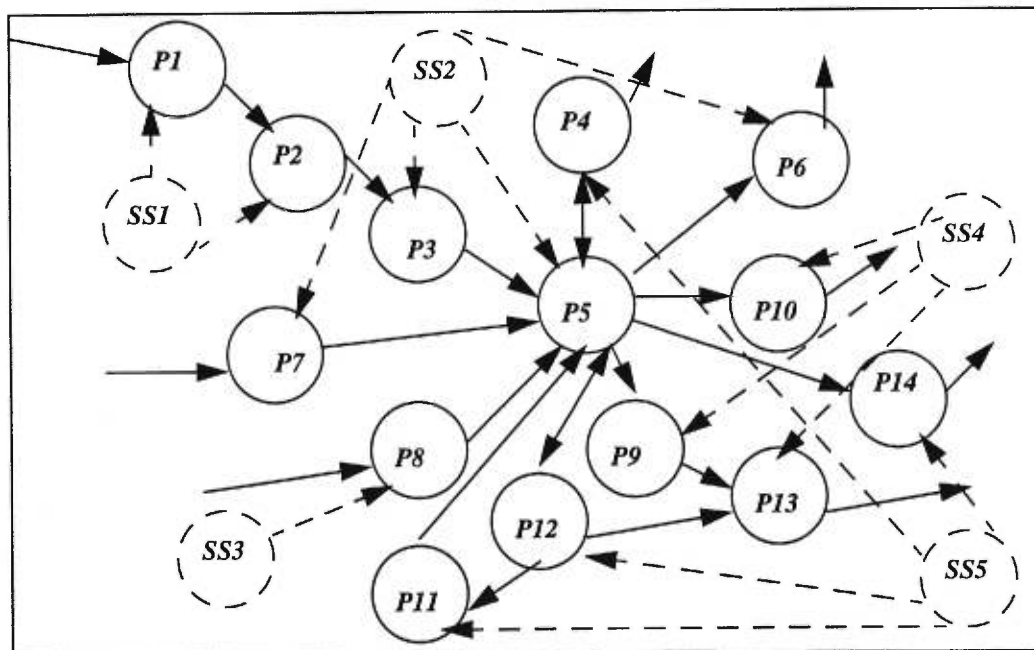


Figure 6.5 Décomposition du SI prêts selon les fonctions d'affaires

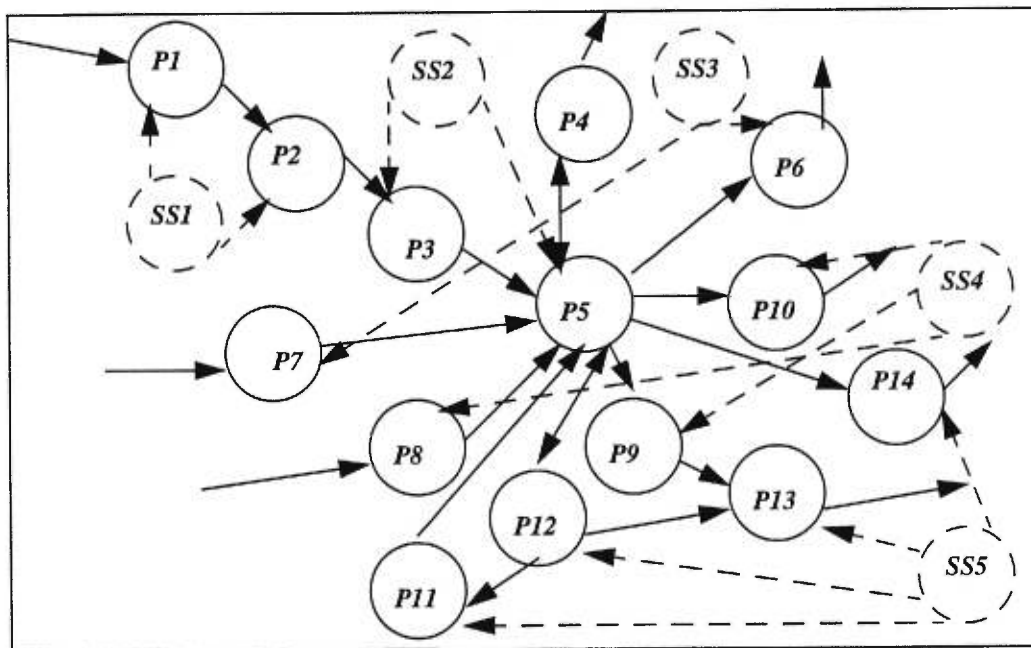


Figure 6.6 Décomposition du SI prêts selon le temps

La table 6.3 résume les décompositions en décrivant pour chaque sous-système les primitives composantes.

Table 6.3 Décompositions de SI prêts

No sous-système	Description sous-système	Primitives composantes
Décomposition basée sur la structure organisationnelle		
<i>SS1</i>	Service étude demande prêts	<i>P1, P2</i>
<i>SS2</i>	Service octrois prêts	<i>P3, P5, P6, P7</i>
<i>SS3</i>	Service garanties prêts	<i>P8</i>
<i>SS4</i>	Service déblocage prêts	<i>P9, P10, P13</i>
<i>SS5</i>	Service remboursement prêts	<i>P4, P11, P12, P14</i>
Décomposition basée sur le comportement		
<i>SS1</i>	Demande prêts	<i>P1, P2, P3, P4, P5, P6</i>
<i>SS2</i>	Validation prêts	<i>P7</i>
<i>SS3</i>	Garanties prêts	<i>P8</i>
<i>SS4</i>	Déblocage prêts	<i>P9, P10</i>
<i>SS5</i>	Remboursement prêts	<i>P11, P12, P13, P14</i>
Décomposition basée sur les données		
<i>SS1</i>	Données demande prêts	<i>P1, P2,</i>
<i>SS2</i>	Données octrois prêts	<i>P3, P4, P5, P6, P7</i>
<i>SS3</i>	Données garanties prêts	<i>P8</i>
<i>SS4</i>	Données déblocage prêts	<i>P9, P10</i>
<i>SS5</i>	Données remboursement prêts	<i>P11, P12, P13, P14</i>
Décomposition basée sur les fonction d'affaires		
<i>SS1</i>	Etude demande prêts	<i>P1, P2,</i>
<i>SS2</i>	Octrois prêts	<i>P3, P5, P6, P7</i>
<i>SS3</i>	Garanties prêts	<i>P8</i>
<i>SS4</i>	Déblocage prêts	<i>P9, P10, P13</i>
<i>SS5</i>	Remboursement prêts	<i>P4, P11, P12, P14</i>
Décomposition basée sur le temps		
<i>SS1</i>	Etude demande prêts	<i>P1, P2</i>
<i>SS2</i>	Octrois prêts	<i>P3, P5</i>
<i>SS3</i>	Validation prêts	<i>P6, P7</i>
<i>SS4</i>	Garanties prêts	<i>P8, P9, P10</i>
<i>SS5</i>	Remboursement prêts	<i>P11, P12, P13, P14</i>

Table 6.4 Primitives du système de portefeuille

<i>No</i>	Désignation primitive
<i>P1</i>	Ouvrir compte client
<i>P2</i>	base de données clients
<i>P3</i>	Modifier infos clients
<i>P4</i>	Consulter infos clients
<i>P5</i>	Produire rapport évaluation portefeuille
<i>P6</i>	Base données portefeuille
<i>P7</i>	Consulter portefeuille client
<i>P8</i>	Retirer un objet du portefeuille
<i>P9</i>	Déposer un objet au portefeuille
<i>P10</i>	Calculer prélèvement commissions
<i>P11</i>	Saisie et évaluation ordres clients
<i>P12</i>	Fichier ordres reçus
<i>P13</i>	Exécuter ordres clients
<i>P14</i>	Mise à jour portefeuille
<i>P15</i>	Fichier ordres exécutées
<i>P16</i>	Fichier mouvements
<i>P17</i>	Mise à jour fichier mouvements
<i>P18</i>	Produire avis opération
<i>P19</i>	Saisie titres
<i>P20</i>	Base données titres
<i>P21</i>	Mise à jour titres
<i>P22</i>	Produire rapports bilans mensuels
<i>P23</i>	Réception revenus titres
<i>P24</i>	Reconstitution portefeuille
<i>P25</i>	Versement revenus
<i>P26</i>	Produire relevés mensuels
<i>P27</i>	Produire rapport commissions

- **Descriptions des changements**

L'ensemble de changements comprend 15 changements. Sa description est donnée dans la table 6.5 qui décrit le type de changement et les primitives affectées par chaque changement.

Table 6.5 Ensemble de changements du système portefeuille

No	Désignation	No Primitives affectées
<i>Ch1</i>	ajout des nouvelles informations client à saisir	1, 2, 3, 4
<i>Ch2</i>	Modification longueur d'un champ du dépôt clients	1, 2, 3, 4, 5, 7, 11, 22, 26, 27
<i>Ch3</i>	Ajout des nouvelles informations au dépôt titres	5, 11, 19, 20, 21, 22
<i>Ch4</i>	Changer le format des mouvements	8, 9, 16, 17, 26, 27
<i>Ch5</i>	Ajout d'information dans portefeuille	5, 6, 7, 8, 9, 11, 22, 25
<i>Ch6</i>	Changement de plate-forme des terminaux	1, 3, 4, 7, 8, 9, 11, 19, 21, 23
<i>Ch7</i>	Changement interface de saisie cote titres	19
<i>Ch8</i>	Ajout d'un nouveau type d'objet au portefeuille	5, 6, 7, 8, 9, 14, 24
<i>Ch9</i>	Modification du relevé mensuel	26
<i>Ch10</i>	Modification format d'impression du bilan mensuel	22
<i>Ch11</i>	Ajout d'un nouveau type de transaction aux ordres du client	6, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17
<i>Ch12</i>	Changement format rapport évaluation portefeuille	5
<i>Ch13</i>	Changement du mode de calcul de commission	10, 18, 27
<i>Ch14</i>	Améliorer le temps d'exécution des ordres	6, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 18
<i>Ch15</i>	Augmenter la fréquence de saisie des titres	20, 21

- **Description des 5 décompositions**

La table 6.6 décrit les différentes décompositions du système de gestion de portefeuille:

Table 6.6 Décompositions de SI portefeuille

No ss-s	Description sous-système	Primitives composantes
Décomposition basée sur la structure administrative		
SS1	Service clients	<i>P1, P2, P3, P4, P11, P12</i>
SS2	Service titres	<i>P19, P20, P21, P23, P24, P25, P27</i>
SS3	Service portefeuille	<i>P5, P6, P7, P8, P9, P10, P13, P14, P15, P16, P17, P18, P22, P26</i>
Décomposition basée sur le comportement		
SS1	Ouverture comptes clients	<i>P1, P2, P4</i>
SS2	Mise à jour comptes clients	<i>P3</i>
SS3	Ordres clients	<i>P10, P11, P12, P13, P14, P15, P16, P17, P18, P26</i>
SS4	Titres clients	<i>P19, P20, P22</i>
SS5	Mise à jour titres	<i>P21</i>
SS6	Revenus clients	<i>P23, P24, P25, P27</i>
SS7	Dépôt client	<i>P6, P7, P9</i>
SS8	Rétrait portefeuille	<i>P5, P8</i>
Décomposition basée sur les données		
SS1	Données compte	<i>P1, P2, P3, P4</i>
SS2	Données portefeuille	<i>P5, P6, P7, P8, P9, P22</i>
SS3	Données titres	<i>P19, P20, P21</i>
SS4	Données revenus	<i>P23, P24, P25, P27</i>
SS5	Données ordres clients	<i>P11, P12, P13, P14, P15, P16, P17, P26</i>
SS6	Données commission	<i>P10, P18</i>
Décomposition basée sur les fonction d'affaires		
SS1	Ouverture de comptes	<i>P1, P2, P3, P4</i>
SS2	Gestion portefeuille	<i>P5, P6, P7, P8, P9, P14, P22</i>
SS3	Traitement ordres clients	<i>P11, P12, P13, P15</i>
SS4	Traitement titres	<i>P19, P20, P21, P23, P24, P25</i>
SS5	traitement commissions	<i>P10, P16, P17, P18, P26, P27</i>
Décomposition basée sur le temps		
SS1	Ouverture de comptes	<i>P1, P2, P3, P4</i>
SS2	Portefeuille clients	<i>P5, P6, P7, P8, P9</i>
SS3	Ordres clients	<i>P10, P11, P12, P13, P14, P15, P16, P17, P18</i>
SS4	Titres clients	<i>P19, P20, P21</i>
SS5	Revenus clients	<i>P23, P24, P25, P27</i>
SS6	Rapports mensuels	<i>P5, P22, P26</i>

6.4.4 Système de gestion de trésorerie

• Description du système

Pour des buts d'expérimentation, la spécification de ce système nous a été donnée par une grande banque. Il est composé de 47 primitives décrites dans la table 6.7. Il comprend les virements, le calcul des prêts, la gestion de trésorerie et le traitement des transactions sur les comptes courants des clients et des compagnies (une description plus détaillée se trouve dans l'Annexe A, section A.3.1). Le modèle général est donnée dans la figure 6.8.

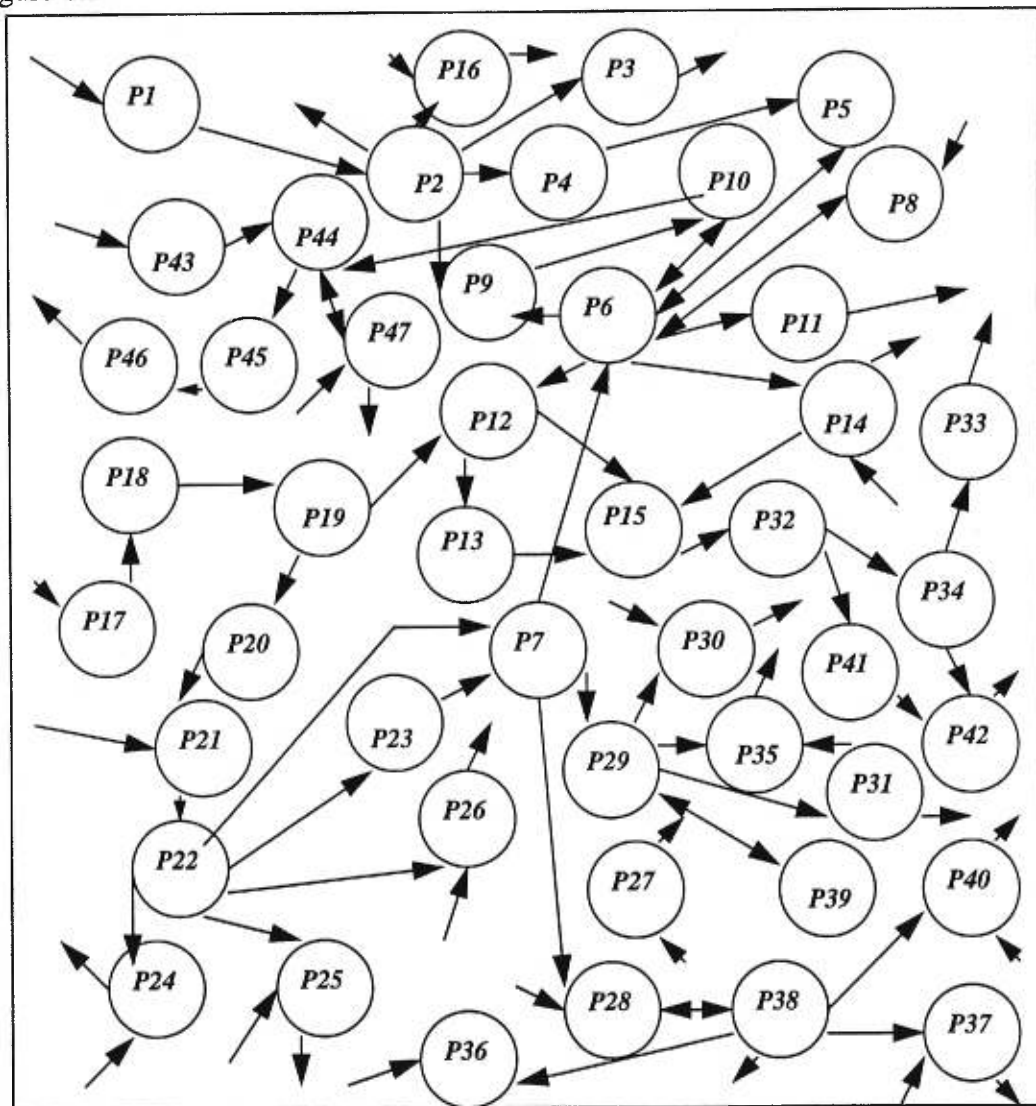


Figure 6.8 Modèle du système de gestion de trésorerie

Table 6.7 Primitives du système de trésorerie

<i>No</i>	Désignation primitive	<i>No</i>	Désignation primitive
<i>P1</i>	Saisie transactions prêt	<i>P25</i>	Interrogation trans. chèques
<i>P2</i>	Dépôt transactions prêt	<i>P26</i>	Interrogation trans. de nuit C/C
<i>P3</i>	Imprimer rapport transactions prêts	<i>P27</i>	Mise à jour compte individu
<i>P4</i>	Calcul intérêts sur prêts	<i>P28</i>	Mise à jour compte compagnie
<i>P5</i>	Mise à jour soldes et informations prêts	<i>P29</i>	Base des données comptes courants
<i>P6</i>	Fichier maitre Gestion de Trésorerie (G.T.)	<i>P30</i>	Interrogation historiques des transactions C/C
<i>P7</i>	Mise à jour transactions et soldes des comptes courants (C/C)	<i>P31</i>	Interrogation liste des comptes
<i>P8</i>	Mise à jour inform. fichier (G.T.)	<i>P32</i>	Mise à jour virement
<i>P9</i>	Sélection transactions prêts (G.T.)	<i>P33</i>	Confirmation virement
<i>P10</i>	Mise à jour transactions prêts	<i>P34</i>	Base des données des virements
<i>P11</i>	Production des rapports G.T.	<i>P35</i>	Interrogation tableau soldes d'un C/C
<i>P12</i>	Sélection transactions jour c/c G.T.	<i>P36</i>	Interrogation liste des bureaux n'ayant pas déposé
<i>P13</i>	Mise à jour transactions du jour C/C	<i>P37</i>	Interrogation des consolidations.
<i>P14</i>	Demande virements	<i>P38</i>	Base des données compagnie
<i>P15</i>	Transformer virements et contrôle de traitements	<i>P39</i>	Mise à jour autorisations compte
<i>P16</i>	Interrogation transactions quotidiennes des prêts	<i>P40</i>	Interrogation historique compagnie
<i>P17</i>	Copie journal transactions interactives	<i>P41</i>	Base des données historique virements
<i>P18</i>	Dépôt transactions interactives	<i>P42</i>	Impression virements
<i>P19</i>	Extraire les transactions des C/C	<i>P43</i>	Mise à jour d'un compte prêt
<i>P20</i>	Sélection transactions chèques et C/C	<i>P44</i>	Base des données des prêts
<i>P21</i>	Saisie transactions inter-systèmes	<i>P45</i>	Historique mouvements des prêts
<i>P22</i>	Dépôt transactions C/C	<i>P46</i>	Impression rapport prêt
<i>P23</i>	Sélection transactions nuit G.T	<i>P47</i>	Mise à jour autorisation prêt
<i>P24</i>	Interrogation transactions quotidiennes dépôt		

- **Description des changements:** L' ensemble des changements comprend 37 changements. Sa description est donnée dans les tables 6.8 et 6.9 qui décrivent le type de changement et les primitives affectées par chaque changement.

Table 6.8 Ensemble des changements du SI trésorerie

No	Désignation	No primitives affectées
Ch1	Ajout d'autres champs au format du numéro de compte	6, 7, 11, 12, 13, 14, 15, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42
Ch2	Modification fichier maitre G.T	5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13,14
Ch3	Ajout d'autres champs au numéro prêt	1, 2, 3, 4, 5, 6, 8, 9, 10, 43, 44, 45, 46, 47
Ch4	Conversion du type de fichier maitre C/C en un fichier VSAM	5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14
Ch5	Modifier partie virement retrait compte G.T	6, 14, 15, 32, 33, 34, 41, 42
Ch6	Modification du format du fichier transactions du compte courant	6, 7, 12, 13, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 24, 25, 26
Ch7	Changement de plate-formes des terminaux	1, 14, 16, 17, 18, 21, 27, 28, 33
Ch8	Ajouter le numéro d'institution aux comptes	6, 7, 11, 12, 13, 14, 15, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41,42.
Ch9	Enlever le code d'activité de la base compagnie.	28, 37, 38, 39
Ch10	Changer le format enregistrements des transactions	7, 12, 13, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26
Ch11	Ajout d'autres garanties	6, 8, 11
Ch12	Ajout d'un nouveau type de compte courant client	29, 31, 35, 39, 40
Ch13	Ajout d'un nouveau type de prêt	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 9, 10, 11, 16, 43, 44, 45, 46, 47
Ch14	Ajout d'un nouveau type d'autorisations sur le C/C	29, 38, 39
Ch15	Ajout d'un nouveau type de rapport	6, 11
Ch16	Ajout de nouveaux types de transactions de prêt	1, 2, 3, 4, 6, 9, 10, 16, 44, 45, 46
Ch17	Rendre indépendant la fonction extraction / mise à jour de la fonction traitement des virements	13, 14, 15, 32
Ch18	Ajouter le champs nombre de jours pour historique virements	32, 34, 41, 42
Ch19	Ajout d'un nouveau type de compte prêt	1, 2, 3, 4, 5, 6, 8, 9, 10, 43, 44, 45, 46, 47
Ch20	Ajout d'un nouveau type d'autorisation prêt	44, 47

Table 6.9 (Suite) Ensemble de changements du SI trésorerie

No	Désignation	No primitives affectées
<i>Ch21</i>	Changement de formule de calcul de taux d'intérêt	4
<i>Ch22</i>	Ajout nouveau type de compte à consolider	28, 37, 38
<i>Ch23</i>	Changement code restriction pour le virement	6, 14, 15, 32, 33, 34, 41, 42,
<i>Ch24</i>	Changement de type de virement pour le compte	6, 13, 14, 15, 32, 33, 34, 41, 42
<i>Ch25</i>	Ajout d'un nouveau code à C/C indiquant c'est un compte G.T	6, 7, 11, 12, 13, 14,15, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42
<i>Ch26</i>	Modification des transactions sur le compte courant indiquant que le compte peut tomber à découvert.	6, 7, 13, 14, 15, 21, 22, 23, 24, 25, 29, 32, 35, 34, 37, 38, 39,40, 41
<i>Ch27</i>	Copie des transactions contenant les 2 codes: le code G.T. et le code découvert	7, 12, 13, 17, 18, 19, 21, 22, 23, 24, 25, 26
<i>Ch28</i>	Modifier la clé des comptes dans la base compte courant	27, 29, 39
<i>Ch29</i>	Changement dans la fréquence de temps pour transmettre les informations des prêts à G.T.	6, 9, 10
<i>Ch30</i>	Changement dans la fréquence de temps pour transmettre les informations des comptes courants	6, 12, 13, 19
<i>Ch31</i>	Améliorer l'ensemble des processus de transfert des données entre l'épargne et G.T.	6, 12, 13, 19
<i>Ch32</i>	Améliorer le délai de traitement des demandes de virements en provenance de G.T.	6, 13, 14, 15
<i>Ch33</i>	Synchroniser Epargne et G.T.	6, 14, 15
<i>Ch34</i>	Augmenter le temps d'extraction des transactions appartenant aux comptes G.T.	9, 12, 23
<i>Ch35</i>	Améliorer le délai de traitement d'un virement et de la mise à jour du statut monétaire des comptes dans G.T.	6, 13, 14, 15, 32, 33, 34, 41, 42
<i>Ch36</i>	Traiter immédiatement les transactions rattachées aux demandes de virements	14, 15, 32, 33, 34, 41, 42
<i>Ch37</i>	Installer un lien direct entre le sous-système G.T. et l'épargne pour traiter les virements	12, 13, 14, 15, 19

- **Description des 5 décompositions:** La table 6.10 décrit les décompositions du système de trésorerie.

Table 6.10 Décompositions du système de trésorerie.

N-ss	Description sous-système	Primitives composantes
Décomposition basée sur la structure administrative		
SS1	Service prêts	P1, P2, P3, P4, P16, P43, P44, P45, P46, P47
SS2	Service épargne	P17, P18, P19, P20
SS3	Service virements	P14, P15, P32, P33, P34, P41, P42
SS4	service comptes courants	P21, P22, P24, P25, P26, P27, P28, P29, P30, P31, P35, P36, P37, P38, P39, P40
SS5	Service trésorerie	P5, P6, P7, P8, P9, P10, P11, P12, P13, P23
Décomposition : basée sur le comportement		
SS1	Ouverture comptes prêts	P43, P44, P45, P46, P47
SS2	Transactions interactives	P12, P13, P17, P18, P19, P20
SS3	Transactions inter-systèmes	P7, P21, P22, P24, P25, P26, P27
SS4	Ouverture comptes courants	P29, P30, P31, P35
SS5	Ouverture cptes compagnie	P28, P36, P37, P38, P39, P40
SS6	Demande virements	P14, P15, P32, P33, P34, P41, P42
SS7	Rapports trésorerie	P6, P8, P11
SS8	Transactions prêts	P1, P2, P3, P4, P5, P9, P10, P16
Décomposition basée sur les données		
SS1	Données prêts	P1, P2, P3, P4, P16, P43, P44, P45, P46, P47
SS2	Données comptes courants	P17, P18, P20, P21, P22, P24, P25, P26, P27, P29, P30, P31, P35
SS3	Données virements	P14, P15, P32, P33, P34, P41, P42
SS4	Données C/C G.T	P6, P7, P11, P12, P13, P19, P23
SS5	Données comptes prêts G.T	P5, P8, P9, P10
SS6	Données compte compagnie	P28, P36, P37, P38, P39, P40
Décomposition basée sur les fonction d'affaires		
SS1	Gérer transactions prêts	P1, P2, P3, P4, P5, P9, P10, P16, P43, P44, P45, P46, P47
SS2	Gérer comptes courants	P12, P13, P17, P18, P19, P20, P21, P22, P24, P25, P26
SS3	Gérer mise à jour comptes	P7, P27, P28, P29, P31, P38
SS4	Gérer virements	P14, P15, P32, P32, P33, P34, P41, P42
SS5	Gérer autorisations	P30, P35, P36, P37, P39, P40
SS6	Produire rapports G.T	P6, P8, P11
Décomposition basée sur le temps		
SS1	Comptes prêts	P1, P2, P3, P4, P5, P9, P10, P16, P43, P44, P45, P46, P47
SS2	Transactions G.T	P6, P7, P12, P13, P22, P23
SS3	Transactions interactives	P17, P18, P19, P20
SS4	Transactions C/C interactive	P21, P24, P25, P26
SS5	Comptes compagnie	P28, P36, P37, P38, P39, P40
SS6	Ouverture compte C/C	P27, P29, P30, P31, P35
SS7	Comptes virements	P14, P15, P32, P33, P34, P41, P42
SS8	Production rapports	P8, P11

6.5 Démarche d'expérimentation

Pour avoir une classification des différents critères de décomposition, nous expérimentons les décompositions basées sur ces critères de trois SI réels en considérant un critère externe de qualité. Pour chacun de ces systèmes, notre approche d'expérimentation est composée des cinq étapes suivantes:

Étape 1: Description du modèle général du système: Une saisie de chaque SI sera effectuée et décrite sous forme des primitives.

Étape 2: Décomposition du système en sous-systèmes selon les cinq critères de décomposition: Cinq décompositions seront effectuées et saisies pour chaque SI selon les cinq critères de décomposition pris en considération en décrivant pour chaque décomposition les primitives contenues dans chacun de ses sous-systèmes.

Étape 3: Description et saisie de l'ensemble des changements de chaque système: en spécifiant pour chaque changement les primitives qu'il affecte: ces primitives affectées peuvent être situées dans différents sous-systèmes, dans ce cas ces sous-systèmes sont aussi affectés par ce changement.

Étape 4: Un programme d'analyse de qualité est exécuté sur les décompositions effectuées dans l'étape 2, en considérant les sous-systèmes affectés dans l'étape 3: une analyse détaillée pour chaque type de décomposition est exécutée par le programme. La qualité est calculée pour chaque changement en appliquant une métrique de qualité externe. Ensuite la moyenne des qualités obtenues pour chaque changement est calculée pour l'ensemble des changements.

Étape 5: Analyse quantitative et évaluation des résultats obtenus dans l'étape 4: afin de classier les différents critères de décomposition, une analyse quantitative globale des résultats de qualité obtenues pour les différents critères de décomposition et une classification sont effectuées.

6.6 Analyseur de qualité de la décomposition

Le programme d'analyse de qualité calcule automatiquement la qualité totale du système pour chaque critère de décomposition. En entrée, le programme reçoit la description des décompositions selon les cinq critères, et l'ensemble de changements, ensuite il produit automatiquement deux types d'analyse:

- une analyse détaillée de chaque type de décomposition,
- une analyse générale des cinq critères de décomposition.

Les détails de chaque type d'analyse seront décrits au fur et à mesure pour chaque décomposition. Ensuite les résultats obtenus par ces deux types d'analyse sont analysés et évalués afin de pouvoir classifier les critères de décomposition.

6.7 Analyse quantitative et évaluation des résultats

Les résultats de qualité obtenus pour les différents critères de décomposition sont situés entre zéro et un, ceci nous permet d'avoir une comparaison de leurs qualités d'une façon quantitative.

Si la qualité de décomposition se rapproche de un, c'est une bonne décomposition.

Si la qualité se rapproche de zéro, c'est une mauvaise décomposition.

Les résultats obtenus permettent de classifier les différents critères et par conséquent d'avoir des propositions de poids pour les différents liens entre primitives. Le meilleur critère aura le poids le plus fort et le plus mauvais critère aura le poids le plus faible. La différence de qualité entre le meilleur critère et la qualité de n'importe quel autre critère permet d'attribuer des poids aux différents critères d'une manière objective et non d'une manière subjective. Ceci nous permettra d'avoir une classification plus objective des critères de décomposition considérés.

6.8 Résumé

Dans ce chapitre, la philosophie générale de la démarche d'attribution des poids est décrite. Cette démarche nécessite une approche de qualité complètement indépendante de celle définie dans le chapitre 5. Elle se base sur un critère externe et non un critère interne. Le critère de qualité externe considéré est la maintenabilité. Ce critère de qualité sera expérimenté sur des SI réels qui satisfont certains critères de choix. Les SI considérés, leurs ensembles de changements et leurs décompositions sont décrits. La démarche d'expérimentation à suivre est décrite. L'analyseur de qualité calcule les qualités des différentes décompositions et fournit deux types d'analyse: une analyse détaillée de chaque type de décomposition et une analyse quantitative générale des cinq critères de décomposition. Les résultats de qualités obtenues sont évalués pour classer les différents critères de décomposition.

Dans le prochain chapitre, chapitre 7, un modèle de qualité basée sur la maintenabilité est défini et une expérimentation des cinq critères de décomposition sur trois SI réels sera conduite.

Chapitre 7

Modèle externe de qualité basé sur la décomposition

7.1 Introduction

Dans le chapitre 5, une approche de qualité de la décomposition d'un SI est définie. Dans cette approche, une métrique de qualité basée sur des critères internes est définie. Cette métrique considère la nature et la force des liens entre primitives en leurs attribuant des poids. Ces poids ne sont pas connus. Pour déterminer les poids de ces liens entre primitives, une approche indépendante de qualité doit être considérée (voir chapitre 6, section 6.2.2).

L'objectif de cet approche est de trouver un moyen objectif de classifier les critères de décomposition à l'aide d'un indicateur externe de qualité. Vu l'importance de la maintenabilité pour prédire la qualité de la décomposition d'un SI [Karoui, Tagoug, Lustman, Dssouli, 1997], nous avons choisi ce critère comme indicateur externe. Un modèle d'effort basé sur la maintenabilité doit être choisi. Or la revue de la littérature sur ce genre de modèle (voir chapitre 3, section 3.3) a révélé l'absence d'un modèle adapté pour mesurer la qualité de la décomposition d'un SI.

Dans ce chapitre, un modèle de qualité de la décomposition d'un SI basée sur la maintenabilité est défini en considérant l'aptitude de la décomposition à absorber un changement et un ensemble des changements. Pour déterminer des poids, une

expérimentation utilisant la métrique de qualité externe définie sur trois SI réels est conduite. Tout en espérant qu'à partir des valeurs de qualités obtenues dans cette expérimentation des conclusions pourront être tirées pour classifier les critères de décomposition et attribuer des valeurs aux poids des différents types de liens entre primitives et calibrer la métrique unifiée de cohésion et de couplage.

Ce chapitre est organisé comme suit: dans la section 7.2, un modèle de qualité basé sur la maintenabilité est défini; dans la section 7.3, une expérimentation utilisant ce modèle de qualité est présentée et un résumé est donné dans la section 7.4.

7.2 Modèle de qualité basée sur la maintenabilité

7.2.1 Introduction

La maintenabilité est définie par l'ISO [ISO/IEC 9126] comme l'effort nécessaire pour entreprendre les modifications spécifiées. En se basant sur cette définition, nous allons définir un modèle de qualité basée sur la maintenabilité pour mesurer l'effort nécessaire pour implanter un changement et un ensemble de changements.

7.2.2 Hypothèses

Pour définir ce modèle, nous considérons les hypothèses suivantes:

Hypothèse 1: la décomposition d'un SI a une grande influence sur la maintenabilité.

En effet, Rombach [Rombach, 1990] affirme que les métriques de logiciel ont un impact sur la maintenabilité, et spécialement celles qui mesurent les interconnexions entre les composants et indique que la maintenabilité peut être prédite en utilisant des métriques de logiciel.

Hypothèse 2: Un système est facilement maintenable si un changement affecte un nombre minimum de sous-systèmes.

Les trois raisons principales données par Pages-Jones (voir chapitre 3, section 3.6)

pour que le couplage entre modules soit faible, s'appliquent à des sous-systèmes et confirment cette hypothèse. Autrement dit plus le changement est localisé, moins de sous-systèmes sont affectés moins il y a de couplage entre les sous-systèmes, meilleure est la qualité de la décomposition.

Hypothèse 3: l'effort pour implanter un changement dépend seulement du nombre de sous-systèmes affectés par le changement.

Il est clair que cette hypothèse est simplificatrice, mais nous espérons quand même qu'elle permettra de départager les différents critères de décomposition.

7.2.3 Métrique de qualité externe

Afin de préserver la vue externe de l'architecture du système telle que définie dans le modèle de SI, les changements ne sont pas définis par leur impact sur le code mais par l'énumération des primitives affectées.

Dans cette étude, la qualité est basée sur la quantité de travail demandée pour implanter le changement. La meilleure décomposition est la décomposition qui demande la plus petite quantité de travail pour implanter un ensemble de changements:

En se basant sur les hypothèses ci-dessus, nous définissons deux métriques, une métrique pour calculer la qualité d'un changement et une métrique pour calculer la qualité d'un ensemble de changements.

- **Qualité d'un changement**

La métrique de qualité est intitulée $Qualite_{i,j}$, prédit la qualité d'un changement donné i pour une décomposition particulière j est donnée par la formule suivante:

$$\boxed{Qualite_{i,j} = 1 - \frac{K_i - 1}{N_j - 1}} \quad \text{Formule (3)}$$

avec:

K_i = le nombre des sous-systèmes affectés par le changement i ;

N_j = le nombre total des sous-systèmes obtenus par la décomposition particulière j .

Cette métrique est comprise entre 0 et 1: Dans le meilleur des cas, un seul sous-système est affecté par le changement, la métrique de qualité $Qualite_{i,j}$ donne comme valeur 1. Dans les plus mauvais cas, tous les sous-systèmes sont affectés donc $K_i = N_j$ et la métrique donne comme valeur 0.

- **Qualité d'un ensemble de changements**

La métrique de qualité intitulée $Qualite_{ens}$, prédit la qualité d'un ensemble de changements pour une décomposition particulière j est donnée par la formule suivante:

$$Qualite_{ens} = \frac{\sum_{i=1}^{(n)} Qualite_{i,j}}{n} \quad \text{Formule (4)}$$

avec:

n = est le nombre des changements dans l'ensemble.

Cette métrique est aussi comprise entre 0 et 1: Si les n changements ont une qualité égale à 1, la qualité totale est égale à 1. Si les n changements ont une qualité nulle, la qualité totale de la décomposition $Qualite_{ens}$ est égale à 0.

7.3 Expérimentation 1

7.3.1 Introduction

Pour déterminer quel(s) critère(s) conduisent à une bonne décomposition et définir des poids aux liens, nous allons expérimenter les cinq critères choisis sur les trois SI réels considérés et décrits dans le chapitre 6.

Dans la prochaine section, nous décrivons le programme d'analyse de qualité et les résultats expérimentaux. Ensuite, nous procédons à une analyse quantitative et évaluation des résultats d'une façon détaillée par SI et d'une façon globale pour les 3 SI.

7.3.2 Analyseur de qualité du modèle basé sur la décomposition

L'analyseur de qualité est un programme Pascal de 3822 lignes, Il produit deux types d'analyse:

- Une analyse détaillée de chaque type de décomposition, qui comprend:
 - la qualité pour chaque changement i (Formule (3));
 - la qualité totale pour l'ensemble de changements (Formule (4));
 - le nombre et le pourcentage des sous-systèmes affectés.
- Une analyse générale des cinq critères de décomposition qui comprend:
 - la qualité totale de chaque type de décomposition dans un ordre descendant.

Les trois SI sont décomposés selon les cinq critères de décomposition (voir tables 6.3, 6.6 et 6.10 du chapitre 6). Les résultats obtenus pour les trois SI seront donnés et discutés dans les prochains sections.

7.3.3 Résultats expérimentaux par SI

- **Système de gestion de prêts bancaires**

La table 7.1 décrit l'analyse détaillée de la meilleure décomposition, celle basée sur les données, à titre d'exemple. L'analyse détaillée des autres décompositions est décrite dans l'Annexe B (section B.1). Dans la table 7.1, un "1" dans la case correspondante à un sous-système/changement veut dire que le changement affecte ce sous-système; un "0" dans la même case veut dire que le sous-système correspondant n'est pas affecté par le changement. La qualité par changement (formule 3) est donnée dans la colonne intitulée "Qualité". La qualité totale de la décomposition pour l'ensemble de changements (formule 4) est donnée à la fin de la table.

Table 7.1 Décomposition SI prêts bancaires basée sur les données

SI Prêts bancaires: Décomposition basée sur les données						
<i>No Changement</i>	<i>SS1</i>	<i>SS2</i>	<i>SS3</i>	<i>SS4</i>	<i>SS5</i>	<i>Qualité</i>
<i>Ch1</i>	1	1	1	1	1	0
<i>Ch2</i>	1	1	1	1	1	0
<i>Ch3</i>	0	1	1	1	1	0.25
<i>Ch4</i>	0	1	1	1	1	0.25
<i>Ch5</i>	0	1	1	1	1	0.25
<i>Ch6</i>	0	1	1	1	1	0.25
<i>Ch7</i>	0	1	1	0	0	0.75
<i>Ch8</i>	0	1	0	0	0	1
<i>Ch9</i>	0	0	0	1	0	1
<i>Ch10</i>	1	1	1	1	1	0
<i>Ch11</i>	0	0	0	0	1	1
<i>Ch12</i>	0	1	0	0	0	1
<i>Ch13</i>	0	1	1	0	0	0.75
<i>Ch14</i>	0	0	0	1	0	1
<i>Ch15</i>	0	1	0	0	1	0,75
<i>Ch16</i>	0	1	0	1	1	0.50
<i>Ch17</i>	0	1	0	0	0	1
<i>Ch18</i>	0	1	0	0	0	1
<i>Nombre des primitives affectées</i>						108
<i>Nombre des sous-systèmes affectés</i>					47	52%
<i>Nombre maximum des sous-systèmes l'ensemble peut affecter</i>					90	100%
<i>Qualité totale de la décomposition</i>						0.60

- **Analyse quantitative de la décomposition basée sur les données:** (table 7.1):

Dans la décomposition basée sur les données, les qualités par changement sont relativement distribuées entre 0 et 1: (0, 0.25, 0.5, 0.75, 1).

La table 7.2 décrit les résultats globaux de cinq critères de décomposition dans l'ordre descendant. La colonne "Qualité totale" correspond à la qualité de la décomposition.

Table 7.2 Résultats de qualité de SI prêts bancaires

Critère	Qualité totale	Sous-systèmes obtenus
Données	0.60	5
Fonctions d'affaires	0.57	5
Structure organisationnelle	0.57	5
Temps	0.51	5
Comportement	0.50	5

- **Analyse quantitative détaillée et évaluation du SI prêts:** (table 7.2):
 - Dans le SI des prêts bancaires: la meilleure décomposition est celle basée sur les données. La plus mauvaise décomposition est basée sur le comportement.
 - Les résultats de qualité ne sont pas assez ventilés (0.60 - 0.50):
 - la différence entre 0.57 et 0.60 n'est probablement pas significative,
 - la différence entre 0.51 et 0.50 n'est certainement pas significative.
 - Il y a deux groupements de décomposition (0.57, 0.60) et (0.50 et 0.51).

Compte tenu de cela, nous allons essayer une approche de regroupement pour regrouper dans un même groupe deux ou plusieurs critères de décomposition en définissant la règle de regroupement suivante:

- **Règle de regroupement:**

on regroupe deux ou plusieurs critères dans un même groupe si la distance séparant les critères d'un même groupe est plus petite que la distance séparant un de ces critères de n'importe quel autre critère situé dans un autre groupe.

- **Système de gestion de portefeuille**

Dans cette section, nous présentons seulement les résultats globaux obtenus pour les cinq critères de décomposition dans la table 7.3. L'analyse détaillée des cinq décompositions est décrite dans l'Annexe B (section B.2).

Table 7.3 Résultats de qualité de SI de portefeuille

Critère	Qualité totale	Sous-systèmes obtenus
Données	0.72	6
Fonctions d'affaires	0.72	5
Temps	0.71	6
Comportement	0.70	8
Structure organisationnelle	0.57	3

- **Analyse quantitative détaillée et évaluation du SI portefeuille:** (table 7.3):

- Dans le SI de portefeuille, la meilleure décomposition est la décomposition basée sur les données et la plus mauvaise décomposition est celle basée sur la structure organisationnelle.

- il y'a deux groupements de décompositions (0.72, 0.71, 0.70) et (0.57):

- les 4 décompositions correspondantes à (0.72-0.70) sont relativement bonnes (correspond à 40 % de sous-systèmes modifiés en moyenne par changement).

- la décomposition correspondante à (0.57) n'est pas très bonne puisqu'elle correspond à une moyenne de 60 % des sous-systèmes modifiés par un changement.

- **Système de gestion de trésorerie**

L'analyse détaillée des cinq décompositions est décrite dans l'Annexe B (section B.3). La table 7.4 décrit les résultats globaux de qualité de SI trésorerie.

Table 7.4 Résultats de qualité de SI trésorerie

Critère	Qualité totale	Sous-systèmes obtenus
Données	0.76	6
Comportement	0.75	8
Temps	0.75	8
Structure organisationnelle	0.75	6
Fonctions d'affaires	0.70	6

- **Analyse quantitative détaillée et évaluation du SI trésorerie:** (table 7.4):

- Dans le SI de trésorerie, la décomposition basée sur les données est aussi la meilleure décomposition et la plus mauvaise décomposition est celle basée sur les fonctions d'affaires.

- les valeurs de qualité de différentes décompositions sont trop rapprochées: La différence entre la meilleure décomposition et la plus mauvaise décomposition n'est pas élevée (6%);

- les décompositions sont situées dans deux groupes: le premier groupe est constitué des critères suivants données, comportement, temps et structure organisationnelle; le deuxième groupe comprend le critère fonctions d'affaires.

7.3.4 Résultats globaux de trois systèmes

Nous résumons les résultats obtenus dans les tables précédentes dans la table 7.5

Table 7.5 Résultats globaux de trois systèmes

Système	Critère	Données	Temps	Fonctions d'affaires	Comportement	Structure organis.
Prêts bancaires		0.60	0.51	0.57	0.50	0.57
Portefeuille		0.72	0.71	0.72	0.70	0.57
Trésorerie		0.76	0.75	0.70	0.75	0.75
	Moyenne	0.69	0.59	0.66	0.65	0.62

- **Analyse quantitative globale et évaluation des 3 SI:** (table 7.5):

Nous avons les résultats globaux suivants:

- Le critère données est toujours le meilleur critère dans les trois SI expérimentés.
- On note l'existence des groupes de qualités dans toutes les décompositions.
- Il y a un faible écart entre la moyenne de la meilleure décomposition et la plus mauvaise décomposition (0.07).
- L'expérimentation ne permet pas de départager les critères de décomposition et d'estimer des poids pour les différents liens entre primitives.

7.4 Résumé

Dans ce chapitre, pour déterminer des poids pour les différents liens entre primitives, une approche indépendante de qualité basée sur la maintenabilité est définie. Deux métriques basées sur ce critère sont définies: une métrique de qualité pour un changement et une autre pour un ensemble de changements. Une expérimentation sur trois SI réels est conduite. Cette expérimentation n'est pas concluante pour estimer des poids pour les deux raisons suivantes:

- les écarts entre les qualités de différentes décompositions sont très faibles et ne permettent pas d'attribuer des poids aux différents liens entre primitives;
- le modèle est grossier et il faut espérer qu'un modèle d'effort plus raffiné, modélisant plus précisément l'effort de maintenance, permettra d'augmenter l'écart entre les qualités des décompositions, départager les critères de décomposition et de déterminer des poids pour les liens entre primitives.

Un résultat intéressant est que la décomposition basée sur les données est toujours la meilleure dans les trois SI considérés.

L'échantillon des trois SI n'est pas statistiquement suffisant pour affirmer des conclusions, mais notre but est surtout de trouver une indication du meilleur et du plus

mauvais critère de décomposition pour départager les critères de décomposition. Nous pensons avoir déjà une indication sur le meilleur critère de décomposition qui est le critère données. Il reste à départager les quatre autres critères et estimer des poids pour les liens entre primitives.

Dans le prochain chapitre, chapitre 8, nous allons raffiner le modèle de qualité défini dans ce chapitre et faire une deuxième expérimentation pour estimer les poids.

Chapitre 8

Modèle externe de qualité prenant en compte les tests de régression

8.1 Introduction

Le modèle d'effort décrit dans le chapitre 7 n'a pas permis de départager les critères de décomposition et déterminer les poids des différents liens entre primitives. Parmi les cinq critères de décomposition expérimentés, seulement le critère données s'est distingué en se classant dans la première position dans les trois SI réels. Les quatre autres critères étaient difficiles à classer et plus de travail est exigé pour mieux les discriminer. Pour départager les critères de décomposition restants et proposer des poids aux liens entre primitives, nous avons besoin d'un modèle d'effort plus raffiné que celui défini dans le chapitre 7.

Les modèles d'effort vus au chapitre 3 (voir section 3.3):

- ne peuvent être utilisés au niveau de la décomposition car ils exigent la disponibilité d'informations sur le code tels que le nombre des lignes corrigées dans un module;
- ne considèrent l'effort de maintenance qu'au niveau du module à l'exception dans une certaine mesure du modèle de Basili et al [Basili, Briand, Steven, Kim, Melo, Valett, 1996].

Dans ce chapitre, nous allons raffiner le modèle d'effort du chapitre 7 et proposer un modèle d'effort à deux niveaux, le niveau primitive qui correspond au niveau module des

modèles du chapitre 3, et le niveau sous-système, ce qui est un raffinement du terme constant trouvé par Basili et al. Nous prenons en compte:

- au niveau primitive: l'effort nécessaire pour modifier et tester unitairement les primitives affectées dans une décomposition; et
- au niveau sous-système: les tests d'intégration et de régression des primitives dans leurs sous-systèmes respectifs.

Nous sommes conscients que le modèle reste une approximation car les tests d'intégration des sous-systèmes entre eux ne sont pas considérés mais notre objectif n'est pas d'avoir une formule parfaite mais suffisamment raffiné pour départager les critères de décomposition.

Ce chapitre est organisé comme suit: dans la section 8.2, le modèle d'effort raffiné est défini; dans la section 8.3, une deuxième expérimentation est conduite. Dans la section 8.4, des poids des liens entre primitives sont proposés; et un résumé est donné dans la section 8.5.

8.2 Modèle d'effort raffiné d'une décomposition

Nous définissons le modèle suivant pour décrire l'effort nécessaire pour implanter un changement et un ensemble de changements dans une décomposition d'un SI.

- **Métriques d'effort**

Etant donné une décomposition d'un SI à modifier, l'effort nécessaire pour implanter un changement dépend principalement des activités de maintenance suivantes:

- **Activité 1:** analyse, inventaire et isolation des composants affectés par le changement: l'effort dépensé pour analyser le système et faire l'inventaire des primitives qu'il faut modifier.

- **Activité 2:** conception, implantation et tests unitaires des changements: l'effort dépensé pour reconcevoir le système en prenant en compte les changements nécessaires pour chaque sous-système, modifier ses primitives et les tester unitairement.
- **Activité 3:** tests d'intégration et tests de régression: l'effort dépensé pour intégrer les composants entre eux et conduire les tests de régression des composants affectés pour s'assurer qu'il n'y a pas introduction des nouvelles erreurs.

Dans les modèles d'effort vus dans le chapitre 3, aucun ne prend en compte l'effort du à l'activité 1 (analyse, inventaire). Nous supposons que cet effort est indépendant du type de décomposition. Pour l'objectif de cette recherche qui est de discriminer les critères de décomposition, nous pouvons ne pas en tenir en compte.

Par hypothèse, nous condirérons que l'effort total nécessaire pour implanter un changement dans une décomposition est dépendant surtout des efforts dépensés dans la deuxième et la troisième activités.

Soit $Effort_{ch}$ l'effort total nécessaire pour implanter un changement ch . Il est défini par la formule suivante (Formule (5)):

$$Effort_{ch} = Effort_{modif} + Effort_{intreg} \quad \text{Formule (5)}$$

Où:

$Effort_{modif}$ = est l'effort nécessaire de modifier et tester unitairement chaque primitive affectée par le changement ch ; et

$Effort_{intreg}$ = est l'effort nécessaire pour intégrer et conduire les tests de régression des primitives affectées dans leurs sous-systèmes respectifs.

Cette formule ne prend pas en compte de l'effort des tests d'intégration entre sous-systèmes.

L'effort $Effort_{modif}$ est donné par la formule suivante:

$$Effort_{modif} = \sum_{Pi \in \text{primitives changées}} E(Pi) \quad \text{Formule (6)}$$

Où $E(Pi)$ = Effort pour corriger et tester unitairement la primitive Pi .

Pressman [Pressman, 1997] propose qu'on limite la taille de la suite de tests qu'il faut tester aux principales fonctionnalités. Nous interprétons cela comme étant proportionnel au nombre des primitives dans un système et nous supposons que l'effort $Effort_{integ}$, l'effort nécessaire pour intégrer les primitives et conduire les tests de régression dans leurs sous-systèmes respectifs est proportionnel au nombre des primitives existantes dans le même sous-système.

L'effort $Effort_{integ}$ est alors donné par la formule suivante:

$$Effort_{integ} = \sum_{SSj \in \text{sous-systèmes affectés}} a|SSj| \quad \text{Formule (7)}$$

Où: a est le coefficient de proportionnalité,

$|SSj|$ est la taille du sous-système SSj affecté, c'est à dire le nombre total des primitives dans ce sous-système SSj .

Le modèle d'effort résultant est le suivant:

- Pour un changement ch , l'effort $Effort_{ch}$ est donnée par la formule (8) suivante:

$$Effort_{ch} = \sum_{Pi \in \text{primitives changées}} E(Pi) + \sum_{SSj \in \text{sous-systèmes affectés}} a|SSj| \quad (8)$$

- Pour un ensemble de changements, l'effort $effort_{ens}$ pour implanter des changements dans une décomposition est donné par la formule (9):

$$Effort_{ens} = \sum_{ch=1}^{(n)} Effort_{ch} \quad \text{Formule (9)}$$

Où n = est le nombre total des changements.

8.3 Modèle de qualité d'une décomposition

8.3.1 Introduction

Pour évaluer la qualité de la décomposition d'un SI, nous voulons une métrique qui tienne compte d'une certaine réalité: étant donnée un changement, il y a un effort minimum à faire et il existe au moins une décomposition qui minimise l'effort de changement [Tagoug, Lustman, 1997].

La décomposition qui minimise l'effort de changement sera appelée la décomposition idéale par rapport à ce changement.

La décomposition qui maximise l'effort de changement sera appelée la plus mauvaise décomposition par rapport à ce changement.

8.3.2 Décomposition idéale par rapport à un changement

Etant donné un changement à implanter, il y a un effort minimum pour l'implanter. Le premier terme de la formule (8) est indépendant de type de décomposition car il est le même quelque soit le critère de décomposition considéré, alors que le deuxième terme en dépend car il implique la taille des sous-systèmes affectés.

Par conséquent, l'effort minimal dépend seulement du deuxième terme de la formule (8). La meilleure décomposition est celle qui minimise le deuxième terme. Or ce

deuxième terme ne peut être inférieur à ar , où r est égal au nombre total des primitives affectées par le changement.

Pour un changement affectant r primitives: une borne inférieure de l'effort de modification est donc obtenue en supposant que le deuxième terme est égal à ar .

• **Définition:**

On appelle décomposition idéale par rapport à un changement, celle qui a l'effort des tests d'intégration et de régression des primitives dans leurs sous-systèmes respectifs, égaux à ar .

En remplaçant dans la formule (8), le deuxième terme par ar , l'effort $IdEffort_{ch}$ pour implanter le changement dans la décomposition idéale est donnée par la formule suivante:

$$IdEffort_{ch} = \sum_{Pi \in \text{primitives changées}} E(Pi) + ar \quad \text{Formule (10)}$$

8.3.3 Plus mauvaise décomposition par rapport à un changement

Dans la formule (8), le premier terme est indépendant de la décomposition. Le deuxième terme sera maximal quand il sera égal à $a|S|$, où $|S|$ est égale à la taille du système, est égale au nombre total des primitives du système.

En effet chaque primitive (affectée ou pas) ne figure que dans un seul sous-système et n'est donc comptée qu'une seule fois. Le deuxième terme est maximal si toutes les primitives du système sont comptées car dans ce cas tous les sous-systèmes sont affectés.

- **Définition:**

On appelle la plus mauvaise décomposition par rapport à un changement, celle qui a l'effort des tests d'intégration et de régression des primitives dans leurs sous-systèmes respectifs égal à $a|S|$.

Dans la formule (8), si tous les sous-systèmes sont affectés, l'effort pour implanter la plus mauvaise décomposition $MEffort_{ch}$ par rapport à un changement est donné par la formule suivante:

$$MEffort_{ch} = \sum_{P_i \in \text{primitives changées}} E(P_i) + a|S| \quad \text{Formule (11)}$$

Où $|S|$ = le cardinal de S : est le nombre total des primitives du système S .

8.3.4 Métriques de qualité

Pour des buts de comparaisons, il a été considéré pratique que les métriques soient comprises entre 0 et 1. La décomposition idéale doit avoir une qualité égale à 1, alors que la plus mauvaise décomposition doit avoir une qualité de 0.

- **Qualité pour un changement :**

La qualité de la décomposition par rapport à un changement ($qualite_{ch}$) est donné par la formule (12):

$$qualite_{ch} = 1 - \frac{Effort_{ch} - IdEffort_{ch}}{MEffort_{ch} - IdEffort_{ch}} \quad (12)$$

- Si l'effort dépensé ($Effort_{ch}$) est égal à l'effort de la décomposition idéale ($IdEffort_{ch}$), dans ce cas $Effort_{ch} = IdEffort_{ch}$, ce terme ($Effort_{ch} - IdEffort_{ch}$) = 0, le rapport est égal à zéro et la qualité est égale à 1.

- Si l'effort dépensé ($Effort_{ch}$) est égal à l'effort de la plus mauvaise décomposition ($MdEffort_{ch}$), dans ce cas $Effort_{ch} = MEffort_{ch}$, alors le rapport dans la formule (12) est égal à 1 et la qualité donne zéro comme résultat.

En remplaçant tous les termes de la formule (12) par leurs expressions détaillées définies dans les formules (8), (10) et (11), et après simplifications, nous avons la formule suivante pour la qualité d'une décomposition ($Qualite_{ch}$) pour un changement:

$$Qualite_{ch} = 1 - \frac{\sum_{SSj \in \text{sous-systèmes affectés}} |SSj| - r}{|S| - r}$$

Formule (13)

Où:

r : nombre des primitives affectées par le changement;

$|SSj|$: taille du sous-système SSj affecté par le changement;

$|S|$: taille du système S .

- **Remarque:**

Il est intéressant de remarquer que la métrique de qualité obtenue est indépendante du coefficient de proportionnalité a , défini précédemment et de l'effort de modification d'une primitive, dont les valeurs étaient inconnues.

- **Domaine d'application de la formule:**

La formule (13) conduit à un résultat absurde si on met une primitive par sous-système. Dans le chapitre 4, (voir section 4.5.5) nous avons exclu ce type de décomposition car c'est un cas limite irréaliste pour des SI réels.

- **Qualité pour un ensemble de changements:**

Pour calculer la qualité de la décomposition par rapport à un ensemble de changements ($Qualite_{ens}$), nous considérons la moyenne des qualités de l'ensemble de changements dans la formule suivante:

$$Qualite_{ens} = \frac{\sum_{ch=1}^{(n)} Qualite_{ch}}{n} \quad \text{Formule (14)}$$

Où: n = le nombre des changements.

8.4 Expérimentation 2

8.4.1 Introduction

Pour déterminer les poids des liens des primitives, nous expérimentons les métriques définies dans ce chapitre sur les mêmes SI, les mêmes ensembles de changements et les mêmes décompositions de l'expérimentation conduite dans le chapitre 7.

8.4.2 Analyseur de qualité du modèle raffiné

Ce programme est le même programme de la première expérimentation, dans lequel on a modifié les formules de calcul. Il reçoit en entrée la description des décompositions selon les cinq critères de décomposition et la description d'un ensemble de changements en décrivant pour chaque changement les primitives affectées. Ensuite, le programme produit deux types d'analyse:

- Analyse détaillée de chaque type de décomposition qui comprend:
 - la qualité pour chaque changement (Formule (13));
 - le nombre des primitives affectées;
 - le nombre des sous-systèmes affectés et le pourcentage de leur affectation;

- le nombre maximum des sous-systèmes que l'ensemble peut affecter;
- la qualité totale pour l'ensemble des changements (Formule (14)).
- Une analyse générale des cinq critères de décomposition qui comprend:
 - une classification des critères de décomposition selon leurs qualités;
 - la qualité totale de la décomposition;
 - le nombre des sous-systèmes obtenus;
 - le nombre et le pourcentage des sous-systèmes affectés.

8.4.3 Résultats expérimentaux par SI

- **Système des prêts bancaires:**

L'analyse détaillée pour la décomposition basée sur les données est décrite dans la table 8.1, les autres décompositions sont décrites dans l'Annexe C (section C.1).

- **Analyse quantitative de la décomposition basée sur les données:** (table 8.1):

- Dans le système des prêts bancaires, les résultats de qualité obtenus pour chaque changement dans la décomposition basée sur les données diffèrent de ceux obtenus dans l'expérimentation du chapitre 7 parce que dans le modèle raffiné tient compte de la taille des sous-systèmes affectés.

- La qualité totale de la décomposition est seulement de 1% différente de celle obtenue précédemment.

Table 8.1 Décomposition SI prêts basée sur les données

SI Prêts bancaires : Décomposition basée sur les données						
<i>No Changement</i>	<i>SS1</i>	<i>SS2</i>	<i>SS3</i>	<i>SS4</i>	<i>SS5</i>	<i>Qualité</i>
<i>Ch1</i>	1	1	1	1	1	0
<i>Ch2</i>	1	1	1	1	1	0
<i>Ch3</i>	0	1	1	1	1	0.67
<i>Ch4</i>	0	1	1	1	1	0.67
<i>Ch5</i>	0	1	1	1	1	0.67
<i>Ch6</i>	0	1	1	1	1	0.50
<i>Ch7</i>	0	1	1	0	0	0.80
<i>Ch8</i>	0	1	0	0	0	0.69
<i>Ch9</i>	0	0	0	1	0	0.92
<i>Ch10</i>	1	1	1	1	1	0
<i>Ch11</i>	0	0	0	0	1	0.77
<i>Ch12</i>	0	1	0	0	0	0.75
<i>Ch13</i>	0	1	1	0	0	0.73
<i>Ch14</i>	0	0	0	1	0	1
<i>Ch15</i>	0	1	0	0	1	0,56
<i>Ch16</i>	0	1	0	1	1	0.30
<i>Ch17</i>	0	1	0	0	0	0.82
<i>Ch18</i>	0	1	0	0	0	0.75
<i>Nombre des primitives affectées</i>						108
<i>Nombre des sous-systèmes affectés</i>					47	52%
<i>Nombre maximum des sous-systèmes que l' ensemble de changements peut affecter</i>					90	100%
<i>Qualité totale de la décomposition</i>						0.59

La table 8.2 résume les résultats obtenus pour les cinq critères de décomposition:

Table 8.2 Résultats de qualité de SI prêts

Critère	Qualité	Sous-systèmes obtenus	Sous-systèmes affectés	Pourcentage d'affectation
Données	0.60	5	47	52%
Fonctions affaires	0.58	5	49	54%
Structure organis.	0.58	5	49	54%
Temps	0.57	5	53	59%
Comportement	0.39	5	54	60%

- **Analyse quantitative détaillée et évaluation du SI prêts:** (table 8.2):

- Dans le SI des prêts bancaires: la meilleure décomposition est celle basée sur les données, la plus mauvaise décomposition est celle basée sur le comportement.

- Les résultats de qualités sont assez ventillés que précédemment (0.60 - 0.39): la différence est assez significative.

- En suivant la règle de regroupement définie dans le chapitre 7 (section 7.3.3), la table 8.2 montre deux groupes de qualité: le premier groupe est constitué des décompositions basées sur les données, sur les fonctions d'affaires, sur la structure organisationnelle et sur le temps. Le deuxième groupe comprend la décomposition basée sur le comportement. Il y a cette fois-ci un écart important entre les deux groupes.

- **Système de gestion de portefeuille**

Dans cette section. nous présentons seulement les résultats globaux obtenus pour les cinq critères de décomposition dans la table 8.3. L'analyse détaillée des cinq décompositions est décrite dans l'Annexe C (section C.2).

Table 8.3 Résultats globaux de qualité de SI portefeuille

Critère	Qualité	Sous-systèmes obtenus	Sous-systèmes affectés	Pourcentage d'affectation
Temps	0.65	5	37	41%
Fonctions d'affaires	0.65	6	32	43%
Données	0.63	6	36	40%
Comportement	0.61	8	46	38%
Structure organisationnelle	0.37	3	28	62%

- **Analyse quantitative détaillée et évaluation du SI portefeuille:** (table 8.3):
 - Dans le SI portefeuille: la meilleure décomposition est celle basée sur le temps, la plus mauvaise décomposition est celle basée sur la structure organisationnelle.
 - Il y a deux groupes de décomposition: le premier est constitué des décompositions basées sur le temps, les fonctions d'affaires, les données et le comportement. Le deuxième groupe comprend la décomposition basée sur la structure organisationnelle.
 - La différence de qualité entre les deux groupes est élevée (environ 26%).
- **Système de gestion de trésorerie**

L'analyse détaillée des cinq décompositions est décrite dans l'Annexe C (section C3). La table 8.4 décrit les résultats globaux de qualité de SI trésorerie.

Table 8.4 Résultats de qualité de cinq critères de SI trésorerie

Critère	Qualité	Sous-systèmes obtenus	Sous-systèmes affectés	Pourcentage d'affectation
Comportement	0.83	8	102	34%
Données	0.81	6	81	36%
Temps	0.81	8	101	34%
Fonctions d'affaires	0.75	6	93	42%
Structure organisationnelle	0.73	5	74	40%

- **Analyse quantitative détaillée et évaluation du SI trésorerie:** (table 8.4):
 - Dans le SI trésorerie: la meilleure décomposition est celle basée sur le comportement, la plus mauvaise décomposition est celle basée sur la structure organisationnelle.
 - On constate aussi l'existence des deux groupes: le premier comprend les décompositions basées sur le comportement, les données, et le temps. Le deuxième groupe comprend les décompositions basées sur les fonctions d'affaires et la structure organisationnelle.
 - Par contre, à la différence des deux SI précédents, l'écart entre les deux groupes est resté faible (moins de 10%) mais cependant supérieur à celui obtenu lors de la première expérimentation.

8.4.4 Résultats globaux

La table 8.5 donne les résultats globaux de cinq critères de décomposition obtenus pour les 3 SI:

Table 8.5 Résultats globaux de trois systèmes

Systeme	Données	Temps	Fonctions d'affaires	Comportement	Structure organisa.
Prêts bancaires	0.59	0.57	0.58	0.39	0.58
Portefeuille	0.63	0.65	0.65	0.61	0.37
Trésorerie	0.81	0.81	0.75	0.83	0.73
Moyenne	0.68	0.68	0.66	0.61	0.56

- **Analyse quantitative globale et évaluation des 3 SI:** (table 8.5):

A partir de cette table (8.5), nous déduisons les résultats suivants:

 - On a des groupes au niveau de chaque système et au niveau des moyennes.
 - En considérant les groupes par système et les groupes de la moyenne, nous pouvons conclure:
 - Les critères de décomposition données et temps sont les meilleurs critères de décomposition.

- Le critère de décomposition structure organisationnelle est le plus mauvais critère.

Les deux résultats précédents sont relativement surs car les moyennes entre les deux groupes sont assez distantes (0.12).

- Les critères comportement et fonctions d'affaires sont des critères moyens.

8.5 Comparaison des deux expérimentations

L'expérimentation du modèle raffiné a été réalisée car l'expérimentation du modèle défini dans le chapitre 7 n'a pu discriminer les différents critères de décomposition. Nous allons comparer les deux expérimentations afin de voir si l'écart entre les différents critères dans la deuxième expérimentation est plus important et permet d'attribuer des poids. La table 8.6 résume les résultats globaux obtenus dans les deux expérimentations.

Table 8.6 Comparaison de deux expérimentations

	Données	Temps	Fonctions d'affaires	Comport.	Structure organisa.
	Prêts bancaires				
Expérimentation 1	0.60	0.51	0.57	0.50	0.57
Expérimentation 2	0.59	0.57	0.58	0.39	0.58
	Portefeuille				
Expérimentation 1	0.72	0.71	0.72	0.70	0.57
Expérimentation 2	0.63	0.65	0.65	0.61	0.37
	Trésorerie				
Expérimentation 1	0.76	0.75	0.70	0.75	0.75
Expérimentation 2	0.81	0.81	0.75	0.83	0.73
	Moyennes des 3 SI				
Expérimentation 1	0.69	0.59	0.66	0.65	0.62
Expérimentation 2	0.68	0.68	0.66	0.61	0.56

- **Comparaison des deux expérimentations:** (table 8.6):

Une comparaison de ces résultats montre que:

- il y a étalement des résultats dans la deuxième expérimentation (environ 50%) car:

- Prêts: il y a 20% de différence entre la meilleure et la plus mauvaise décomposition au lieu de 10% lors de la première expérimentation.
- Portefeuille: il y a 26% de différence entre la meilleure et la plus mauvaise décomposition au lieu de 13 % lors de la première expérimentation.
- Trésorerie: il y a 10% de différence entre la meilleure et la plus mauvaise décomposition au lieu de 6% lors de la première expérimentation.
- Moyennes de 3 SI: les moyennes des valeurs de qualités (0.56 et 0.68) ne sont pas rapprochées comme celles obtenus dans l'expérimentation précédente (0.62 et 0.69).
- La deuxième expérimentation n'a pas réellement décomposé les groupes.
- Les moyennes des décompositions des deux expérimentations se classent pratiquement dans le même ordre, donc elles donnent des résultats dans le même sens.

En conclusion, la deuxième expérimentation a été utile car elle a permis:

- d'accroître les écarts entre qualités des décompositions,
- de confirmer l'ordre des décompositions,
- de confirmer l'existence des groupes,
- de confirmer que les décompositions basées sur les données et le temps sont les meilleures décompositions,
- de confirmer que la décomposition basée sur la structure organisationnelle est la plus mauvaise décomposition.

Nous considérons donc pour les fins de ce travail que les résultats de la deuxième expérimentation peuvent servir de base à une proposition de poids pour les liens entre primitives d'une décomposition.

8.6 Détermination des poids des liens entre primitives

8.6.1 Philosophie des poids

Nous voulons que le critère de décomposition qui conduit à une bonne décomposition dans l'expérimentation ait un poids plus élevé que celui attribué au critère qui conduira à une moins bonne décomposition. Ce qui permettra d'augmenter les valeurs de cohésion ou de couplage dans la métrique. Au contraire, nous attribuerons un poids faible à un critère qui conduit à une mauvaise décomposition, ce qui permettra de diminuer les valeurs de cohésion ou de couplage dans la métrique.

8.6.2 Attribution des poids

Pour attribuer des poids des liens entre les primitives, nous procéderons de la façon suivante:

- Considérer les groupes obtenus pour chaque SI et non les valeurs individuelles de qualité obtenues pour chaque critère de décomposition.
- Remplacer la vraie valeur de qualité de chacun des critères par la valeur moyenne du groupe où il fait partie.
- Prendre les valeurs de qualités obtenues dans les trois SI comme des indicateurs des poids.

Pour chaque SI, et pour chaque groupe, on attribue un poids au lien, dont la valeur est égale à la valeur moyenne des qualités du groupe multiplié par 10: ces valeurs sont résumés dans la table 8.7:

Table 8.7 Valeurs des qualités des liens de 3 SI

	Trésorerie	Portefeuille	Prêt	Moyenne	Différence
Données	8.2	6.3	5.8	6.8	
Temps	8.2	6.3	5.8	6.8	0
Fonctions d'affaires	7.4	6.3	5.8	6.5	0.3
Comportement	8.2	6.3	3.9	6.1	0.7
Structure organisa.	7.4	3.7	5.7	5.6	1.2

- **Analyse quantitative des qualités des 3 SI et indication des poids:**

A partir de la table 8.7, nous constatons que les liens de type données et temps sont toujours parmi les meilleurs, suivi en troisième position par les liens de type fonction d'affaires (0.3 de différence), suivi en quatrième position par les liens de types comportement avec une différence de 0.7 et en dernière position on trouve les liens de type structure organisationnelle avec une différence de 1.2.

L'échelle des valeurs des poids reflètera les différences entre valeurs des groupes. Nous constatons que les différences entre le meilleur groupe et un autre groupe sont des multiples de 0.3, sont résumés dans la table 8.8:

Table 8.8 Indicateurs des poids des liens entre primitives

Groupe	Composition	Différence
Meilleur groupe	Données	
	Temps	écart 0
Groupe suivant	Fonctions d'affaires	écart 0.3 X 1
Groupe suivant	Comportement	écart 0.3 X 2
Groupe suivant	Structure organisationnelle	écart 0.3 X 4

- **Proposition des poids des liens entre primitives:**

En se basant sur les différences entre moyennes de valeurs de qualités de la table 8.8, une échelle des poids de 1 à 5 est suffisante pour attribuer des poids aux différents liens entre primitives, le meilleur lien entre primitives aura un poids égale à 5 et le plus

mauvais lien aura un poids égale à 1.

Nous proposons les poids des liens entre primitives suivants (table 8.9):

Table 8.9 Proposition des poids des liens entre primitives

Lien	Poids
Données	5
Temps	5
Fonction d'affaires	4
Comportement	3
Structure organisationnelle	1

8.7 Résumé

Dans ce chapitre, nous avons raffiné le modèle d'effort défini dans le chapitre 7. Nous avons défini des métriques d'effort pour calculer l'effort nécessaire pour un changement et pour un ensemble de changements en prenant en considération les tests d'intégration et les tests de régression. Le modèle reste une approximation car les tests d'intégration des sous-systèmes entre eux ne sont pas pris en considération.

L'objectif principal de cette thèse est atteint car le modèle d'effort raffiné a permis de départager les critères de décomposition et nous a permis de proposer des poids aux différents liens entre primitives.

En effet, nous avons effectué une deuxième expérimentation basée sur le modèle raffiné a permis d'étaler les résultats de qualité de différents critères de décomposition et de les classer.

La comparaison des deux expérimentations a démontré l'efficacité du deuxième modèle. La deuxième expérimentation a confirmé les résultats de la première expérimentation: à savoir que le critère données est le meilleur et que le critère structure organisationnelle est le plus mauvais. Un autre critère s'est avéré bon, le critère temps. Les critères fonctions d'affaires et le critère comportement se situent au milieu de l'échelle.

Ces poids serviront à calibrer les métriques de qualité basées sur la cohésion et le couplage définies dans le chapitre 5. Dans le prochain chapitre, chapitre 9, nous allons valider ces métriques.

Chapitre 9

Validation des métriques de qualité basée sur la cohésion et le couplage

9.1 Introduction

La métrique unifiée de cohésion et de couplage et la métrique de qualité basée sur ces critères internes définis dans le chapitre 5 impliquent des poids pour les différents types de liens entre primitives. Dans les chapitre 7 et 8, une approche complètement indépendante de celle définie dans le chapitre 5, a permis de déterminer ces poids.

Dans ce chapitre, nous allons essayer de valider ces métriques, en les expérimentant sur un banc d'essai comprenant quatre SI, à l'aide des poids résultant de l'expérimentation 2 du chapitre 8. Tout en espérant pouvoir classer les décompositions dans le même sens que cette expérimentation.

Les métriques de qualité utilisées au chapitre 8 sont basées sur l'effort pour implanter les changements. Les résultats des expérimentations précédentes sont objectifs en ce sens que si une décomposition D1 est meilleure qu'une décomposition D2 c'est parce que l'implantation des changements dans D1 a coûté moins cher que dans D2.

Si les métriques internes de qualité du chapitre 5 donnent des résultats dans le même sens que les métriques externes de qualité définies dans le chapitre 8, nous pourrions conclure que les métriques de cohésion et de couplage sont de bons indicateurs de qualité. Ce chapitre est organisé comme suit: dans la section 9.2, un algorithme de calcul de qualité pour un SI est décrit et illustré avec la décomposition basée sur le temps, du

système de paie. Dans la section 9.3, nous validons les métriques de qualité basées sur la cohésion et le couplage. Dans la section 9.4, nous ferons une synthèse générale des résultats. Un résumé est donné dans la section 9.5.

9.2 Algorithme de calcul des métriques

9.2.1 Rappel des métriques de cohésion, de couplage et de qualité

La métrique unifiée de cohésion et de couplage $C(E)$ d'un ensemble E d'un système S , décrite dans le chapitre 5 est la suivante:

$$C(E) = \frac{\sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n W_{ij}}{W_{max} * (n*(n-1)/2)}$$

Formule (1)

Où:

W_{ij}	poids des liens entre les primitives P_i et P_j .
W_{max}	maximum de (W_{ij}) dans le système S , égale au poids W_{ij} du lien le plus fort entre deux primitives dans le système S .
$n = E $	nombre de primitives à l'intérieur de E .
$(n*(n-1)/2)$	nombre maximum des liens qui peut exister dans E .

La formule de qualité $Q(D(S))$ d'une décomposition $D(S)$ est la suivante:

$$Q(D(S)) = \frac{\left(\sum_{i=1}^K Cohesion_i \right) - Couplage}{K}$$

Formule (2)

Où $Cohesion_i$ = la cohésion de sous-système SS_i ;

$Couplage$ = le couplage entre les sous-systèmes;

K = le nombre total de sous-systèmes.

9.2.2 Description de l'algorithme de calcul de qualité

L'algorithme de calcul de qualité de la décomposition d'un SI comporte 8 étapes: les étapes 1 à 4 portent sur le calcul de la cohésion, les étapes 5 à 7 sont concernées par le calcul du couplage, et l'étape 8 calcule la qualité de la décomposition.

Etape 1: Modéliser globalement le système, en décrivant ses primitives constituantes et les liens physiques connectant ces primitives. Le résultat de cet étape est un graphe représentant le modèle général de SI.

Etape 2: Décrire les décompositions du système selon les cinq critères de décomposition suivants: données, fonctions d'affaires, temps, structure organisationnelle et comportement.

Etape 3: Déterminer W_{\max} , le poids W_{ij} du lien le plus fort entre deux primitives P_i et P_j dans le système.

Etape 4: Calculer la cohésion de chaque sous-système en appliquant la formule (1).

Etape 5: Refaire le modèle d'une décomposition du système sous forme d'un graphe dans lequel les noeuds représentent les sous-systèmes et les arcs représentent les liens non internes à un sous-système.

Etape 6: Déterminer le poids le plus élevé de W_{ij} entre les sous-systèmes SS_i et SS_j dans la décomposition. Si cette valeur est plus petite que celle obtenue à l'étape 3, cette dernière est retenue sinon la nouvelle valeur sera considérée comme le poids maximum.

Etape 7: Calculer le couplage du système en appliquant la formule (1).

Etape 8: Calculer la qualité totale du système en appliquant la formule (2).

9.3 Validation des métriques basées sur la cohésion et le couplage

9.3.1 Introduction

Le calcul de qualité de la décomposition sera effectué sur quatre SI: sur le même banc d'essai comprenant les 3 SI réels des chapitres précédents et sur le SI de paye qui n'a pas été utilisé pour déterminer les poids des liens entre primitives.

Nous comparerons les résultats obtenus avec ces métriques avec les résultats obtenus dans l'expérimentation 2 du chapitre 8.

9.3.2 Analyseur de qualité du modèle basé sur la cohésion et le couplage

Le programme calcule automatiquement la qualité de la décomposition. Il s'agit du même programme que celui utilisé dans les deux autres expérimentations, en supprimant l'ensemble de changements et en changeant les formules de calcul de qualité. Il reçoit en entrée les décompositions du SI selon les cinq critères de décomposition et la description du système, en décrivant les liens physiques entre les différentes primitives. Il produit deux types d'analyse:

- Analyse détaillée de chaque type de décomposition comprenant:
 - la liste des liens physiques et conceptuels et leurs numéros
 - la primitive d'origine et la primitive de destination
 - le sous-système origine et le sous-système destination
 - le type de lien
 - la cohésion de chaque sous-système
 - le lien entre les deux primitives ayant le poids maximum de la cohésion du système.
- la cohésion totale du système
- la cohésion moyenne des sous-systèmes

- le lien entre les deux sous-systèmes avec le poids maximum du couplage du système
- le couplage total entre les sous-systèmes
- le couplage moyen entre deux sous-systèmes
- la qualité de la décomposition
- Une analyse générale des cinq critères de décomposition qui comprend:
 - la classification de chaque critère de décomposition
 - le nombre des sous-systèmes obtenus
 - la cohésion totale
 - la cohésion moyenne
 - le couplage total
 - la qualité de la décomposition.

9.3.3 Résultats expérimentaux par SI

- **Système de gestion de prêts bancaires**

La table 9.1 donne l'analyse détaillée de la meilleure décomposition, la décomposition basée sur les données pour le système de gestion des prêts.

L'analyse détaillée des autres décompositions est donnée dans l'Annexe D (section D.1). Nous donnons une description pour les différents types liens dans l'Annexe D (section D.2) seulement pour ce système à titre d'exemple. Nous avons simplifié car la liste des liens pour les 3 autres SI est assez longue.

- **Analyse quantitative et évaluation de la décomposition basée sur les données:**

La décomposition basée sur les données a produit le meilleur résultat car la cohésion moyenne est élevée (0.82) et le couplage moyen est très faible (0.02). Une analyse des différentes cohésions de chaque sous-système montre que les sous-systèmes *SSI* et

SS3 ont une forte cohésion, la valeur maximum 1, alors que le sous-système SS2 a la plus faible cohésion (0.58). Le couplage le plus élevé est entre SS2 et SS5 a la valeur 50.

Table 9.1 SI Prêts: analyse détaillée de la décomposition basée sur les données

<i>SI prêts bancaires: analyse détaillée de la décomposition basée sur les données</i>					
<i>Sous-système</i>	<i>SS1</i>	<i>SS2</i>	<i>SS3</i>	<i>SS4</i>	<i>SS5</i>
<i>Cohésion</i>	1	0.58	1	0.78	0.75
<i>Poids maximum de la cohésion est entre P1 et P2</i>					23
<i>Cohésion totale du système</i>					4.11
<i>Cohésion moyenne des sous-systèmes</i>					0.82
<i>Couplage entre sous-systèmes</i>			<i>SS1 et SS2</i>	29	
			<i>SS2 et SS3</i>	5	
			<i>SS2 et SS4</i>	10	
			<i>SS2 et SS5</i>	50	
			<i>SS3 et SS4</i>	10	
			<i>SS4 et SS5</i>	15	
<i>Poids maximum du couplage entre SS2 et SS5</i>					50
<i>Couplage total entre les sous-systèmes</i>					0.24
<i>Couplage moyen entre les sous-systèmes</i>					0.02

L'analyse générale des cinq critères de décomposition est décrite dans la table 9.2:

Table 9.2 SI prêts: résultats de qualité de 5 critères

Critère	S-systèm. obtenus	Cohésion totale	Cohésion moyenne	Couplage	Couplage moyen	Qualité
Données	5	4.11	0.82	0.24	0.02	0.77
Comportement	5	3.93	0.79	0.27	0.03	0.73
Structure org.	5	3.80	0.76	0.29	0.03	0.70
Fonc. d'affaire	5	3.80	0.76	0.29	0.03	0.70
Temps	5	3.66	0.73	0.30	0.03	0.67

- **Analyse quantitative et évaluation du SI prêts** (table 9.2):

- la dispersion des valeurs des qualités entre les différentes décompositions est assez faible;

- En appliquant la règle de regroupement définie dans le chapitre 7 (voir section 7.3.3), les résultats de qualité sont en 4 groupes:

- Le premier groupe comporte la décomposition basée sur les données,

- le deuxième groupe est composé de la décomposition basée sur le comportement,

- le troisième groupe comporte la décomposition basée sur la structure organisationnelle et les fonctions d'affaires, et

- le quatrième groupe comporte la décomposition basée sur le temps.

- **Comparaison et validation des résultats de SI prêts**

Afin de valider les résultats de SI prêts obtenus dans ce chapitre, nous les comparons avec les résultats produits pour le même SI dans l'expérimentation 2 du chapitre 8:

- le critère données est toujours le meilleur critère dans les deux expérimentations;

- les critères fonctions d'affaires et structure organisationnelle sont aussi dans le groupe des bonnes décompositions;

- deux critères changent de position: le critère comportement est parmi le groupe des bonnes décompositions alors que le critère temps ne fait plus partie de ce groupe.

- **Système de gestion de portefeuille**

Dans cette section, nous présentons seulement les résultats globaux obtenus pour les cinq critères de décomposition dans la table 9.3. L'analyse détaillée des cinq décompositions est décrite dans l'Annexe D (voir section D.3).

Table 9.3 SI portefeuille: résultats de qualité de 5 critères

Critère	S-syst. obtenus	Cohésion totale	Cohésion moyenne	Couplage	Couplage moyen	Qualité
Comportement	6	5.92	0.74	0.19	0.01	0.72
Données	6	4.35	0.73	0.16	0.01	0.70
Temps	8	3.96	0.66	0.25	0.02	0.62
Fonc. affaires	3	2.96	0.59	0.24	0.02	0.54
Structure org.	5	1.11	0.37	0.42	0.14	0.23

- **Analyse quantitative et évaluation du SI portefeuille** (table 9.3):

Les résultats de la table 9.3 montrent l'existence de trois groupes:

- le premier comporte les décompositions basées sur le comportement et les données;
- le deuxième est composé des décompositions basées sur le temps et les fonctions d'affaires;
- le troisième comporte la décomposition basée sur la structure organisationnelle.
- Il y a une grande différence de qualité entre la meilleure décomposition et la plus mauvaise décomposition (de 0.49).

- **Comparaison et validation des résultats de SI portefeuille**

Une comparaison avec les résultats de l'expérimentation 2 montre qu'il y a deux résultats semblables:

- les critères données et comportement sont toujours dans le groupe des bonnes décompositions;
- le critère structure administrative est toujours dans le groupe des mauvaises décompositions.
- Les critères temps et fonction d'affaires sont des critères moyens.

- **Système de gestion de trésorerie**

De la même façon que le SI portefeuille, dans cette section, nous présentons seulement les résultats globaux obtenus pour les cinq critères de décomposition dans la table 9.4. L'analyse détaillée des cinq décompositions est décrite dans l'Annexe D (section D.4).

Table 9.4 SI trésorerie: résultats de qualité de 5 critères

Critère	S-systèm. obtenus	Cohésion totale	Cohésion moyenne	Couplage	Couplage moyen	Qualité
Comportement	6	4.76	0.59	0.10	0.00	0.58
Temps	8	4.73	0.59	0.24	0.01	0.56
Données	8	3.21	0.53	0.17	0.01	0.51
Fonc. d'affaire	5	2.96	0.49	0.21	0.01	0.46
Structure org.	6	2.52	0.50	0.26	0.03	0.45

- **Analyse quantitative et évaluation du SI trésorerie (table 9.4):**

De la même façon que le SI portefeuille, Il y a aussi 3 groupes:

- le premier est composé des décompositions basées sur le comportement et le temps,
- le deuxième comporte la décomposition basée sur les données;
- le troisième comporte les décompositions basées sur les fonctions d'affaires et la structure organisationnelle

- **Comparaison et validation des résultats de SI trésorerie**

En comparant avec l'expérimentation 2, nous avons les résultats suivants:

- les données, le temps et le comportement sont toujours parmi les groupes des bonnes décompositions;
- la structure administrative est toujours un mauvais critère de décomposition;
- les fonctions d'affaires est toujours un critère moyen.

- **Système de gestion de paie**

Dans cette section, nous présentons seulement les résultats globaux obtenus pour les cinq critères de décomposition dans la table 9.5. Les résultats de l'analyse détaillée des cinq décompositions sont décrits dans l'Annexe D (voir section D.5).

Table 9.5 SI paie: résultats de qualité de 5 critères

Critère	S-systèm. obtenus	Cohésion totale	Cohésion moyenne	Couplage	Couplage moyen	Qualité
Temps	4	3.33	0.83	0.34	0.06	0.75
Données	4	3.20	0.80	0.30	0.05	0.73
Comportement	3	2.14	0.71	0.45	0.16	0.56
Structure org.	4	1.64	0.55	0.52	0.17	0.37
Fonc. d'affaire	4	1.08	0.54	0.59	0.59	0.25

- **Analyse quantitative et évaluation du SI paie** (table 9.5):

Les résultats de qualité du SI paie (table 9.5) montrent l'existence de trois groupes:

- le premier groupe est composé des décompositions basées sur les données et sur le temps,
 - le deuxième comporte la décomposition basée sur le comportement et
 - le troisième comporte les décompositions basées sur la structure administrative et les fonctions d'affaires.
- Il y a une grande différence de qualité entre la meilleure décomposition et la plus mauvaise décomposition de (0.50).

- **Comparaison et validation des résultats de SI paie**

Afin de pouvoir comparer et valider les résultats du SI paie, nous avons fait une décomposition en se basant sur le jugement d'expert. La table 9.6 résume les résultats de la décomposition du système de paie basée sur le jugement de l'expert.

Table 9.6 SI paie: décomposition basée sur le jugement d'expert

<i>SI Paie: analyse détaillée de la décomposition basée sur le jugement d'expert</i>				
<i>Sous-système</i>	<i>SS1</i>	<i>SS2</i>	<i>SS3</i>	<i>SS4</i>
<i>Cohésion</i>	0.67	0.85	0.65	1
<i>Poids maximum de la cohésion entre P6 et P9</i>				27
<i>Cohésion totale du système</i>				3.17
<i>Cohésion moyenne du système</i>				0.79
<i>Couplage entre sous-systèmes</i>			<i>SS1 et SS2</i>	6
			<i>SS1 et SS3</i>	10
			<i>SS1 et SS4</i>	37
			<i>SS2 et SS3</i>	8
			<i>SS3 et SS4</i>	64
<i>Poids maximum du couplage entre SS3 et SS4</i>				64
<i>Couplage total entre les sous-systèmes</i>				0.33
<i>Couplage moyen entre les sous-systèmes</i>				0.05
<i>Qualité de la décomposition</i>				0.71

- Une comparaison des résultats des deux meilleures décompositions, celle basée sur le temps et celle basée sur les données, avec la décomposition basée sur le jugement d'expert, montre que les valeurs de qualités des trois décompositions sont très rapprochées.

- Nous déduisons que la métrique basée sur la cohésion et le couplage donne une indication qui va dans le sens du jugement d'expert.

9.3.4 Résultats globaux

Les tables 9.7 et 9.8 donnent les résultats globaux des quatre SI:

Table 9.7 Résultats globaux des 4 SI

	Prêts		Portefeuille		Trésorerie		Paie	
Données	0.77	1	0.70	1	0.51	2	0.73	1
Temps	0.67	4	0.62	2	0.56	1	0.75	1
Comport.	0.73	2	0.72	1	0.58	1	0.56	2
Struc. org.	0.70	3	0.23	4	0.45	3	0.37	3
Fonc. d'af.	0.70	3	0.54	3	0.46	3	0.25	3

Table 9.8 Classification de cinq critères de décomposition

Système	Données	Comportement	Temps	Fonctions d'affaires	Structure organisa.
Prêts	1	2	4	3	3
Portefeuille	1	1	2	3	4
Trésorerie	2	1	1	3	3
Paie	1	2	1	3	3

- **Synthèse générale des résultats des 4 SI** (tables 9.7 et 9.8)

Pour les 4 SI, nous avons les résultats suivants:

- le critère données est parmi les meilleures critères de décomposition;
- Le critère structure organisationnelle est le plus mauvais critère de décomposition;
- Les critères comportement, temps et fonction d'affaires sont des critères moyens;

9.4 Validation des métriques de cohésion et de couplage

Les comparaisons et validations précédentes des résultats obtenus avec les métriques de cohésion et de couplage définies dans le chapitre 5, avec les poids définis dans le

chapitre 8, confirment les résultats obtenus dans les deux autres expérimentations basées sur une approche complètement indépendante de qualité basée sur la maintenabilité:

- le critère données est le meilleur critère;
- le critère structure organisationnelle est le plus mauvais critère de décomposition.
- Sur la base des quatre SI expérimentés, les métriques de cohésion et de couplage sont validés et semblent être des bons indicateurs de qualité.

9.5 Résumé

Dans ce chapitre, un algorithme de calcul des métriques de cohésion et de couplage et de qualité basée sur ces deux critères est défini. Pour valider ces métriques, nous les avons expérimentées sur quatre SI. Les résultats expérimentaux ont démontré que les métriques sont utiles pour prédire la qualité d'une décomposition d'un SI dans les premières phases de développement.

Nous avons comparé les résultats obtenus avec la métrique de qualité basée sur la cohésion et le couplage avec les résultats obtenus avec la métrique de qualité basée sur la maintenabilité. Les résultats obtenus avec ces critères internes de qualité ont confirmé les résultats obtenus avec le critère externe de qualité.

Sur la base limitée de notre échantillon de systèmes réels, nous pouvons conclure:

- les métriques de cohésion et de couplage paraissent être des bons indicateurs de qualité.

Mais ce résultat n'a pas de valeur statistique et il serait intéressant de le confirmer ou de l'infirmier avec un échantillon plus grand.

D'une façon globale et dans la majorité des décompositions expérimentées, nous avons obtenu les résultats suivants:

- Le critère de décomposition basée sur les données s'est avéré le meilleur critère de décomposition.
- Les critères de décomposition basées sur le temps, le comportement et les fonctions d'affaires sont des critères moyens.
- Le critère de décomposition basée sur la structure organisationnelle est le plus mauvais critère de décomposition.

L'algorithme de calcul des métriques de cohésion et de couplage permet en plus de diagnostiquer les bonnes et mauvaises décompositions.

Dans le prochain chapitre, chapitre 10, une conclusion est donnée, les contributions de cette thèse et les travaux futurs sont résumés.

Chapitre 10

Conclusion

10.1 Rappel de la démarche de recherche

Le travail de cette thèse était d'explorer les principaux critères de décomposition pour connaître leur influence sur la qualité de la décomposition d'un SI.

Le problème majeur était le manque de connaissances des critères de décomposition qui conduisent à une bonne ou à une mauvaise décomposition.

Nos objectifs majeurs étaient de:

- tenter de classer les cinq critères de décomposition les plus usuels quant à la qualité des décompositions qu'ils produisaient;
- proposer un moyen d'évaluer la qualité d'une décomposition d'un SI dès les premières phases de développement d'un SI, durant l'analyse et la conception.

Pour réaliser ces objectifs, la démarche suivie a consisté en cinq étapes:

- **Etape 1:** Définir un modèle général de SI indépendant d'un paradigme de programmation (procédural ou objet) et permettant de modéliser la décomposition d'un SI.
- **Etape 2:** Définir un ensemble de métriques permettant d'évaluer la qualité de la décomposition d'un SI. Ces métriques mesurent les critères internes la cohésion et le couplage des sous-systèmes et prennent en compte la force et la nature des liens entre primitives, en leur attribuant des poids.

- **Etape 3:** Pour classer les critères de décomposition, une approche de qualité complètement indépendante de celle définie dans l'étape 2 est adoptée, en définissant des métriques de qualité externes basées sur la maintenabilité.

- **Etape 4:** Des expérimentations des cinq critères de décomposition sur un banc d'essai comprenant trois SI réels sont conduites et ont permis de déterminer des poids pour les différents liens entre primitives et de calibrer les métriques de qualité internes.

- **Etape 5:** ces métriques de cohésion et de couplage sont validées sur le même banc d'essai.

10.2 Contributions de la thèse

Les trois principales contributions de la thèse sont les suivantes:

- Métriques de qualité interne et externe au niveau système.
- Classification des critères de décomposition d'un SI.
- Investigation d'une bonne ou d'une mauvaise décomposition d'un SI.

10.2.1 Métriques de qualité interne et externe.

Le modèle de qualité présenté au chapitre 5 définit deux métriques au niveau système, basées sur les critères internes de cohésion et de couplage:

- une métrique unifiée pour quantifier la cohésion d'un sous-système et le couplage entre sous-systèmes et
- une métrique pour mesurer la qualité d'une décomposition d'un SI, basée sur ces deux critères internes de qualité.

Ces métriques permettent d'évaluer la décomposition d'un SI dès les premières phases de développement d'un logiciel, durant l'analyse et la conception des SI.

- Le modèle de qualité présenté dans le chapitre 8 définit une métrique de qualité externe basée sur la maintenabilité.

- Les métriques de qualités définies dans ce modèle ont permis de classer les décompositions, ce qui nous a permis d'attribuer des poids aux différents critères de décomposition et de calibrer les métriques de qualité basées sur la cohésion et le couplage.

Ces métriques servent à quantifier n'importe quel système considéré, n'importe quelle décomposition, quels que soient les liens entre les composants. Leurs valeurs sont définies entre 0 et 1, ce qui permet de comparer les différents critères des décomposition.

10.2.2 Classification des critères de décomposition

En ce qui concerne les cinq critères de décomposition considérés: les données, les fonctions d'affaires, le comportement, la structure organisationnelle et le temps, les expérimentations ont produit les résultats suivants:

- Les qualités des critères de décomposition sont en trois groupes: groupe de bonnes décompositions, groupe de moyennes décompositions et groupe de mauvaise décompositions.

- Le meilleur critère de décomposition est le critère données: le fait de regrouper dans un même sous-système toutes les primitives qui agissent sur les mêmes données s'est avéré la meilleure façon de décomposer un SI.

- Le plus mauvais critère de décomposition est la décomposition basée sur la structure organisationnelle: le fait de regrouper dans un même sous-système toutes les primitives appartenant à la même unité administrative s'est avéré la plus mauvaise façon de décomposer.

- En ce qui concerne les autres critères de décomposition, les expériences n'ont pas donné de résultats clairs: quelques fois ces critères appartiennent au groupe des bonnes décompositions et quelques fois ils appartiennent au groupe des mauvaises décompositions.

A partir de ces résultats, nous pouvons donner la conclusion suivante: Pour n'importe quel SI, une décomposition basée sur les données donnera une bonne décom-

position et une décomposition basée sur la structure organisationnelle donnera une mauvaise décomposition.

10.2.3 Investigation et diagnostic de la décomposition

- Le quantificateur d'analyse de qualité basée sur la cohésion et le couplage s'est avéré un outil d'investigation et de diagnostic de bonne et de mauvaise décomposition.

Ce résultat est non prévu: en calculant la cohésion de chaque sous-système et le couplage entre sous-systèmes, la métrique unifiée permet de dire quel sous-système est le moins cohésif et quels sous-systèmes ont le couplage le plus fort. Ceci permet à l'analyste ou au concepteur du système de modifier la décomposition pour l'améliorer en augmentant la cohésion dans le sous-système le moins cohésif et en diminuant le couplage entre les sous-systèmes fortement couplés.

10.3 Travaux futurs

Les extensions possibles de la recherche peuvent être résumés en trois grandes catégories: un plus grand nombre des SI réels à expérimenter, la hiérarchie de la décomposition et l'adaptation des métriques au paradigme orienté objet.

10.3.1 Nombre de systèmes d'informations expérimentés

Le banc d'essai utilisé comprend trois SI réels de taille réaliste. Il nous a été difficile d'avoir un plus grand nombre des SI réels. Avec cet échantillon, nous avons pu classer deux critères de décomposition, les données et la structure organisationnelle, il reste les trois autres critères le temps, le comportement et les fonctions d'affaires que nous avons classé au milieu de l'échelle.

Afin de discriminer ces trois critères, il faut étendre le banc d'essai à un plus grand nombre des systèmes réels.

Mais ce résultat n'a pas de valeur statistique et il serait bon de l'infirmier ou de le confirmer avec un échantillon plus grand.

10.3.2 Hiérarchie de la décomposition

Dans cette recherche, nous avons considéré un seul niveau, en décomposant un SI en sous-systèmes à partir de l'ensemble des primitives le constituant, c'est le cas la plupart du temps pour les SI de taille moyenne. Les métriques de cohésion, de couplage et de qualité sont applicables si on considère un seul niveau. Pour la modélisation d'un SI, ce problème de hiérarchie a été adressé par la méthode d'abstraction automatique d'architecture de Ajroud et Jaoua [Ajroud, Jaoua, 1996] en utilisant la décomposition rectangulaire pour créer des nouveaux objets intermédiaires à un niveau d'abstraction plus élevé pour avoir l'architecture optimale. Il faut étendre les métriques pour prendre en considération plusieurs niveaux d'abstraction et quantifier une décomposition dans une approche descendante de conception de système.

10.3.3 Adaptation des métriques au paradigme orienté-objet

Les métriques de qualité définies sont applicables au paradigme procédural. Ces métriques de qualité sont cependant assez générales pour qu'elles puissent être adaptées au paradigme orienté-objet pour regrouper des classes d'objets ensemble. D'ailleurs la métrique de cohésion d'une classe définie par Bieman et Kang [Bieman, Kang, 1996] au chapitre 3, ressemble à la métrique unifiée de cohésion et de couplage définie au chapitre 5. Si leur métrique est applicable à une classe et ne prend pas en compte la nature des liens, la métrique unifiée met en évidence les liens entre composants. D'ailleurs le modèle des liens est indépendant de la nature de ces liens Il pourrait donc être appliqué à une conception orientée objet pour définir le couplage d'un ensemble des classes.

Bibliographie

- Adler M., An Algebra for Data Flow Diagram Process Decomposition, *IEEE Transactions on Software Engineering*, SE-14, 2, pp. 169-183, 1988.
- Ajrourd B. H., Jaoua A., Automatic Architectural Abstraction, in *Information Sciences*, Elsevier Science Inc. , North Holland, New York, 1996.
- Ammari H., Arour K., Jaoua A., Ounelli H., Rectangular Decomposition: A Standard Automated Approach to Information Systems Decomposition, *Proc.16th. International Conference On Software Engineering*, Sorrento, Italy, 1994.
- Bailey J., Basili, V., A meta-model for software development resource expenditures. *Proceedings of the International Conference on Software Engineering*, pp. 107-116, 1981.
- Basili V. R., Briand L. C., Melo W. L., A Validation of Object-Oriented Design Metrics as Quality Indicators, *IEEE Transactions on Software Engineering*, 22, 10, pp. 751-761, October 1996.
- Belady L., Lehman M., An Introduction to Growth Dynamics, in *Statistical Computer Performance Evaluation* (W. Freiberger, ed.), Academic Press, pp. 503-511, 1972.
- Bieman J. M., Ott L. M., Measuring Functional Cohesion, *IEEE Transactions on Software Engineering*, 20, 8, pp. 624-657, August 1994.
- Bieman J. M., Kang B. K., Cohesion and Reuse in an Object-Oriented System, *Software Reuse Symposium*, Seattle, pp. 259-262, 1995.
- Boehm et al., *Characteristics of Software Quality*, North-Holland, New York, 1978.
- Booch G., *Object-Oriented Design with Applications*, Benjamin/Cummings, 1991.
- Bubenko, Janis A. Jr., Information System Methodologies - A Research View, in *Information Systems Design Methodologies: Improving the Practice*, edited by T.W. Olle, H.G. Sol and A.A. Verrijn-Stuart, Elsevier Science Publishers B.V. (North-Holland), c.

IFIP, pp. 289-317, 1986.

Chidamber S.R. and Kemerer C.F. , A Metrics Suite for Object-Oriented Design, *IEEE Transactions on Software Engineering*, 20, 6, pp. 476-493, June 1994.

Conrath D., A Comprehensive Approach to Modelling Office Organization and Support Technology, in *Office Information Systems: The Design Process*, Elsevier Science Publishers B. V., North-Holland, pp. 73-92, 1989.

Courtois, P. J., On Time and Space Decomposition of Complex Structures, *Communications of the ACM*, 28,6, pp. 590-604, June 1985.

DeMarco,T., *Structured Analysis and System Specification*, Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, 1979.

Dhama, H., Quantitative Models of Cohesion and Coupling in Software, *The Journal of Systems and Software*, 29, pp. 65-74, April 1995.

Fenton, N., Software Measurement: A Necessary Scientific Basis, *IEEE Transactions on Software Engineering*, SE-20, pp. 199-206, 1994.

Fenton, N., Melton, A., Deriving Structurally Based Software Measures, *The Journal of Systems and Software*, Vol 12, 2, pp. 177-186, 1990.

Gane, C., Sarson, T., *Structured Systems Analysis: Tools & Techniques*, MacDonnall Douglas, Missouri, 1989.

Halstead, M., *Elements of Software Science*, North-Holland, New York, 1977.

Hamilton, M., Zeldin,S., Higher-Order Software - A Methodology for Defining Software, *IEEE Transactions on Software Engineering*, SE-2, 1, pp. 9-32, March 1976.

Huff, S. I., *Décomposition of weighted graph using the interchange partitionning algorithm*, Center for Inform. Syst. Res., Sloan School of Management, M.I.T., Technical Report 8, March 1979.

Hsia, P., Yaung, A. T., Another Approach to Systems Decomposition: Requirements Clustering, in *Proc. COMPSAC88 Chicago, III.*, The Computer Society Press, pp. 75-82, 1988

Hsia, P., Gupta, A., Kung, C., Peng, J., Liu, S., A Study of the effect of Architecture on maintainability of object-oriented systems, *International Conference on Software Maintenance*, Nice, France, pp. 4-11, 1995.

ISO/IEC 9126 Draft International Standard, Information Technology Software Product,

Evaluation Quality Characteristics and Guidelines for internal Use, UDC 681.3.06.006.83.

Jackson, M., *Principles of Program Design*, New York, Academic Press, 1975.

Jackson, M., *System Development*, Englewood Cliffs, New Jersey, Prentice-Hall, 1983.

Jalote P., *An Integrated Approach to Software Engineering*, Springer-Verlag, New York, 1991.

Jaoua A., Ounalli H., Belkhiter N., Automatic Entity Extraction From an N-ary Relation: Towards a General Law for Information Decomposition, *Information Sciences*, Vol 87, No 1-3 pp. 153-169, 1995.

Kafura, D., Henry, S., "Software Quality Metrics Based on Interconnectivity", *The Journal of Systems and Software*, Vol. 2, 1, pp. 121-131, 1981.

Karimi, J., Konsynski, B., An Automated Software Design Assistant, *IEEE Transactions on Software Engineering*, Vol 14, SE-2, pp. 194-210, February 1988.

Karoui, K., Tagoug, N., Lustman, F., Dssouli, R., Design Metrics that Predict Maintainability, in *Proc. 8th Annual Oregon Workshop on Software Metrics*, Coeur d'Alene, Idaho, USA, May 1997.

Kung, D., Gao, J., Hsia, P., Wen, F., Toyoshima, Y., Chen, C., Change Impact Identification in Object Oriented Software Maintenance, in *Proceedings of International Conference on Software Maintenance*, 1994.

Keller, K., Shen, X., Tao, T., Lajoie, R., Ozkan, M., Environment Support for Business Reengineering: The Macrotec Approach. *Software - Concepts and Tools*, Vol 16, No 1, pp. 31-40, Springer-Verlag, 1995.

Kweku, E., Identifying Subsystems in Information System Analysis, *Information Systems*, 9, 2, pp. 184-190, 1984.

Li, W., Henry, S., Object Oriented Metrics that Predict Maintainability, *The Journal of Systems and Software*, 23, 2, pp. 111-122, 1993.

Lustman F., Décomposition des systèmes d'information: Problèmes et perspectives, document de travail # 213, Département d'informatique et de recherche opérationnelle, Université de Montréal, 1991.

Lustman F., *Managing Computer Projects*, Reston Publishing Co, Reston Virginia, (392 pages), 1985.

- Martin, J. *System Design from Provably Correct Constructs*, Englewood Cliffs, New Jersey, Prentice-Hall, 1985.
- McCabe, T., A Software Complexity Measure, *IEEE Transactions on Software Engineering*, Vol 2, SE-6, pp. 308-320, 1976.
- McCall, J. A., Cavano J. P., A framework for the Measurement of Software Quality, *ACM Software Quality Assurance Workshop*, 1978.
- Mills, H., Basili, V., Gannon, J., Hamlet, R., *Principles of Computer Programming: A mathematical Approach*, Boston, 'Allen and Bacon, 1987.
- Muller H. A., Experimental Software Engineering Should Concentrate on Software Evolution, in *Proc. of the International Workshop on Experimental Software Engineering Issues: Critical Assessment and Future Directions*, Dagstuhl Castle, Germany, Springer Verlag, pp. 125-128, 1992.
- Myers G., *Reliable Software Through Composite Design*, Mason and Lipscomb, New York, 1974.
- Myers G. J. *Composite/Structured Design*, Van Nostrand Co, New York, 1978.
- Nour M., "Evaluation des trois méthodes de décomposition de systèmes d'information", Mémoire de maîtrise, Université de Montréal, 1993.
- Offut J., Harrorld M. J., Kolte P. , A Software Metric System for Module Coupling *The Journal of Systems and Software*, 20, pp. 295-308, 1993.
- Orr K. *Structured Requirements Definition*, Topeka, Kansas: Ken Orr and Associates, 1981.
- Page-Jones M., *The Practical Guide to Structured Design*, Yourdon Press, New York, 1980.
- Paulson D., "Reasoning Tools to Support Systems Analysis and Design," Ph.D. dissert., University of British Columbia, 1989.
- Paulson D., Wand Y., An automated Approach to Information Systems Decomposition, *IEEE Transactions on Software Engineering*, 18, 3, pp. 174-189, March 1989.
- Pressman R., *Software Engineering, A Practioner's Approach*, Mc Graw Hill inc, 4ème édition, New York, 1997.
- Rolland., H.G. Sol, F.J.M. Van Assche and A.A. Verrijin-Stuart, *Information Systems Methodologies: A Framework for Understanding*, Addison-Wesley, 1988.

- Rombach H. D., Design Measurement: Some Lessons Learned, *IEEE Software*, 7, 2, pp. 17-25, 1990.
- Rolland C., Foucaut O., Benci G., *La conception des systèmes d'information, La méthode REMORA*, Eyrolles, 2ème édition, Paris, 1991.
- Rumbaugh J., Blaha M., Premerlani W., Eddy F., Lorensen W., *Object-Oriented Modeling and Design*, Prentice Hall, New Jersey, 1991.
- Simon H. A., Ando A., Aggregation of Variables in Dynamic Systems, *Econometrica*, Vol. 29, pp. 111-138, 1961.
- Schach S. R., The cohesion and coupling of objects, *Journal of Object Oriented Programming*, pp. 48-50, 1996.
- Shlaler S., Mellor S.J., *Object-Oriented Systems Analysis*, Englewood Cliffs, New Jersey: Yourdon Press, 1988.
- Tagoug N., Lustman F., A Quantitative Model of Decomposition Quality for Information Systems, Publication # 1075, Département d'informatique et de recherche opérationnelle, Université de Montréal, 1997.
- Troy D. A., Zweben S. H., Measuring the Quality of Structured Design, *The Journal of Systems and Software*, Vol. 2, pp. 113-120, 1981.
- Wand Y., Weber R., A Model of Systems Decomposition, in *Proc. 10th Int. Conf. on Inform. Syst.* (Boston), pp. 41-51, 1989.
- Wand, Y., Weber, R., An Ontological Model of an Information System, *IEEE Transactions on Software Engineering*, Vol 16, pp. 1282-1292, 1990.
- Ward, P.T., Mellor S. J., *Structured Development for Real-Time Systems*, Yourdon Press, 1985.
- Warnier J. D., *Logical Construction of Systems*, New York, Van Nostrand Reinhold, 1981.
- Winsberg, P., Richards, D., Object-Oriented Analysis: Books and Tools, *Info DB*, Spring/Summer, pp. 27-36, 1991.
- Wirth N., *Systematic Programming*, Englewood Cliffs, New Jersey: Prentice-Hall, 1973.
- Yourdon E., Constantine L., *Structured Design: Fundamentals of a Discipline of Computer Program and System Design*, NJ, Prentice-Hall, 1979.

Annexe A

Banc d'essai: Description de trois systèmes d'information réels

A.1 Système des prêts bancaires

A.1.1 Description générale du système

Le système des prêts bancaires consiste à gérer les prêts des différents clients. Il comprend les opérations suivantes: Demandes des prêts, octrois des prêts, validation et déblocage des prêts et remboursement des prêts.

- **Service demande des prêts:**

Un client qui désire obtenir un prêt, dépose une demande auprès de la banque contenant ces informations : numéro de dossier, nom, prénom, adresse, téléphone, profession, revenus, genre de prêt (personnel, hypothécaire), type de prêt (court terme, moyen terme, long terme), montant souhaité.

- **Service octroi des prêts:**

Après étude de dossier, les prêts acceptés seront octroyés aux clients. L'octroi d'un prêt consiste à:

- saisir les caractéristiques du prêt (Numéro prêt, numéro compte, genre, type, taux, montant, durée).
- imprimer les bordereaux d'octroi par genre et type de prêt.

- **Service déblocage des prêts:**

Le déblocage du montant du prêt se fait d'une façon partielle ou totale, il comporte les opérations suivantes:

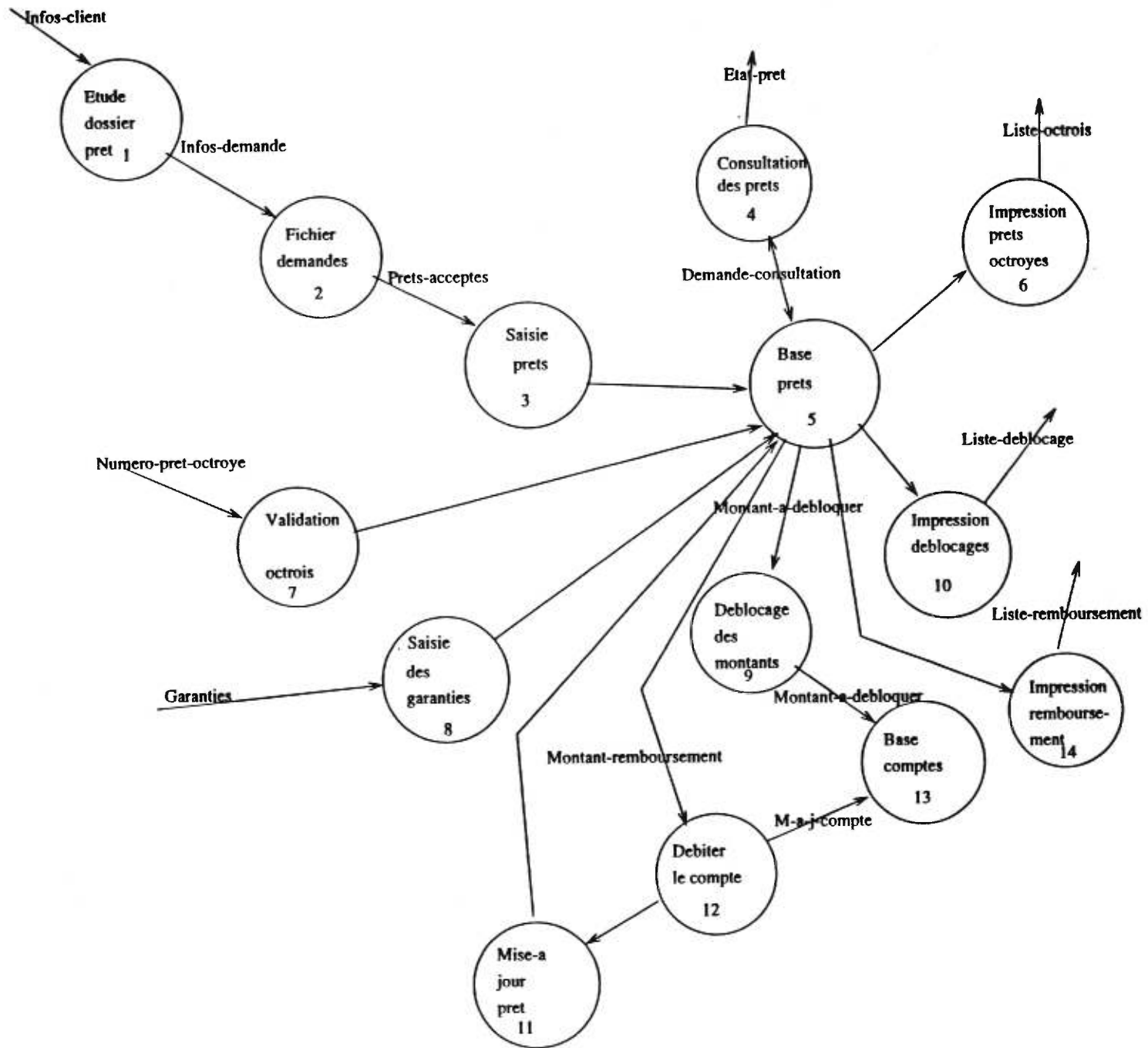
- Validation des octrois,
- Constitution des garanties,
- Impression de la liste des prêts débloqués.

- **Service remboursement des prêts:**

Le remboursement du prêt se fait mensuellement en débitant le compte client d'un montant fixe ou d'une façon anticipé en remboursant un montant partiel ou le montant total du prêt. Dans les deux cas, les opérations suivantes sont effectuées:

- débiter le compte client du montant versé
- calculer les intérêts à payer et le capital restant à payer.
- imprimer la liste des remboursements effectués.

L' état du prêt peut être consulté à tout instant par toutes les unités administratives de la banque.



A.1.2 Modèle général du système de gestion des prêts bancaires

A.1.3 Décompositions du système de prêts bancaires

Numéro sous-système	Description sous-système	Primitives composantes
Type décomposition : Structure administrative		
<i>SS1</i>	Service étude demande prêts	<i>P1, P2</i>
<i>SS2</i>	Service octrois prêts	<i>P3, P5, P6, P7</i>
<i>SS3</i>	Service garanties prêts	<i>P8</i>
<i>SS4</i>	Service déblocage prêts	<i>P9, P10, P13</i>
<i>SS5</i>	Service remboursement prêts	<i>P4, P11, P12, P14</i>
Type décomposition : Comportement		
<i>SS1</i>	Demande prêts	<i>P1, P2, P3, P4, P5, P6</i>
<i>SS2</i>	Validation prêts	<i>P7</i>
<i>SS3</i>	Garanties prêts	<i>P8</i>
<i>SS4</i>	Déblocage prêts	<i>P9, P10</i>
<i>SS5</i>	Remboursement prêts	<i>P11, P12, P13, P14</i>
Type décomposition : Données		
<i>SS1</i>	Données demande prêts	<i>P1, P2,</i>
<i>SS2</i>	Données octrois prêts	<i>P3, P4, P5, P6, P7</i>
<i>SS3</i>	Données garanties prêts	<i>P8</i>
<i>SS4</i>	Données déblocage prêts	<i>P9, P10</i>
<i>SS5</i>	Données remboursement prêts	<i>P11, P12, P13, P14</i>
Type décomposition : Fonction d'affaires		
<i>SS1</i>	Etude demande prêts	<i>P1, P2,</i>
<i>SS2</i>	Octrois prêts	<i>P3, P5, P6, P7</i>
<i>SS3</i>	Garanties prêts	<i>P8</i>
<i>SS4</i>	Déblocage prêts	<i>P9, P10, P13</i>
<i>SS5</i>	Remboursement prêts	<i>P4, P11, P12, P14</i>
Type décomposition : Temps		
<i>SS1</i>	Etude demande prêts	<i>P1, P2</i>
<i>SS2</i>	Octrois prêts	<i>P3, P5</i>
<i>SS3</i>	Validation prêts	<i>P6, P7</i>
<i>SS4</i>	Garanties prêts	<i>P8, P9, P10</i>
<i>SS5</i>	Remboursement prêts	<i>P11, P12, P13, P14</i>

A.2 Système de gestion de portefeuille

A.2.1 Description générale du système de gestion de portefeuille

Le système de gestion de portefeuille consiste à gérer le portefeuille des différents clients. Un portefeuille peut contenir de l'argent (différentes monnaies: devise et montant) et des titres identifiés par leur type (actions, obligations). Un client peut avoir dans son portefeuille une ou plusieurs devises. Il peut aussi posséder un ou plusieurs titres de types différents.

- **Service à la clientèle:**

Un client qui désire confier son portefeuille à la compagnie de fiducie rencontre un conseiller financier qui devient son interlocuteur. Ce dernier saisit les informations du client (nom, prénom, adresse, numéro de téléphone) et lui ouvre un portefeuille identifié par un numéro unique, dans lequel il dépose son argent et/ou ses titres. À tout moment, le système permet de consulter le portefeuille d'un client. Les informations personnelles des clients peuvent être mises à jour suite à la demande des clients (changement d'adresse, etc.).

Les opérations qu'un client peut effectuer sur son portefeuille sont:

- dépôt de monnaie en devises: un client peut déposer dans son portefeuille un ou plusieurs types de devises. Chaque type de devise possède un montant correspondant.
- retrait de monnaie en devises: un client peut retirer de son portefeuille un montant correspondant à un ou plusieurs types de devises.
- virement: un client peut virer de son compte un montant correspondant à un ou plusieurs devises.
- achat de titres: un client peut acheter un ou plusieurs types de titre. À chaque type de titre correspond une quantité.
- vente de titres: c'est l'opération inverse de l'achat.

Chaque fois qu'une opération est exécutée, le portefeuille est mis à jour, de plus le système garde trace des différents mouvements.

Des revenus sur titre (dividendes d'actions, intérêts d'obligations) sont versés au profit de leur détenteur. La compagnie de fiducie prélève une commission sur chaque opération.

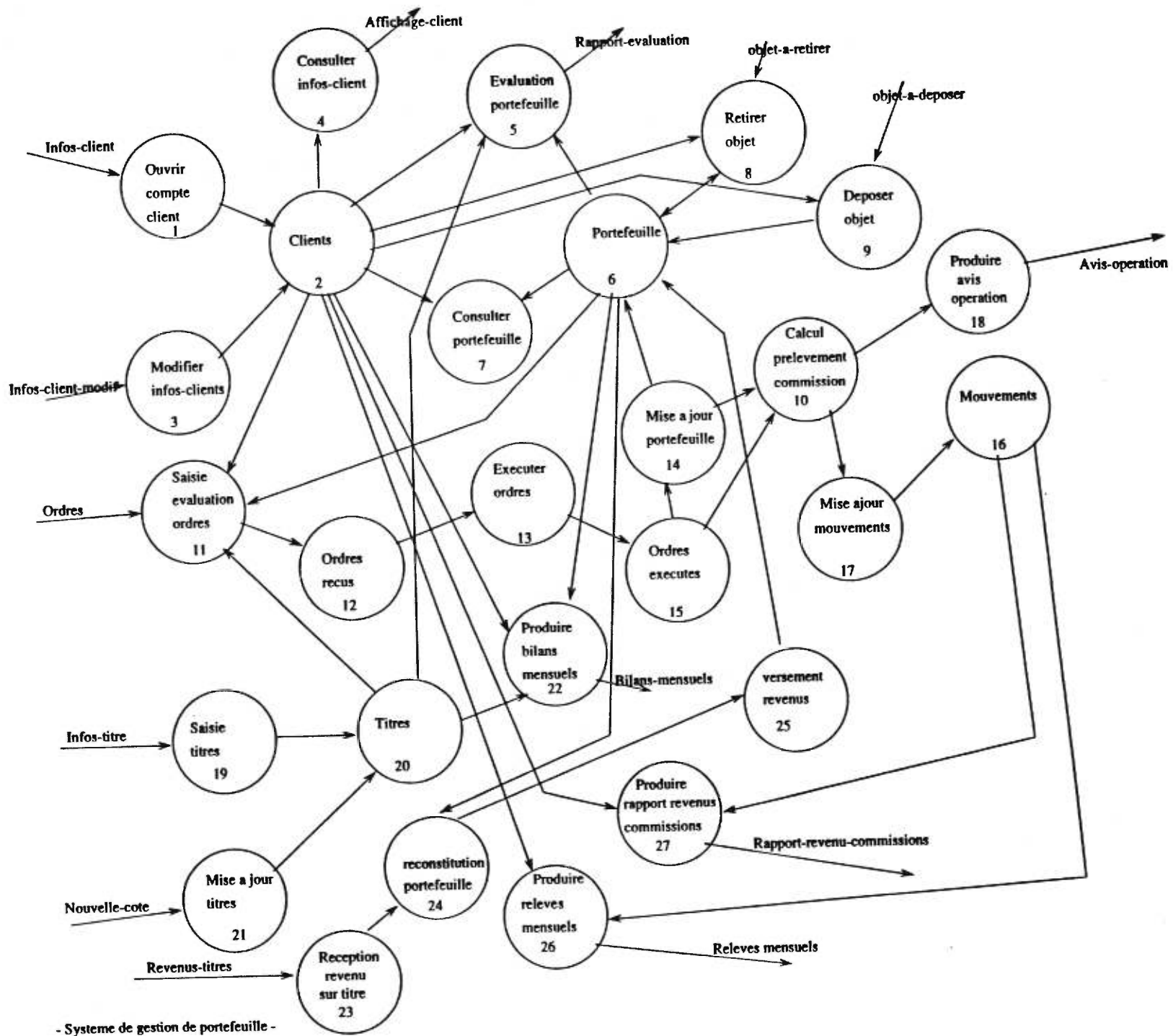
- **Service des titres:**

Le service des titres s'occupe de la saisie des titres et de la mise à jour de leurs informations (numéro, cote, nature). La cote affectée un titre est mise à jour quotidiennement.

Les gestionnaires ont besoin mensuellement des rapports suivants:

- Relevé mensuel: détaille les opérations mensuelles du client,
- Liste des revenus de commission de la compagnie de fiducie,,
- Evolution mensuelle des titres: montre l'oscillation des cotes des titres,
- Bilan mensuel: récapitule pour chaque type de titre la quantité et le montant correspondant.

A.2.2 Modèle général du système de gestion de portefeuille



- Systeme de gestion de portefeuille -

A.2.3 Décompositions du système de gestion de portefeuille

Num. sous-système	Description sous-système	Primitives composantes
Type décomposition : Structure administrative		
SS1	Service clients	P1, P2, P3, P4, P11, P12
SS2	Service titres	P19, P20, P21, P23, P24, P25, P27
SS3	Service portefeuille	P5, P6, P7, P8, P9, P10, P13, P14, P15, P16, P17, P18, P22, P26
Type décomposition : Comportement		
SS1	Ouverture compte clients	P1, P2, P4
SS2	Mise à jour compte clients	P3
SS3	Ordres clients	P10, P11, P12, P13, P14, P15, P16, P17, P18, P26
SS4	Titres clients	P19, P20, P22
SS5	Mise à jour titres	P21
SS6	Revenus clients	P23, P24, P25, P27
SS7	Dépôt client	P6, P7, P9
SS8	Rétrait portefeuille	P5, P8
Type décomposition : Données		
SS1	Données compte	P1, P2, P3, P4
SS2	Données portefeuille	P5, P6, P7, P8, P9, P22
SS3	Données titres	P19, P20, P21
SS4	Données revenus	P23, P24, P25, P27
SS5	Données ordres clients	P11, P12, P13, P14, P15, P16, P17, P26
SS6	Données commission	P10, P18
Type décomposition : Fonction d'affaires		
SS1	Ouverture de comptes	P1, P2, P3, P4
SS2	Gestion portefeuille	P5, P6, P7, P8, P9, P14, P22
SS3	Traitement ordres clients	P11, P12, P13, P15
SS4	Traitement titres	P19, P20, P21, P23, P24, P25
SS5	traitement commissions	P10, P16, P17, P18, P26, P27
Type décomposition : Temps		
SS1	Ouverture de comptes	P1, P2, P3, P4
SS2	Portefeuille clients	P5, P6, P7, P8, P9
SS3	Ordres clients	P10, P11, P12, P13, P14, P15, P16, P17, P18
SS4	Titres clients	P19, P20, P21
SS5	Revenus clients	P23, P24, P25, P27
SS6	Rapports mensuels	P5, P22, P26

A.3 Système de gestion de trésorerie

A.3.1 Description générale du système

Le système de gestion de trésorerie sert d'interface entre le client et la banque. Il permet aux clients corporatifs d'avoir:

- des informations sur la position des comptes courants qu'ils détiennent dans les succursales de la banque,
- des informations sur les opérations effectués sur les comptes,
- la position consolidée de ces comptes, selon la structure de leur entreprise,
- avoir le solde ainsi que les transactions de prêts commerciaux des clients du système gestion de trésorerie (G.T).
- d'effectuer en direct des virements de fonds entre ces comptes.

Il est composé de 4 sous-systèmes: le sous-système gestion de trésorerie, le sous-système prêts commerciaux, le sous-système épargne et le sous-système virements.

- **Sous-système gestion de trésorerie:**

Ce sous-système applique les informations monétaires provenant du sous-système prêts commerciaux, du sous-système épargne et du sous-système comptes courants aux comptes de ses clients. Il produit des rapports d'utilisation du système afin de produire des statistiques de façon à facturer les clients. Il informe la banque des virements effectués par les clients.

- **Sous-système prêts commerciaux:**

Ce sous-système reçoit quotidiennement les transactions du jour, effectués sur les prêts dans les différents succursales, calcule les intérêts sur ces prêts, et fournit un fichier contenant les soldes des prêts commerciaux relatifs aux clients de G.T. au sous-système G. T. Il s'occupe de la mise à jour de la base des prêts, ainsi que de la mise à jour des autorisations sur ces prêts.

- **Sous-système épargne:**

Il reçoit une copie du journal de transactions provenant des succursales. Cette copie sera prise à une fréquence X dans un fichier accumulant toutes les transactions interactives (retraits, dépôt, corrections) sur les comptes courants. A partir de ce fichier, on extraira les transactions se rattachant aux comptes courants qui font partie du sous-système de gestion de trésorerie pour mettre à jour le fichier maître G.T, qui contient tous les nos de comptes courants. Il sert aussi à séparer les transactions provenant des succursales afin de donner celles affectant les comptes courants et les comptes chèques au sous-système compte courant. Enfin ces transactions sont traitées aux 4 minutes et les réponses sont données dans un fichier spécifique.

- **Sous-système comptes courants:**

Ce sous-système reçoit du sous-système épargne les transactions de dépôt qui sont faites sur les comptes de virements. Après avoir été validées et comptabilisées, ces transactions sont données au sous-système virements accélérés, qui renvoie à son tour au sous-système C/C, les transactions de retrait et de dépôt.

- **Sous-système virements:**

Ce sous-système reçoit les demandes de virements effectués par les clients qui peuvent être des retraits, des dépôts et des corrections. Une mise à jour est effectuée sur les comptes et une réponse est donnée au client.

A.3.2 Modèle général du système de gestion de trésorerie



A.3.2 Modèle général du système de gestion de trésorerie

A.3.3 Décompositions du système de gestion de trésorerie

N-Ss	Description sous-système	Primitives composantes
Type décomposition : Structure administrative		
SS1	Service prêts	P1, P2, P3, P4, P16, P43, P44, P45, P46, P47
SS2	Service épargne	P17, P18, P19, P20
SS3	Service virements	P14, P15, P32, P33, P34, P41, P42
SS4	service comptes courants	P21, P22, P24, P25, P26, P27, P28, P29, P30, P31, P35, P36, P37, P38, P39, P40
SS5	Service trésorie	P5, P6, P7, P8, P9, P10, P11, P12, P13, P23
Type décomposition : Comportement		
SS1	Ouverture comptes prêts	P43, P44, P45, P46, P47
SS2	Transactions interactives	P12, P13, P17, P18, P19, P20
SS3	Transactions inter-systèmes	P7, P21, P22, P24, P25, P26, P27
SS4	Ouverture comptes courants	P29, P30, P31, P35
SS5	Ouverture cptes compagnie	P28, P36, P37, P38, P39, P40
SS6	Demande virements	P14, P15, P32, P33, P34, P41, P42
SS7	Rapports trésorerie	P6, P8, P11
SS8	Transactions prêts	P1, P2, P3, P4, P5, P9, P10, P16
Type décomposition : Données		
SS1	Données prêts	P1, P2, P3, P4, P16, P43, P44, P45, P46, P47
SS2	Données comptes courants	P17, P18, P20, P21, P22, P24, P25, P26, P27, P29, P30, P31, P35
SS3	Données virements	P14, P15, P32, P33, P34, P41, P42
SS4	Données C/C G.T	P6, P7, P11, P12, P13, P19, P23
SS5	Données comptes prêts G.T	P5, P8, P9, P10
SS6	Données compte compagnie	P28, P36, P37, P38, P39, P40
Type décomposition : Fonction d'affaires		
SS1	Gérer transactions prêts	P1, P2, P3, P4, P5, P9, P10, P16, P43, P44, P45, P46, P47
SS2	Gérer comptes courants	P12, P13, P17, P18, P19, P20, P21, P22, P24, P25, P26
SS3	Gérer mise à jour comptes	P7, P27, P28, P29, P31, P38
SS4	Gérer virements	P14, P15, P32, P32, P33, P34, P41, P42
SS5	Gérer autorisations	P30, P35, P36, P37, P39, P40
SS6	Produire rapports G.T	P6, P8, P11
Type décomposition : Temps		
SS1	Comptes prêts	P1, P2, P3, P4, P5, P9, P10, P16, P43, P44, P45, P46, P47
SS2	Transactions G.T	P6, P7, P12, P13, P22, P23
SS3	Transactions interactives	P17, P18, P19, P20
SS4	Transactions C/C interactive	P21, P24, P25, P26
SS5	Comptes compagnie	P28, P36, P37, P38, P39, P40
SS6	Ouverture compte C/C	P27, P29, P30, P31, P35
SS7	Comptes virements	P14, P15, P32, P33, P34, P41, P42
SS8	Production rapports	P8, P11

Annexe B

Résultats expérimentation 1: Modèle externe de qualité

B.1 Système des prêts bancaires: Analyse détaillée

B.1.1 Décomposition basée sur les données

SI Prêts: Décomposition basée sur les données						
<i>No Changement</i>	<i>SS1</i>	<i>SS2</i>	<i>SS3</i>	<i>SS4</i>	<i>SS5</i>	<i>Qualité</i>
<i>Ch1</i>	1	1	1	1	1	0
<i>Ch2</i>	1	1	1	1	1	0
<i>Ch3</i>	0	1	1	1	1	0.25
<i>Ch4</i>	0	1	1	1	1	0.25
<i>Ch5</i>	0	1	1	1	1	0.25
<i>Ch6</i>	0	1	1	1	1	0.25
<i>Ch7</i>	0	1	1	0	0	0.75
<i>Ch8</i>	0	1	0	0	0	1
<i>Ch9</i>	0	0	0	1	0	1
<i>Ch10</i>	1	1	1	1	1	0
<i>Ch11</i>	0	0	0	0	1	1
<i>Ch12</i>	0	1	0	0	0	1
<i>Ch13</i>	0	1	1	0	0	0.75
<i>Ch14</i>	0	0	0	1	0	1
<i>Ch15</i>	0	1	0	0	1	0,75
<i>Ch16</i>	0	1	0	1	1	0.50
<i>Ch17</i>	0	1	0	0	0	1
<i>Ch18</i>	0	1	0	0	0	1
<i>Nombre des primitives affectées</i>						108
<i>Nombre des sous-systèmes affectés</i>					47	52%
<i>Nombre maximum des sous-systèmes que l' ensemble de changements peut affecter</i>					90	100%
<i>Qualité totale de la décomposition</i>						0.60

B.1.2 Décomposition basée sur la structure administrative

SI Prêts bancaires: Décomposition basée sur la structure administrative						
<i>No Changement</i>	<i>SS1</i>	<i>SS2</i>	<i>SS3</i>	<i>SS4</i>	<i>SS5</i>	<i>Qualité</i>
<i>Ch1</i>	1	1	1	1	1	0
<i>Ch2</i>	1	1	1	1	1	0
<i>Ch3</i>	0	1	1	1	1	0.25
<i>Ch4</i>	0	1	1	1	1	0.25
<i>Ch5</i>	0	1	1	1	1	0.25
<i>Ch6</i>	0	1	1	1	1	0.25
<i>Ch7</i>	0	1	1	0	1	0.50
<i>Ch8</i>	0	1	0	0	0	1
<i>Ch9</i>	0	0	0	1	0	1
<i>Ch10</i>	1	1	1	1	1	0
<i>Ch11</i>	0	0	0	0	1	1
<i>Ch12</i>	0	1	0	0	0	1
<i>Ch13</i>	0	1	1	0	1	0.50
<i>Ch14</i>	0	0	0	1	0	1
<i>Ch15</i>	0	1	0	1	1	0.50
<i>Ch16</i>	0	1	0	0	0	1
<i>Ch17</i>	0	1	0	0	0	1
<i>Ch18</i>	0	1	0	0	0	1
<i>Nombre des primitives affectées</i>						108
<i>Nombre des sous-systèmes affectés</i>					49	54.44%
<i>Nombre maximum des sous-systèmes que l'ensemble de changements peut affecter</i>					252	100%
<i>Qualité totale de la décomposition</i>						0.57

B.1.3 Décomposition basée sur les fonctions d'affaires

SI Prêts bancaires: Décomposition basée sur les fonctions d'affaires						
<i>No Changement</i>	<i>SS1</i>	<i>SS2</i>	<i>SS3</i>	<i>SS4</i>	<i>SS5</i>	<i>Qualité</i>
<i>Ch1</i>	1	1	1	1	1	0
<i>Ch2</i>	1	1	1	1	1	0
<i>Ch3</i>	0	1	1	1	1	0.25
<i>Ch4</i>	0	1	1	1	1	0.25
<i>Ch5</i>	0	1	1	1	1	0.25
<i>Ch6</i>	0	1	1	1	1	0.25
<i>Ch7</i>	0	1	1	0	1	0.50
<i>Ch8</i>	0	1	0	0	0	1
<i>Ch9</i>	0	0	0	1	0	1
<i>Ch10</i>	1	1	1	1	1	0
<i>Ch11</i>	0	0	0	0	1	1
<i>Ch12</i>	0	1	0	0	0	1
<i>Ch13</i>	0	1	1	0	1	0.50
<i>Ch14</i>	0	0	0	1	0	1
<i>Ch15</i>	0	1	0	1	1	0.50
<i>Ch16</i>	0	1	0	1	0	0.75
<i>Ch17</i>	0	1	0	0	0	1
<i>Ch18</i>	0	1	0	0	0	1
<i>Nombre des primitives affectées</i>						108
<i>Nombre des sous-systèmes affectés</i>					49	54.44%
<i>Nombre maximum des sous-systèmes que l'ensemble des changements peut affecter</i>					252	100%
<i>Qualité totale de la décomposition</i>						0.57

B.1.4 Décomposition basée sur le comportement

SI Prêts bancaires: Décomposition basée sur le comportement						
<i>No Changement</i>	<i>SS1</i>	<i>SS2</i>	<i>SS3</i>	<i>SS4</i>	<i>SS5</i>	<i>Qualité</i>
<i>Ch1</i>	1	1	1	1	1	0
<i>Ch2</i>	1	1	1	1	1	0
<i>Ch3</i>	1	1	1	1	1	0
<i>Ch4</i>	1	1	1	1	1	0
<i>Ch5</i>	1	1	1	1	1	0
<i>Ch6</i>	1	1	1	1	1	0
<i>Ch7</i>	1	1	1	0	0	0.50
<i>Ch8</i>	1	0	0	0	0	1
<i>Ch9</i>	0	0	0	1	0	1
<i>Ch10</i>	1	1	1	1	1	0
<i>Ch11</i>	0	0	0	0	1	1
<i>Ch12</i>	1	1	0	0	0	0.75
<i>Ch13</i>	1	0	1	0	0	0.75
<i>Ch14</i>	0	0	0	1	0	1
<i>Ch15</i>	1	0	0	0	1	0.75
<i>Ch16</i>	1	0	0	1	1	0.50
<i>Ch17</i>	1	0	0	0	0	1
<i>Ch18</i>	1	1	0	0	0	0.75
<i>Nombre des primitives affectées</i>						108
<i>Nombre des sous-systèmes affectés</i>					54	60%
<i>Nombre maximum des sous-systèmes que l'ensemble des changements peut affecter</i>					90	100%
<i>Qualité totale de la décomposition</i>						0.50

B.1.5 Décomposition basée sur le temps

SI Prêts bancaires: Décomposition basée sur le temps						
<i>No Changement</i>	<i>SS1</i>	<i>SS2</i>	<i>SS3</i>	<i>SS4</i>	<i>SS5</i>	<i>Qualité</i>
<i>Ch1</i>	1	1	1	1	1	0
<i>Ch2</i>	1	1	1	1	1	0
<i>Ch3</i>	0	1	1	1	1	0.25
<i>Ch4</i>	0	1	1	1	1	0.25
<i>Ch5</i>	0	1	1	1	1	0.25
<i>Ch6</i>	0	1	1	1	1	0.25
<i>Ch7</i>	0	1	1	1	1	0.25
<i>Ch8</i>	0	0	1	0	0	1
<i>Ch9</i>	0	0	0	1	0	1
<i>Ch10</i>	1	1	1	1	1	0
<i>Ch11</i>	0	0	0	0	1	1
<i>Ch12</i>	0	1	1	0	0	0.75
<i>Ch13</i>	0	1	0	1	1	0.50
<i>Ch14</i>	0	0	0	1	0	1
<i>Ch15</i>	0	1	0	0	1	0.75
<i>Ch16</i>	0	1	0	1	1	0.50
<i>Ch17</i>	0	1	1	0	0	0.75
<i>Ch18</i>	0	1	1	0	0	0.75
<i>Nombre des primitives affectées</i>						108
<i>Nombre des sous-systèmes affectés</i>					53	58.89%
<i>Nombre maximum des sous-systèmes que l'ensemble des changements peut affecter</i>					90	100%
<i>Qualité totale de la décomposition</i>						0.51

B.2 Système de gestion de portefeuille:

B.2.1 Décomposition basée sur les données

SI Portefeuille: Décomposition basée sur les données							
<i>No Changement</i>	<i>SS1</i>	<i>SS2</i>	<i>SS3</i>	<i>SS4</i>	<i>SS5</i>	<i>SS6</i>	<i>Qualité</i>
<i>Ch1</i>	1	0	0	0	0	0	1
<i>Ch2</i>	1	1	0	1	1	0	0.40
<i>Ch3</i>	0	1	1	0	1	0	0.60
<i>Ch4</i>	0	1	0	1	1	0	0.60
<i>Ch5</i>	0	1	0	1	1	1	0.40
<i>Ch6</i>	1	1	1	1	1	0	0.20
<i>Ch7</i>	0	0	1	0	0	0	1
<i>Ch8</i>	0	1	0	1	1	0	0.60
<i>Ch9</i>	0	0	0	0	1	0	1
<i>Ch10</i>	0	1	0	0	0	0	1
<i>Ch11</i>	0	1	0	0	1	1	0.60
<i>Ch12</i>	0	1	0	0	0	0	1
<i>Ch13</i>	0	0	0	1	0	1	0.80
<i>Ch14</i>	0	1	0	0	1	1	0.60
<i>Ch15</i>	0	0	1	0	0	0	1
<i>Nombre des primitives affectées</i>							79
<i>Nombre des sous-systèmes affectés et pourcentage</i>						36	40%
<i>Nombre maximum des sous-systèmes que l'ensemble de changements peut affecter</i>						90	100%
<i>Qualité totale de la décomposition</i>							0.72

B.2.2 Décomposition basée sur la structure administrative

SI Portefeuille: Décomposition basée sur la structure administrative				
<i>No Changement</i>	<i>SS1</i>	<i>SS2</i>	<i>SS3</i>	<i>Qualité</i>
<i>Ch1</i>	1	0	0	1
<i>Ch2</i>	1	1	1	0
<i>Ch3</i>	1	1	1	0
<i>Ch4</i>	0	1	1	0.50
<i>Ch5</i>	1	1	1	0
<i>Ch6</i>	1	1	1	0
<i>Ch7</i>	0	1	0	1
<i>Ch8</i>	0	1	1	0.50
<i>Ch9</i>	0	0	1	1
<i>Ch10</i>	0	0	1	1
<i>Ch11</i>	1	0	1	0.50
<i>Ch12</i>	0	0	1	1
<i>Ch13</i>	0	1	1	0.50
<i>Ch14</i>	1	0	1	0.50
<i>Ch15</i>	0	1	0	1
<i>Nombre des primitives affectées</i>				79
<i>Nombre des sous-systèmes affectés et pourcentage</i>				28 62.22 %
<i>Nombre maximum des sous-systèmes que l'ensemble des changements peut affecter</i>				45 100%
<i>Qualité totale de la décomposition</i>				0.57

B.2.3 Décomposition basée sur le comportement

SI Portefeuille: Décomposition basée sur le comportement									
<i>No Changement</i>	<i>SS1</i>	<i>SS2</i>	<i>SS3</i>	<i>SS4</i>	<i>SS5</i>	<i>SS6</i>	<i>SS7</i>	<i>SS8</i>	<i>Qualité</i>
<i>Ch1</i>	1	1	0	0	0	0	0	0	0.86
<i>Ch2</i>	1	1	1	0	1	1	1	1	0.15
<i>Ch3</i>	0	0	1	1	1	0	0	1	0.58
<i>Ch4</i>	0	0	1	0	0	1	1	1	0.58
<i>Ch5</i>	0	0	1	1	0	1	1	1	0.43
<i>Ch6</i>	1	1	1	1	1	1	1	1	0
<i>Ch7</i>	0	0	0	1	0	0	0	0	1
<i>Ch8</i>	0	0	1	0	0	1	1	1	0.58
<i>Ch9</i>	0	0	1	0	0	0	0	0	1
<i>Ch10</i>	0	0	0	1	0	0	0	0	1
<i>Ch11</i>	0	0	1	0	0	0	1	0	0.86
<i>Ch12</i>	0	0	0	0	0	0	0	1	1
<i>Ch13</i>	0	0	1	0	0	1	0	0	0.86
<i>Ch14</i>	0	0	1	0	0	0	1	0	0.86
<i>Ch15</i>	0	0	0	1	1	0	0	0	0.86
<i>Nombre des primitives affectées</i>									79
<i>Nombre des sous-systèmes affectés et pourcentage</i>								46	38.33
<i>Nombre maximum des sous-systèmes que l'ensemble des changements peut affecter</i>								405	100%
<i>Qualité totale de la décomposition</i>									0.70

B.2.4 Décomposition basée sur les fonctions d'affaires

SI Portefeuille: Décomposition basée sur les fonctions d'affaires						
<i>No Changement</i>	<i>SS1</i>	<i>SS2</i>	<i>SS3</i>	<i>SS4</i>	<i>SS5</i>	<i>Qualité</i>
<i>Ch1</i>	1	0	0	0	0	1
<i>Ch2</i>	1	1	1	0	1	0.25
<i>Ch3</i>	0	1	1	1	0	0.50
<i>Ch4</i>	0	1	0	0	1	0.75
<i>Ch5</i>	0	1	1	1	1	0.25
<i>Ch6</i>	1	1	1	1	0	0.25
<i>Ch7</i>	0	0	0	1	0	1
<i>Ch8</i>	0	1	0	1	0	0.75
<i>Ch9</i>	0	0	0	0	1	1
<i>Ch10</i>	0	1	0	0	0	1
<i>Ch11</i>	0	1	1	0	1	0.50
<i>Ch12</i>	0	1	0	0	0	1
<i>Ch13</i>	0	0	0	0	1	1
<i>Ch14</i>	0	1	1	0	1	0.50
<i>Ch15</i>	0	0	0	1	0	1
<i>Nombre des primitives affectées</i>						79
<i>Nombre des sous-systèmes affectés et pourcentage</i>					32	42.67%
<i>Nombre maximum des sous-systèmes que l'ensemble des changements peut affecter</i>					75	100%
<i>Qualité totale de la décomposition</i>						0.72

B.2.5 Décomposition basée sur le temps

SI Portefeuille: Décomposition basée sur le temps							
<i>No Changement</i>	<i>SS1</i>	<i>SS2</i>	<i>SS3</i>	<i>SS4</i>	<i>SS5</i>	<i>SS6</i>	<i>Qualité</i>
<i>Ch1</i>	1	0	0	0	0	0	1
<i>Ch2</i>	1	1	1	0	1	1	0.20
<i>Ch3</i>	1	1	1	0	1	1	0.20
<i>Ch4</i>	0	1	1	0	1	1	0.40
<i>Ch5</i>	0	1	1	0	1	1	0.40
<i>Ch6</i>	1	1	1	1	1	0	0.20
<i>Ch7</i>	0	0	0	1	0	0	1
<i>Ch8</i>	0	1	1	0	1	1	0.40
<i>Ch9</i>	0	0	0	0	0	1	1
<i>Ch10</i>	0	0	0	0	0	1	1
<i>Ch11</i>	0	1	1	0	0	0	0.80
<i>Ch12</i>	0	0	0	0	0	1	1
<i>Ch13</i>	0	0	1	0	1	0	0.80
<i>Ch14</i>	0	1	1	0	0	0	0.80
<i>Ch15</i>	0	0	0	1	0	0	1
<i>Nombre des primitives affectées</i>							79
<i>Nombre des sous-systèmes affectés et pourcentage</i>						37	41%
<i>Nombre maximum des sous-systèmes que l'ensemble des changements peut affecter</i>						90	100%
<i>Qualité totale de la décomposition</i>							0.71

B.3 Système de gestion de trésorerie:

B.3.1 Décomposition basée sur les données

SITrésorerie: Décomposition basée sur les données								
No Changement	SS1	SS2	SS3	SS4	SS5	SS6	Qualité	
Ch1	0	1	1	1	0	1	0.40	
Ch2	0	0	1	1	1	0	0.60	
Ch3	1	0	0	1	1	0	0.60	
Ch4	0	0	1	1	1	0	0.60	
Ch5	0	0	1	1	0	0	0.80	
Ch6	0	1	0	1	0	0	0.80	
Ch7	1	1	1	0	0	1	0.40	
Ch8	0	1	1	1	0	1	0.40	
Ch9	0	0	0	0	0	1	1	
Ch10	0	1	0	1	0	0	0.80	
Ch11	0	0	0	1	1	0	0.80	
Ch12	0	1	0	0	0	1	0.80	
Ch13	1	0	0	1	1	0	0.60	
Ch14	0	1	0	0	0	1	0.80	
Ch15	0	0	0	1	0	0	1	
Ch16	1	0	0	1	1	0	0.60	
Ch17	0	0	1	1	0	0	0.80	
Ch18	0	0	1	0	0	0	1	
Ch19	1	0	0	1	1	0	0.60	
Ch20	1	0	0	0	0	0	1	
Ch21	1	0	0	0	0	0	1	
Ch22	0	0	0	0	0	1	1	
Ch23	0	0	1	1	0	0	0.80	
Ch24	0	0	1	1	0	0	0.80	
Ch25	0	1	1	1	0	1	0.40	
Ch26	0	1	1	1	0	1	0.40	
Ch27	0	1	0	1	0	0	0.80	
Ch28	0	1	0	0	0	1	0.80	
Ch29	0	0	0	1	1	0	0.80	
Ch30	0	0	0	1	0	0	1	
Ch31	0	0	0	1	0	0	1	
Ch32	0	0	1	1	0	0	0.80	
Ch33	0	0	1	1	0	0	0.80	
Ch34	0	0	0	1	1	0	0.80	
Ch35	0	0	1	1	0	0	0.80	
Ch36	0	0	1	0	0	0	1	
Ch37	0	0	1	1	0	0	0.80	
Nombre des primitives affectées							341	
Nombre des sous-systèmes affectés							81	36.4%
Nombre maximum des sous-systèmes que l'ensemble des changements peut affecter							222	100%
Qualité totale de la décomposition							0.76	

B.3.2 Décomposition basée sur la structure administrative

SI Trésorerie: Décomposition basée sur la structure administrative							
No Changement	SSI	SS2	SS3	SS4	SS5	Qualité	
Ch1	0	1	1	1	1	0.25	
Ch2	0	0	1	0	1	0.75	
Ch3	1	0	0	0	1	0.75	
Ch4	0	0	1	0	1	0.75	
Ch5	0	0	1	0	1	0.75	
Ch6	0	1	0	1	1	0.50	
Ch7	1	1	1	1	0	0.25	
Ch8	0	1	1	1	1	0.25	
Ch9	0	0	0	1	0	1	
Ch10	0	1	0	1	1	0.50	
Ch11	0	0	0	0	1	1	
Ch12	0	0	0	1	0	1	
Ch13	1	0	0	0	1	0.75	
Ch14	0	0	0	1	0	1	
Ch15	0	0	0	0	1	1	
Ch16	1	0	0	0	1	0.75	
Ch17	0	0	1	0	1	0.75	
Ch18	0	0	1	0	0	1	
Ch19	1	0	0	0	1	0.75	
Ch20	1	0	0	0	0	1	
Ch21	1	0	0	0	0	1	
Ch22	0	0	0	1	0	1	
Ch23	0	0	1	0	1	0.75	
Ch24	0	0	1	0	1	0.75	
Ch25	0	1	1	1	1	0.25	
Ch26	0	0	1	1	1	0.50	
Ch27	0	1	0	1	1	0.50	
Ch28	0	0	0	1	0	1	
Ch29	0	0	0	0	1	1	
Ch30	0	1	0	0	1	0.75	
Ch31	0	1	0	0	1	0.75	
Ch32	0	0	1	0	1	0.75	
Ch33	0	0	1	0	1	0.75	
Ch34	0	0	0	0	1	1	
Ch35	0	0	1	0	1	0.75	
Ch36	0	0	1	0	0	1	
Ch37	0	1	1	0	1	0.50	
Nombre des primitives affectées						341	
Nombre des sous-systèmes affectés						74	40 %
Nombre maximum des sous-systèmes que l'ensemble des changements peut affecter						185	100 %
Qualité totale de la décomposition						0.75	

B.3.3 Décomposition basée sur les fonctions d'affaires

SI Trésorerie: Décomposition basée sur les fonctions d'affaires								
No Changement	SS1	SS2	SS3	SS4	SS5	SS6	Qualité	
Ch1	0	1	1	1	1	1	0.20	
Ch2	1	1	1	1	0	1	0.20	
Ch3	1	0	0	0	0	1	0.80	
Ch4	1	1	1	1	0	1	0.20	
Ch5	0	0	0	1	0	1	0.80	
Ch6	0	1	1	0	0	1	0.60	
Ch7	1	1	1	1	0	0	0.40	
Ch8	0	1	1	1	1	1	0.20	
Ch9	0	0	1	0	1	0	0.80	
Ch10	0	1	1	0	0	0	0.80	
Ch11	0	0	0	0	0	1	1	
Ch12	0	0	1	0	1	0	0.80	
Ch13	1	0	1	0	0	1	0.60	
Ch14	0	0	1	0	1	0	0.80	
Ch15	0	0	0	0	0	1	1	
Ch16	1	0	0	0	0	1	0.80	
Ch17	0	1	0	1	0	0	0.80	
Ch18	0	0	0	1	0	0	1	
Ch19	1	0	0	0	0	1	0.80	
Ch20	1	0	0	0	0	0	1	
Ch21	1	0	0	0	0	0	1	
Ch22	0	0	1	0	1	0	0.80	
Ch23	0	0	0	1	0	1	0.80	
Ch24	0	1	0	1	0	1	0.60	
Ch25	0	1	1	1	1	1	0.20	
Ch26	0	1	1	1	1	1	0.20	
Ch27	0	1	1	0	0	0	0.80	
Ch28	0	0	1	0	1	0	0.80	
Ch29	1	0	0	0	0	1	0.80	
Ch30	0	1	0	0	0	1	0.80	
Ch31	0	1	0	0	0	1	0.80	
Ch32	0	1	0	1	0	1	0.60	
Ch33	0	0	0	1	0	1	0.80	
Ch34	1	1	0	0	0	0	0.80	
Ch35	0	1	0	1	0	1	0.60	
Ch36	0	0	0	1	0	0	1	
Ch37	0	1	0	1	0	0	0.80	
Nombre des primitives affectées							341	
Nombre des sous-systèmes affectés							93	41.8%
Nombre maximum des sous-systèmes que l'ensemble des changements peut affecter							222	100%
Qualité totale de la décomposition							0.70	

B.3.4 Décomposition basée sur le comportement

SI Trésorerie: Décomposition basée sur le comportement									
No Changement	SS1	SS2	SS3	SS4	SS5	SS6	SS7	SS8	Qualité
Ch1	0	1	1	1	1	1	1	0	0.29
Ch2	0	1	1	0	0	1	1	1	0.43
Ch3	1	0	0	0	0	0	1	1	0.71
Ch4	0	1	1	0	0	1	1	1	0.43
Ch5	0	0	0	0	0	1	1	0	0.86
Ch6	0	1	1	0	0	0	1	0	0.71
Ch7	0	1	1	0	1	1	0	1	0.43
Ch8	0	1	1	1	1	1	1	0	0.29
Ch9	0	0	0	0	1	0	0	0	1
Ch10	0	1	1	0	0	0	0	0	0.86
Ch11	0	0	0	0	0	0	1	0	1
Ch12	0	0	1	1	0	0	0	0	0.86
Ch13	1	0	1	0	0	0	1	1	0.57
Ch14	0	0	0	0	0	0	1	0	0.86
Ch15	0	0	0	0	0	0	1	0	1
Ch16	1	0	0	0	0	0	1	1	0.71
Ch17	0	1	0	0	1	0	0	0	0.86
Ch18	0	0	0	0	0	1	0	0	1
Ch19	1	0	0	0	0	0	1	1	0.71
Ch20	1	0	0	0	0	0	0	0	1
Ch21	0	0	0	0	0	0	0	1	1
Ch22	0	0	0	0	1	0	0	0	1
Ch23	0	0	0	0	0	1	1	0	0.86
Ch24	0	1	0	0	0	1	1	0	0.71
Ch25	0	1	1	1	1	1	1	0	0.29
Ch26	0	1	1	1	1	1	1	0	0.29
Ch27	0	1	1	0	0	0	0	0	0.86
Ch28	0	0	1	1	1	0	0	0	0.71
Ch29	0	0	0	0	0	0	1	1	0.86
Ch30	0	1	0	0	0	0	1	0	0.86
Ch31	0	1	0	0	0	0	1	0	0.86
Ch32	0	1	0	0	0	1	1	0	0.71
Ch33	0	0	0	0	0	1	1	0	0.86
Ch34	0	1	1	0	0	0	0	1	0.71
Ch35	0	1	0	0	0	1	1	0	0.71
Ch36	0	0	0	0	0	1	0	0	1
Ch37	0	1	0	0	0	1	0	0	0.86
Nombre des primitives affectées									341
Nombre des sous-systèmes affectés								102	34.4%
Nombre maximum des sous-systèmes que l'ensemble des changements peut affecter								296	100%
Qualité totale de la décomposition									0.75

B.3.5 Décomposition basée sur le temps

SI Trésorerie: Décomposition basée sur le temps									
No Changement	SS1	SS2	SS3	SS4	SS5	SS6	SS7	SS8	Qualité
Ch1	0	1	1	1	1	1	1	1	0.14
Ch2	1	1	0	0	0	0	1	1	0.57
Ch3	1	1	0	0	0	0	0	1	0.71
Ch4	1	1	0	0	0	0	1	1	0.57
Ch5	0	1	0	0	0	0	1	0	0.86
Ch6	0	1	1	1	0	0	0	0	0.71
Ch7	1	0	1	1	1	1	1	0	0.29
Ch8	0	1	1	1	1	1	1	1	0.14
Ch9	0	0	0	0	1	0	0	0	1
Ch10	0	1	1	1	0	0	0	0	0.71
Ch11	0	1	0	0	0	0	0	1	0.86
Ch12	0	0	0	0	1	1	0	0	0.86
Ch13	1	1	0	0	0	0	0	1	0.71
Ch14	0	0	0	0	1	1	0	0	0.86
Ch15	0	1	0	0	0	0	0	1	0.86
Ch16	1	1	0	0	0	0	0	0	0.86
Ch17	0	1	0	0	0	0	1	0	0.86
Ch18	0	0	0	0	0	0	1	0	1
Ch19	1	1	0	0	0	0	0	1	0.71
Ch20	1	0	0	0	0	0	0	0	1
Ch21	1	0	0	0	0	0	0	0	1
Ch22	0	0	0	0	1	0	0	0	1
Ch23	0	1	0	0	0	0	1	0	0.86
Ch24	0	1	0	0	0	0	1	0	0.86
Ch25	0	1	1	1	1	1	1	1	0.14
Ch26	0	1	0	1	1	1	1	0	0.43
Ch27	0	1	1	1	0	0	0	0	0.71
Ch28	0	0	0	0	1	1	0	0	0.86
Ch29	1	1	0	0	0	0	0	0	0.86
Ch30	0	1	1	0	0	0	0	0	0.86
Ch31	0	1	1	0	0	0	0	0	0.86
Ch32	0	1	0	0	0	0	1	0	0.86
Ch33	0	1	0	0	0	0	1	0	0.86
Ch34	1	1	0	0	0	0	0	0	0.86
Ch35	0	1	0	0	0	0	1	0	0.86
Ch36	0	0	0	0	0	0	1	0	1
Ch37	0	1	1	0	0	0	1	0	0.71
Nombre des primitives affectées									341
Nombre des sous-systèmes affectés								101	34.1
Nombre maximum des sous-systèmes que l'ensemble de changements peut affecter								296	100%
Qualité totale de la décomposition									0.75

Annexe C

Résultats expérimentation 2: Modèle externe de qualité raffiné

C.1 Système des prêts bancaires

C.1.1 Décomposition basée sur les données

SI Prêts bancaires: Décomposition basée sur les données						
<i>No Changement</i>	<i>SSI</i>	<i>SS2</i>	<i>SS3</i>	<i>SS4</i>	<i>SS5</i>	<i>Qualité</i>
<i>Ch1</i>	1	1	1	1	1	0
<i>Ch2</i>	1	1	1	1	1	0
<i>Ch3</i>	0	1	1	1	1	0.67
<i>Ch4</i>	0	1	1	1	1	0.67
<i>Ch5</i>	0	1	1	1	1	0.67
<i>Ch6</i>	0	1	1	1	1	0.50
<i>Ch7</i>	0	1	1	0	0	0.80
<i>Ch8</i>	0	1	0	0	0	0.69
<i>Ch9</i>	0	0	0	1	0	0.92
<i>Ch10</i>	1	1	1	1	1	0
<i>Ch11</i>	0	0	0	0	1	0.77
<i>Ch12</i>	0	1	0	0	0	0.75
<i>Ch13</i>	0	1	1	0	0	0.73
<i>Ch14</i>	0	0	0	1	0	1
<i>Ch15</i>	0	1	0	0	1	0.56
<i>Ch16</i>	0	1	0	1	1	0.30
<i>Ch17</i>	0	1	0	0	0	0.82
<i>Ch18</i>	0	1	0	0	0	0.75
<i>Nombre des primitives affectées</i>						108
<i>Nombre des sous-systèmes affectés</i>					47	52%
<i>Nombre maximum des sous-systèmes que l'ensemble de changements peut affecter</i>					90	100%
<i>Qualité totale de la décomposition</i>						0.60

C.1.2 Décomposition basée sur la structure administrative

SI Prêts bancaires: Décomposition basée sur la structure administrative						
<i>No Changement</i>	<i>SS1</i>	<i>SS2</i>	<i>SS3</i>	<i>SS4</i>	<i>SS5</i>	<i>Qualité</i>
<i>Ch1</i>	1	1	1	1	1	0
<i>Ch2</i>	1	1	1	1	1	0
<i>Ch3</i>	0	1	1	1	1	0.67
<i>Ch4</i>	0	1	1	1	1	0.67
<i>Ch5</i>	0	1	1	1	1	0.67
<i>Ch6</i>	0	1	1	1	1	0.50
<i>Ch7</i>	0	1	1	0	1	0.50
<i>Ch8</i>	0	1	0	0	0	0.77
<i>Ch9</i>	0	0	0	1	0	0.85
<i>Ch10</i>	1	1	1	1	1	0
<i>Ch11</i>	0	0	0	0	1	0.77
<i>Ch12</i>	0	1	0	0	0	0.83
<i>Ch13</i>	0	1	1	0	1	0.45
<i>Ch14</i>	0	0	0	1	0	0.92
<i>Ch15</i>	0	1	0	1	1	0.33
<i>Ch16</i>	0	1	0	0	0	0.70
<i>Ch17</i>	0	1	0	0	0	0.91
<i>Ch18</i>	0	1	0	0	0	0.83
<i>Nombre des primitives affectées</i>						108
<i>Nombre des sous-systèmes affectés</i>					49	54.44%
<i>Nombre maximum des sous-systèmes que l'ensemble de changements peut affecter</i>					252	100%
<i>Qualité totale de la décomposition</i>						0.58

C.1.3 Décomposition basée sur les fonctions d'affaires

SI Prêts bancaires: Décomposition basée sur les fonctions d'affaires						
<i>No Changement</i>	<i>SS1</i>	<i>SS2</i>	<i>SS3</i>	<i>SS4</i>	<i>SS5</i>	<i>Qualité</i>
<i>Ch1</i>	1	1	1	1	1	0
<i>Ch2</i>	1	1	1	1	1	0
<i>Ch3</i>	0	1	1	1	1	0.67
<i>Ch4</i>	0	1	1	1	1	0.67
<i>Ch5</i>	0	1	1	1	1	0.67
<i>Ch6</i>	0	1	1	1	1	0.50
<i>Ch7</i>	0	1	1	0	1	0.50
<i>Ch8</i>	0	1	0	0	0	0.77
<i>Ch9</i>	0	0	0	1	0	0.85
<i>Ch10</i>	1	1	1	1	1	0
<i>Ch11</i>	0	0	0	0	1	0.77
<i>Ch12</i>	0	1	0	0	0	0.83
<i>Ch13</i>	0	1	1	0	1	0.45
<i>Ch14</i>	0	0	0	1	0	0.92
<i>Ch15</i>	0	1	0	1	1	0.33
<i>Ch16</i>	0	1	0	1	0	0.70
<i>Ch17</i>	0	1	0	0	0	0.91
<i>Ch18</i>	0	1	0	0	0	0.83
<i>Nombre des primitives affectées</i>						108
<i>Nombre des sous-systèmes affectés</i>					49	54.44%
<i>Nombre maximum des sous-systèmes que l'ensemble de changements peut affecter</i>					252	100%
<i>Qualité totale de la décomposition</i>						0.58

C.1.4 Décomposition basée sur le comportement

SI Prêts bancaires: Décomposition basée sur le comportement						
<i>No Changement</i>	<i>SS1</i>	<i>SS2</i>	<i>SS3</i>	<i>SS4</i>	<i>SS5</i>	<i>Qualité</i>
<i>Ch1</i>	1	1	1	1	1	0
<i>Ch2</i>	1	1	1	1	1	0
<i>Ch3</i>	1	1	1	1	1	0
<i>Ch4</i>	1	1	1	1	1	0
<i>Ch5</i>	1	1	1	1	1	0
<i>Ch6</i>	1	1	1	1	1	0
<i>Ch7</i>	1	1	1	0	0	0.60
<i>Ch8</i>	1	0	0	0	0	0.62
<i>Ch9</i>	0	0	0	1	0	0.92
<i>Ch10</i>	1	1	1	1	1	0
<i>Ch11</i>	0	0	0	0	1	0.77
<i>Ch12</i>	1	1	0	0	0	0.58
<i>Ch13</i>	1	0	1	0	0	0.64
<i>Ch14</i>	0	0	0	1	0	1
<i>Ch15</i>	1	0	0	0	1	0.44
<i>Ch16</i>	1	0	0	1	1	0.20
<i>Ch17</i>	1	0	0	0	0	0.73
<i>Ch18</i>	1	1	0	0	0	0.58
<i>Nombre des primitives affectées</i>						108
<i>Nombre des sous-systèmes affectés</i>					54	60%
<i>Nombre maximum des sous-systèmes que l'ensemble de changements peut affecter</i>					90	100%
<i>Qualité totale de la décomposition</i>						0.39

C.1.5 Décomposition basée sur le temps

SI Prêts bancaires: Décomposition basée sur le temps						
<i>No Changement</i>	<i>SS1</i>	<i>SS2</i>	<i>SS3</i>	<i>SS4</i>	<i>SS5</i>	<i>Qualité</i>
<i>Ch1</i>	1	1	1	1	1	0
<i>Ch2</i>	1	1	1	1	1	0
<i>Ch3</i>	0	1	1	1	1	0.67
<i>Ch4</i>	0	1	1	1	1	0.67
<i>Ch5</i>	0	1	1	1	1	0.67
<i>Ch6</i>	0	1	1	1	1	0.50
<i>Ch7</i>	0	1	1	1	1	0.20
<i>Ch8</i>	0	0	1	0	0	0.92
<i>Ch9</i>	0	0	0	1	0	0.85
<i>Ch10</i>	1	1	1	1	1	0
<i>Ch11</i>	0	0	0	0	1	0.69
<i>Ch12</i>	0	1	1	0	0	0.83
<i>Ch13</i>	0	1	0	1	1	0.36
<i>Ch14</i>	0	0	0	1	0	0.92
<i>Ch15</i>	0	1	0	0	1	0.78
<i>Ch16</i>	0	1	0	1	1	0.40
<i>Ch17</i>	0	1	1	0	0	0.91
<i>Ch18</i>	0	1	1	0	0	0.83
<i>Nombre des primitives affectées</i>						108
<i>Nombre des sous-systèmes affectés</i>					53	58.89%
<i>Nombre maximum des sous-systèmes que l'ensemble de changements peut affecter</i>					90	100%
<i>Qualité totale de la décomposition</i>						0.57

C.2 Système de gestion de portefeuille

C.2.1 Décomposition basée sur les données

SI Portefeuille: Décomposition basée sur les données							
<i>No Changement</i>	<i>SS1</i>	<i>SS2</i>	<i>SS3</i>	<i>SS4</i>	<i>SS5</i>	<i>SS6</i>	<i>Qualité</i>
<i>Ch1</i>	1	0	0	0	0	0	1
<i>Ch2</i>	1	1	0	1	1	0	0.29
<i>Ch3</i>	0	1	1	0	1	0	0.48
<i>Ch4</i>	0	1	0	1	1	0	0.43
<i>Ch5</i>	0	1	0	1	1	1	0.39
<i>Ch6</i>	1	1	1	1	1	0	0.12
<i>Ch7</i>	0	0	1	0	0	0	0.92
<i>Ch8</i>	0	1	0	1	1	0	0.45
<i>Ch9</i>	0	0	0	0	1	0	0.73
<i>Ch10</i>	0	1	0	0	0	0	0.81
<i>Ch11</i>	0	1	0	0	1	1	0.61
<i>Ch12</i>	0	1	0	0	0	0	0.81
<i>Ch13</i>	0	0	0	1	0	1	0.88
<i>Ch14</i>	0	1	0	0	1	1	0.61
<i>Ch15</i>	0	0	1	0	0	0	0.96
<i>Nombre des primitives affectées</i>							79
<i>Nombre des sous-systèmes affectés et pourcentage</i>						36	40%
<i>Nombre maximum des sous-systèmes que l'ensemble de changements peut affecter</i>						90	100%
<i>Qualité totale de la décomposition</i>							0.63

C.2.2 Décomposition basée sur la structure administrative

SI Portefeuille: Décomposition basée sur la structure administrative				
<i>No Changement</i>	<i>SS1</i>	<i>SS2</i>	<i>SS3</i>	<i>Qualité</i>
<i>Ch1</i>	1	0	0	0.91
<i>Ch2</i>	1	1	1	0
<i>Ch3</i>	1	1	1	0
<i>Ch4</i>	0	1	1	0.29
<i>Ch5</i>	1	1	1	0
<i>Ch6</i>	1	1	1	0
<i>Ch7</i>	0	1	0	0.77
<i>Ch8</i>	0	1	1	0.30
<i>Ch9</i>	0	0	1	0.50
<i>Ch10</i>	0	0	1	0.50
<i>Ch11</i>	1	0	1	0.39
<i>Ch12</i>	0	0	1	0.50
<i>Ch13</i>	0	1	1	0.25
<i>Ch14</i>	1	0	1	0.39
<i>Ch15</i>	0	1	0	0.80
<i>Nombre des primitives affectées</i>				79
<i>Nombre des sous-systèmes affectés et pourcentage</i>				28 62.22%
<i>Nombre maximum des sous-systèmes que l'ensemble de changements peut affecter</i>				45 100%
<i>Qualité totale de la décomposition</i>				0.37

C.2.3 Décomposition basée sur le comportement

SI Portefeuille: Décomposition basée sur le comportement									
<i>No Changement</i>	<i>SS1</i>	<i>SS2</i>	<i>SS3</i>	<i>SS4</i>	<i>SS5</i>	<i>SS6</i>	<i>SS7</i>	<i>SS8</i>	<i>Qualité</i>
<i>Ch1</i>	1	1	0	0	0	0	0	0	1
<i>Ch2</i>	1	1	1	0	1	1	1	1	0.06
<i>Ch3</i>	0	0	1	1	1	0	0	1	0.52
<i>Ch4</i>	0	0	1	0	0	1	1	1	0.38
<i>Ch5</i>	0	0	1	1	0	1	1	1	0.28
<i>Ch6</i>	1	1	1	1	1	1	1	1	0
<i>Ch7</i>	0	0	0	1	0	0	0	0	0.92
<i>Ch8</i>	0	0	1	0	0	1	1	1	0.40
<i>Ch9</i>	0	0	1	0	0	0	0	0	0.65
<i>Ch10</i>	0	0	0	1	0	0	0	0	0.92
<i>Ch11</i>	0	0	1	0	0	0	1	0	0.78
<i>Ch12</i>	0	0	0	0	0	0	0	1	0.96
<i>Ch13</i>	0	0	1	0	0	1	0	0	0.54
<i>Ch14</i>	0	0	1	0	0	0	1	0	0.78
<i>Ch15</i>	0	0	0	1	1	0	0	0	0.92
<i>Nombre des primitives affectées</i>									79
<i>Nombre des sous-systèmes affectés et pourcentage</i>								46	38.33
<i>Nombre maximum des sous-systèmes que l'ensemble de changements peut affecter</i>								405	100%
<i>Qualité totale de la décomposition</i>									0.61

C.2.4 Décomposition basée sur les fonctions d'affaires

SI Portefeuille: Décomposition basée sur les fonctions d'affaires							
<i>No Changement</i>	<i>SS1</i>	<i>SS2</i>	<i>SS3</i>	<i>SS4</i>	<i>SS5</i>	<i>Qualité</i>	
<i>Ch1</i>	1	0	0	0	0	1	
<i>Ch2</i>	1	1	1	0	1	0.35	
<i>Ch3</i>	0	1	1	1	0	0.48	
<i>Ch4</i>	0	1	0	0	1	0.67	
<i>Ch5</i>	0	1	1	1	1	0.22	
<i>Ch6</i>	1	1	1	1	0	0.35	
<i>Ch7</i>	0	0	0	1	0	0.81	
<i>Ch8</i>	0	1	0	1	0	0.70	
<i>Ch9</i>	0	0	0	0	1	0.81	
<i>Ch10</i>	0	1	0	0	0	0.77	
<i>Ch11</i>	0	1	1	0	1	0.56	
<i>Ch12</i>	0	1	0	0	0	0.77	
<i>Ch13</i>	0	0	0	0	1	0.88	
<i>Ch14</i>	0	1	1	0	1	0.56	
<i>Ch15</i>	0	0	0	1	0	0.84	
<i>Nombre des primitives affectées</i>						79	
<i>Nombre des sous-systèmes affectés et pourcentage</i>						32	42.67%
<i>Nombre maximum des sous-systèmes que l'ensemble de changements peut affecter</i>						75	100%
<i>Qualité totale de la décomposition</i>						0.65	

C.2.5 Décomposition basée sur le temps

SI Portefeuille: Décomposition basée sur le temps							
<i>No Changement</i>	<i>SS1</i>	<i>SS2</i>	<i>SS3</i>	<i>SS4</i>	<i>SS5</i>	<i>SS6</i>	<i>Qualité</i>
<i>Ch1</i>	1	0	0	0	0	0	1
<i>Ch2</i>	1	1	1	0	1	1	0.18
<i>Ch3</i>	1	1	1	0	1	1	0.57
<i>Ch4</i>	0	1	1	0	1	1	0.33
<i>Ch5</i>	0	1	1	0	1	1	0.39
<i>Ch6</i>	1	1	1	1	1	0	0.18
<i>Ch7</i>	0	0	0	1	0	0	0.92
<i>Ch8</i>	0	1	1	0	1	1	0.35
<i>Ch9</i>	0	0	0	0	0	1	0.92
<i>Ch10</i>	0	0	0	0	0	1	0.92
<i>Ch11</i>	0	1	1	0	0	0	0.78
<i>Ch12</i>	0	0	0	0	0	1	0.92
<i>Ch13</i>	0	0	1	0	1	0	0.58
<i>Ch14</i>	0	1	1	0	0	0	0.78
<i>Ch15</i>	0	0	0	1	0	0	0.96
<i>Nombre des primitives affectées</i>							79
<i>Nombre des sous-systèmes affectés et pourcentage</i>						37	41%
<i>Nombre maximum des sous-systèmes que l'ensemble peut affecter</i>						90	100%
<i>Qualité totale de la décomposition</i>							0.65

C.3 Système de gestion de trésorerie

C.3.1 Décomposition basée sur les données

SI Trésorerie : Décomposition basée sur les données								
No Changement	SS1	SS2	SS3	SS4	SS5	SS6	Qualité	
Ch1	0	1	1	1	0	1	1	
Ch2	0	0	1	1	1	0	0.78	
Ch3	1	0	0	1	1	0	0.79	
Ch4	0	0	1	1	1	0	0.76	
Ch5	0	0	1	1	0	0	0.85	
Ch6	0	1	0	1	0	0	0.79	
Ch7	1	1	1	0	0	1	0.29	
Ch8	0	1	1	1	0	1	1	
Ch9	0	0	0	0	0	1	0.95	
Ch10	0	1	0	1	0	0	0.79	
Ch11	0	0	0	1	1	0	0.82	
Ch12	0	1	0	0	0	1	0.67	
Ch13	1	0	0	1	1	0	0.84	
Ch14	0	1	0	0	0	1	0.64	
Ch15	0	0	0	1	0	0	0.89	
Ch16	1	0	0	1	1	0	0.72	
Ch17	0	0	1	1	0	0	0.77	
Ch18	0	0	1	0	0	0	0.93	
Ch19	1	0	0	1	1	0	0.79	
Ch20	1	0	0	0	0	0	0.82	
Ch21	1	0	0	0	0	0	0.80	
Ch22	0	0	0	0	0	1	0.93	
Ch23	0	0	1	1	0	0	0.85	
Ch24	0	0	1	1	0	0	0.87	
Ch25	0	1	1	1	0	1	1	
Ch26	0	1	1	1	0	1	0.52	
Ch27	0	1	0	1	0	0	0.77	
Ch28	0	1	0	0	0	1	0.64	
Ch29	0	0	0	1	1	0	0.82	
Ch30	0	0	0	1	0	0	0.93	
Ch31	0	0	0	1	0	0	0.93	
Ch32	0	0	1	1	0	0	0.77	
Ch33	0	0	1	1	0	0	0.75	
Ch34	0	0	0	1	1	0	0.82	
Ch35	0	0	1	1	0	0	0.87	
Ch36	0	0	1	0	0	0	1	
Ch37	0	0	1	1	0	0	0.79	
Nombre des primitives affectées							341	
Nombre des sous-systèmes affectés							81	36.4%
Nombre maximum des sous-systèmes que l'ensemble peut affecter							222	100%
Qualité totale de la décomposition							0.81	

C.3.2 Décomposition basée sur la structure administrative

SI Trésorerie: Décomposition basée sur la structure administrative:							
No Changement	SS1	SS2	SS3	SS4	SS5	Qualité	
Ch1	0	1	1	1	0	1	
Ch2	0	0	1	0	1	0.81	
Ch3	1	0	0	0	1	0.82	
Ch4	0	0	1	0	1	0.79	
Ch5	0	0	1	0	1	0.77	
Ch6	0	1	0	1	1	0.50	
Ch7	1	1	1	1	0	0.26	
Ch8	0	1	1	1	1	0.71	
Ch9	0	0	0	1	0	0.72	
Ch10	0	1	0	1	1	0.50	
Ch11	0	0	0	0	1	0.84	
Ch12	0	0	0	1	0	0.74	
Ch13	1	0	0	0	1	0.87	
Ch14	0	0	0	1	0	0.70	
Ch15	0	0	0	0	1	0.82	
Ch16	1	0	0	0	1	0.75	
Ch17	0	0	1	0	1	0.70	
Ch18	0	0	1	0	0	0.93	
Ch19	1	0	0	0	1	0.82	
Ch20	1	0	0	0	0	0.82	
Ch21	1	0	0	0	0	0.80	
Ch22	0	0	0	1	0	0.70	
Ch23	0	0	1	0	1	0.77	
Ch24	0	0	1	0	1	0.79	
Ch25	0	1	1	1	1	0.71	
Ch26	0	0	1	1	1	0.52	
Ch27	0	1	0	1	1	0.49	
Ch28	0	0	0	1	0	0.70	
Ch29	0	0	0	0	1	0.84	
Ch30	0	1	0	0	1	0.77	
Ch31	0	1	0	0	1	0.77	
Ch32	0	0	1	0	1	0.70	
Ch33	0	0	1	0	1	0.68	
Ch34	0	0	0	0	1	0.84	
Ch35	0	0	1	0	1	0.79	
Ch36	0	0	1	0	0	1	
Ch37	0	1	1	0	1	0.62	
Nombre des primitives affectées						341	
Nombre des sous-systèmes affectés						74	40%
Nombre maximum des sous-systèmes que l'ensemble de changements peut affecter						185	100%
Qualité totale de la décomposition						0.73	

C.3.3 Décomposition basée sur les fonctions d'affaires

SITrésorerie: Décomposition basée sur les fonctions d'affaires								
No Changement	SS1	SS2	SS3	SS4	SS5	SS6	Qualité	
Ch1	0	1	1	1	0	1	0.93	
Ch2	1	1	1	1	0	1	0.16	
Ch3	1	0	0	0	0	1	0.94	
Ch4	1	1	1	1	0	1	0.16	
Ch5	0	0	0	1	0	1	0.95	
Ch6	0	1	1	0	0	1	0.76	
Ch7	1	1	1	1	0	0	0.24	
Ch8	0	1	1	1	1	1	0.93	
Ch9	0	0	1	0	1	0	0.81	
Ch10	0	1	1	0	0	0	0.85	
Ch11	0	0	0	0	0	1	1	
Ch12	0	0	1	0	1	0	0.83	
Ch13	1	0	1	0	0	1	0.81	
Ch14	0	0	1	0	1	0	0.80	
Ch15	0	0	0	0	0	1	0.98	
Ch16	1	0	0	0	0	1	0.86	
Ch17	0	1	0	1	0	0	0.65	
Ch18	0	0	0	1	0	0	0.93	
Ch19	1	0	0	0	0	1	0.94	
Ch20	1	0	0	0	0	0	0.76	
Ch21	1	0	0	0	0	0	0.74	
Ch22	0	0	1	0	1	0	0.80	
Ch23	0	0	0	1	0	1	0.95	
Ch24	0	1	0	1	0	1	0.66	
Ch25	0	1	1	1	1	1	0.93	
Ch26	0	1	1	1	1	1	0.48	
Ch27	0	1	1	0	0	0	0.83	
Ch28	0	0	1	0	1	0	0.80	
Ch29	1	0	0	0	0	1	0.70	
Ch30	0	1	0	0	0	1	0.74	
Ch31	0	1	0	0	0	1	0.74	
Ch32	0	1	0	1	0	1	0.58	
Ch33	0	0	0	1	0	1	0.84	
Ch34	1	1	0	0	0	0	0.50	
Ch35	0	1	0	1	0	1	0.66	
Ch36	0	0	0	1	0	0	1	
Ch37	0	1	0	1	0	0	0.67	
Nombre des primitives affectées							341	
Nombre des sous-systèmes affectés							93	41.8%
Nombre maximum des sous-systèmes que l'ensemble de changements peut affecter							222	100%
Qualité totale de la décomposition							0.75	

C.3.4 Décomposition basée sur le comportement

SITrésorerie: Décomposition basée sur le comportement e									
No Changement	SS1	SS2	SS3	SS4	SS5	SS6	SS7	SS8	Qualité
Ch1	0	1	1	1	1	1	1	0	0.93
Ch2	0	1	1	0	0	1	1	1	0.41
Ch3	1	0	0	0	0	0	1	1	0.94
Ch4	0	1	1	0	0	1	1	1	0.39
Ch5	0	0	0	0	0	1	1	0	0.39
Ch6	0	1	1	0	0	0	1	0	0.88
Ch7	0	1	1	0	1	1	0	1	0.32
Ch8	0	1	1	1	1	1	1	0	0.93
Ch9	0	0	0	0	1	0	0	0	0.95
Ch10	0	1	1	0	0	0	0	0	0.97
Ch11	0	0	0	0	0	0	1	0	1
Ch12	0	0	1	1	0	0	0	0	0.88
Ch13	1	0	1	0	0	0	1	1	0.74
Ch14	0	0	0	0	0	0	1	0	0.98
Ch15	0	0	0	0	0	0	1	0	0.98
Ch16	1	0	0	0	0	0	1	1	0.86
Ch17	0	1	0	0	1	0	0	0	0.79
Ch18	0	0	0	0	0	1	0	0	0.93
Ch19	1	0	0	0	0	0	1	1	0.94
Ch20	1	0	0	0	0	0	0	0	0.93
Ch21	0	0	0	0	0	0	0	1	1
Ch22	0	0	0	0	1	0	0	0	0.93
Ch23	0	0	0	0	0	1	1	0	0.95
Ch24	0	1	0	0	0	1	1	0	0.82
Ch25	0	1	1	1	1	1	1	0	0.93
Ch26	0	1	1	1	1	1	1	0	0.48
Ch27	0	1	1	0	0	0	0	0	0.94
Ch28	0	0	1	1	1	0	0	0	0.66
Ch29	0	0	0	0	0	0	1	1	0.82
Ch30	0	1	0	0	0	0	1	0	0.88
Ch31	0	1	0	0	0	0	1	0	0.88
Ch32	0	1	0	0	0	1	1	0	0.72
Ch33	0	0	0	0	0	1	1	0	0.84
Ch34	0	1	1	0	0	0	0	1	0.57
Ch35	0	1	0	0	0	1	1	0	0.82
Ch36	0	0	0	0	0	1	0	0	1
Ch37	0	1	0	0	0	1	0	0	0.81
<i>Nombre des primitives affectées</i>									341
<i>Nombre des sous-systèmes affectés</i>								102	34%
<i>Nombre maximum des sous-systèmes que l'ensemble de changements peut affecter</i>								296	100%
<i>Qualité totale de la décomposition</i>									0.83

C.3.5 Décomposition basée sur le temps

SI : Trésorerie: Décomposition basée sur le temps									
No Changement	SS1	SS2	SS3	SS4	SS5	SS6	SS7	SS8	Qualité
Ch1	0	1	1	1	1	1	1	1	0.93
Ch2	1	1	0	0	0	0	1	1	0.51
Ch3	1	1	0	0	0	0	0	1	0.79
Ch4	1	1	0	0	0	0	1	1	0.50
Ch5	0	1	0	0	0	0	1	0	0.87
Ch6	0	1	1	1	0	0	0	0	0.97
Ch7	1	0	1	1	1	1	1	0	0.21
Ch8	0	1	1	1	1	1	1	1	0.93
Ch9	0	0	0	0	1	0	0	0	0.95
Ch10	0	1	1	1	0	0	0	0	0.97
Ch11	0	1	0	0	0	0	0	1	0.89
Ch12	0	0	0	0	1	1	0	0	0.86
Ch13	1	1	0	0	0	0	0	1	0.84
Ch14	0	0	0	0	1	1	0	0	0.82
Ch15	0	1	0	0	0	0	0	1	0.87
Ch16	1	1	0	0	0	0	0	0	0.78
Ch17	0	1	0	0	0	0	1	0	0.79
Ch18	0	0	0	0	0	0	1	0	0.93
Ch19	1	1	0	0	0	0	0	1	0.79
Ch20	1	0	0	0	0	0	0	0	0.76
Ch21	1	0	0	0	0	0	0	0	0.74
Ch22	0	0	0	0	1	0	0	0	0.93
Ch23	0	1	0	0	0	0	1	0	0.87
Ch24	0	1	0	0	0	0	1	0	0.89
Ch25	0	1	1	1	1	1	1	1	0.93
Ch26	0	1	0	1	1	1	1	0	0.70
Ch27	0	1	1	1	0	0	0	0	0.94
Ch28	0	0	0	0	1	1	0	0	0.82
Ch29	1	1	0	0	0	0	0	0	0.64
Ch30	0	1	1	0	0	0	0	0	0.86
Ch31	0	1	1	0	0	0	0	0	0.86
Ch32	0	1	0	0	0	0	1	0	0.79
Ch33	0	1	0	0	0	0	1	0	0.77
Ch34	1	1	0	0	0	0	0	0	0.64
Ch35	0	1	0	0	0	0	1	0	0.89
Ch36	0	0	0	0	0	0	1	0	1
Ch37	0	1	1	0	0	0	1	0	0.71
Nombre des primitives affectées									341
Nombre des sous-systèmes affectés								101	34.1%
Nombre maximum des sous-systèmes que l'ensemble des changements peut affecter								296	100%
Effort total de travail de la décomposition									957
Effort total de travail de la décomposition idéale									682
Effort supplémentaire de travail									275
Pourcentage d'effort supplémentaire									40%
Qualité totale de la décomposition									0.81

Annexe D

Résultats de validation des métriques de cohésion et de couplage

D.1 Système des prêts bancaires

D.1.1 Décomposition basée sur les données

<i>SI prêts bancaires: analyse détaillée de la décomposition basée sur les données</i>					
<i>Sous-système</i>	<i>SS1</i>	<i>SS2</i>	<i>SS3</i>	<i>SS4</i>	<i>SS5</i>
<i>Cohésion</i>	1	0.58	1	0.78	0.75
<i>Poids maximum de la cohésion est entre P1 et P2</i>					23
<i>Cohésion totale du système</i>					4.11
<i>Cohésion moyenne des sous-systèmes</i>					0.82
<i>Couplage entre sous-systèmes</i>			<i>SS1 et SS2</i>	29	
			<i>SS2 et SS3</i>	5	
			<i>SS2 et SS4</i>	10	
			<i>SS2 et SS5</i>	50	
			<i>SS3 et SS4</i>	10	
			<i>SS4 et SS5</i>	15	
<i>Poids maximum du couplage entre SS2 et SS5</i>					50
<i>Couplage total entre les sous-systèmes</i>					0.24
<i>Couplage moyen entre les sous-systèmes</i>					0.02
<i>Qualité de la décomposition</i>					0.77

D.1.2 Décomposition basée sur la structure administrative

<i>SI prêts bancaires: analyse détaillée de la décomposition basée sur la structure administrative</i>					
<i>Sous-système</i>	<i>SS1</i>	<i>SS2</i>	<i>SS3</i>	<i>SS4</i>	<i>SS5</i>
<i>Cohésion</i>	<i>1</i>	<i>0.68</i>	<i>1</i>	<i>0.48</i>	<i>0.64</i>
<i>Poids maximum de la cohésion est entre P1 et P2</i>					<i>23</i>
<i>Cohésion totale du système</i>					<i>3.80</i>
<i>Cohésion moyenne des sous-systèmes</i>					<i>0.76</i>
<i>Couplage entre sous-systèmes</i>				<i>SS1 et SS2</i>	<i>23</i>
				<i>SS1 et SS5</i>	<i>6</i>
				<i>SS2 et SS3</i>	<i>5</i>
				<i>SS2 et SS4</i>	<i>10</i>
				<i>SS2 et SS5</i>	<i>54</i>
				<i>SS3 et SS4</i>	<i>10</i>
				<i>SS4 et SS5</i>	<i>49</i>
<i>Poids maximum du couplage entre SS2 et SS5</i>					<i>54</i>
<i>Couplage total entre les sous-systèmes</i>					<i>0.29</i>
<i>Couplage moyen entre les sous-systèmes</i>					<i>0.03</i>
<i>Qualité de la décomposition</i>					<i>0.70</i>

D.1.3 Décomposition basée sur le comportement

<i>SI prêts bancaires: analyse détaillée de la décomposition basée sur le comportement</i>					
<i>Sous-système</i>	<i>SS1</i>	<i>SS2</i>	<i>SS3</i>	<i>SS4</i>	<i>SS5</i>
<i>Cohésion</i>	0.41	1	1	0.78	0.75
<i>Poids maximum de la cohésion est entre P1 et P2</i>					23
<i>Cohésion totale du système</i>					3.93
<i>Cohésion moyenne des sous-systèmes</i>					0.79
<i>Couplage entre sous-systèmes</i>				<i>SS1 et SS2</i>	45
				<i>SS1 et SS3</i>	5
				<i>SS1 et SS4</i>	10
				<i>SS1 et SS5</i>	50
				<i>SS3 et SS4</i>	10
				<i>SS4 et SS5</i>	15
<i>Poids maximum du couplage entre SS1 et SS5</i>					50
<i>Couplage total entre les sous-systèmes</i>					0.27
<i>Couplage moyen entre les sous-systèmes</i>					0.03
<i>Qualité de la décomposition</i>					0.73

D.1.4 Décomposition basée sur les fonctions d'affaires

<i>SI prêts bancaires: analyse détaillée de la décomposition basée sur les fonctions d'affaires</i>					
<i>Sous-système</i>	<i>SS1</i>	<i>SS2</i>	<i>SS3</i>	<i>SS4</i>	<i>SS5</i>
<i>Cohésion</i>	1	0.68	1	0.48	0.64
<i>Poids maximum de la cohésion est entre P1 et P2</i>					23
<i>Cohésion totale du système</i>					3.80
<i>Cohésion moyenne des sous-systèmes</i>					0.76
<i>Couplage entre sous-systèmes</i>			<i>SS1 et SS2</i>	23	
			<i>SS1 et SS5</i>	6	
			<i>SS2 et SS3</i>	5	
			<i>SS2 et SS4</i>	10	
			<i>SS2 et SS5</i>	54	
			<i>SS3 et SS4</i>	10	
			<i>SS4 et SS5</i>	49	
<i>Poids maximum du couplage entre SS1 et SS5</i>					54
<i>Couplage total entre les sous-systèmes</i>					0.29
<i>Couplage moyen entre les sous-systèmes</i>					0.03
<i>Qualité de la décomposition</i>					0.70

D.1.5 Décomposition basée sur le temps

<i>SI prêts bancaires: analyse détaillée de la décomposition basée sur le temps</i>					
<i>Sous-système</i>	<i>SS1</i>	<i>SS2</i>	<i>SS3</i>	<i>SS4</i>	<i>SS5</i>
<i>Cohésion</i>	<i>1</i>	<i>1</i>	<i>0.65</i>	<i>0.41</i>	<i>0.60</i>
<i>Poids maximum de la cohésion est entre P1 et P2</i>					<i>23</i>
<i>Cohésion totale du système</i>					<i>3.66</i>
<i>Cohésion moyenne des sous-systèmes</i>					<i>0.73</i>
<i>Couplage entre sous-systèmes</i>			<i>SS1 et SS2</i>	<i>17</i>	
			<i>SS1 et SS3</i>	<i>6</i>	
			<i>SS1 et SS4</i>	<i>6</i>	
			<i>SS1 et SS5</i>	<i>56</i>	
			<i>SS1 et SS5</i>	<i>15</i>	
			<i>SS1 et SS5</i>	<i>41</i>	
			<i>SS3 et SS4</i>	<i>13</i>	
			<i>SS4 et SS5</i>	<i>15</i>	
<i>Poids maximum du couplage entre SS2 et SS3</i>					<i>56</i>
<i>Couplage total entre les sous-systèmes</i>					<i>0.30</i>
<i>Couplage moyen entre les sous-systèmes</i>					<i>0.03</i>
<i>Qualité de la décomposition</i>					<i>0.67</i>

D.2 Liens du système des prêts bancaires

D.2.1 Liens physiques

<i>No lien</i>	<i>No primitive origine</i>	<i>No primitive destination</i>	<i>No sous-système origine</i>	<i>No sous-système destination</i>
Liens Physiques : données				
1	1	2	1	1
2	2	3	1	2
3	3	5	2	2
4	5	4	2	2
5	5	4	2	2
6	7	5	2	2
7	5	6	2	2
8	8	5	3	2
9	11	5	5	2
10	12	5	5	2
11	12	11	5	5
12	5	9	2	4
13	5	10	2	4
14	5	14	2	5
15	9	13	4	5
16	12	13	5	5
17	1	2	1	1

D.2.2 Liens de type structure organisationnelle

<i>No lien</i>	<i>No primitive origine</i>	<i>No primitive destination</i>	<i>No sous-système origine</i>	<i>No sous-système destination</i>
Liens coceptuels de type structure organisationnelle				
18	3	5	2	2
19	3	6	2	2
20	3	7	2	2
21	5	6	2	2
22	5	7	2	2
23	6	7	2	2
24	9	10	4	4
25	9	13	4	5
26	10	13	4	5
27	4	11	2	5
28	4	12	2	5
29	4	14	2	5
30	11	12	5	5
31	11	14	5	5
32	12	14	5	5

D.2.3 Liens de type comportement

<i>No lien</i>	<i>No primitive origine</i>	<i>No primitive destination</i>	<i>No sous-système origine</i>	<i>No sous-système destination</i>
Liens conceptuels de type comportement				
33	1	2	1	1
34	1	3	1	2
35	1	4	1	2
36	1	5	1	2
37	1	6	1	2
38	2	3	1	2
39	2	4	1	2
40	2	5	1	2
41	2	6	1	2
42	3	4	2	2
43	3	5	2	2
44	3	6	2	2
45	4	5	2	2
46	4	6	2	2
47	5	6	2	2
48	9	10	4	4
49	11	12	5	5
50	11	12	5	5
51	11	14	5	5
52	12	13	5	5
53	12	14	5	5
54	13	14	5	5

D.2.4 Liens de type données

<i>No lien</i>	<i>No primitive origine</i>	<i>No primitive destination</i>	<i>No sous-système origine</i>	<i>No sous-système destination</i>
Liens conceptuels de type données				
55	1	2	1	1
56	3	4	2	2
57	3	5	2	2
58	3	6	2	2
59	3	7	2	2
60	4	5	2	2
61	4	6	2	2
62	4	7	2	2
63	5	6	2	2
64	5	7	2	2
65	6	7	2	2
66	9	10	4	4
67	11	12	5	5
68	11	13	5	5
69	11	14	5	5
70	12	13	5	5
71	12	14	5	5
72	13	14	5	5

D.2.5 Liens de type fonctions d'affaires

<i>No lien</i>	<i>No primitive origine</i>	<i>No primitive destination</i>	<i>No sous-système origine</i>	<i>No sous-système destination</i>
Liens conceptuels de type fonctions d'affaires				
73	1	2	2	2
74	3	5	2	2
75	3	6	2	2
76	3	7	2	2
77	5	6	2	2
78	5	7	2	2
79	6	7	2	2
80	9	10	4	4
81	9	13	4	5
82	10	13	2	5
83	4	11	2	5
84	4	12	2	5
85	4	14	2	5
86	11	12	5	5
87	11	14	5	5
88	12	14	5	5

D.2.6 Liens de type temps

<i>No lien</i>	<i>No primitive origine</i>	<i>No primitive destination</i>	<i>No sous-système origine</i>	<i>No sous-système destination</i>
Liens conceptuels de type temps				
89	1	2	1	1
90	3	5	2	2
91	6	7	2	2
92	8	9	3	4
93	8	10	3	4
94	9	10	4	4
95	4	11	2	5
96	4	12	2	5
97	4	13	2	5
98	4	14	2	5
99	11	12	2	5
100	11	13	5	5
101	11	14	5	5
102	12	13	5	5
103	12	14	5	5
104	13	14	5	5

D.3 Système de gestion de portefeuille

D.3.1 Décomposition basée sur les données

<i>SI: portefeuille analyse détaillée de la décomposition basée sur les données</i>						
<i>Sous-système</i>	<i>SS1</i>	<i>SS2</i>	<i>SS3</i>	<i>SS4</i>	<i>SS5</i>	<i>SS6</i>
<i>Cohésion</i>	0.76	0.61	0.77	0.71	0.59	0.92
<i>Poids maximum de la cohésion est entre P6 et P8</i>						25
<i>Cohésion totale du système</i>						4.35
<i>Cohésion moyenne des sous-systèmes</i>						0.73
<i>Couplage entre sous-systèmes</i>				<i>SS1 et SS2</i>	25	
				<i>SS1 et SS4</i>	5	
				<i>SS1 et SS5</i>	18	
				<i>SS2 et SS3</i>	16	
				<i>SS2 et SS5</i>	80	
				<i>SS2 et SS6</i>	12	
				<i>SS3 et SS4</i>	48	
				<i>SS3 et SS5</i>	5	
				<i>SS4 et SS5</i>	17	
				<i>SS4 et SS6</i>	8	
				<i>SS5 et SS6</i>	169	
<i>Poids maximum du couplage entre SS5 et SS6</i>						169
<i>Couplage total entre les sous-systèmes</i>						0.16
<i>Couplage moyen entre les sous-systèmes</i>						0.01
<i>Qualité de la décomposition</i>						0.70

D.3.2 Décomposition basée sur la structure administrative

<i>SI: portefeuille analyse détaillée de la décomposition basée sur la structure administrative</i>				
<i>Sous-système</i>	<i>SS1</i>	<i>SS2</i>	<i>SS3</i>	
<i>Cohésion</i>	0.40	0.40	0.31	
<i>Poids maximum de la cohésion est entre P6 et P8</i>				25
<i>Cohésion totale du système</i>				1.11
<i>Cohésion moyenne des sous-systèmes</i>				0.37
<i>Couplage entre sous-systèmes</i>		<i>SS1 et SS3</i>		234
		<i>SS2 et SS3</i>		51
<i>Poids maximum du couplage entre SS1 et SS3</i>				234
<i>Couplage total entre les sous-systèmes</i>				0.42
<i>Couplage moyen entre les sous-systèmes</i>				0.14
<i>Qualité de la décomposition</i>				0.23

D.3.3 Décomposition basée sur le comportement

<i>SI: portefeuille analyse détaillée de la décomposition basée sur le comportement</i>								
<i>Sous-système</i>	<i>SS1</i>	<i>SS2</i>	<i>SS3</i>	<i>SS4</i>	<i>SS5</i>	<i>SS6</i>	<i>SS7</i>	<i>SS8</i>
<i>Cohésion</i>	0.85	1	0.54	0.45	1	0.71	0.85	0.52
<i>Poids maximum de la cohésion est entre P6 et P8</i>								25
<i>Cohésion totale du système</i>								5.92
<i>Cohésion moyenne des sous-systèmes</i>								0.74
<i>Couplage entre sous-systèmes</i>						<i>SS1 et SS2</i>	50	
						<i>SS1 et SS3</i>	16	
						<i>SS1 et SS4</i>	5	
						<i>SS1 et SS6</i>	5	
						<i>SS2 et SS3</i>	2	
						<i>SS3 et SS4</i>	22	
						<i>SS3 et SS6</i>	25	
						<i>SS3 et SS7</i>	46	
						<i>SS3 et SS8</i>	29	
						<i>SS4 et SS6</i>	32	
						<i>SS4 et SS7</i>	35	
						<i>SS4 et SS8</i>	30	
						<i>SS5 et SS6</i>	16	
						<i>SS7 et SS8</i>	90	
<i>Poids maximum du couplage entre SS5 et SS6</i>								90
<i>Couplage total entre les sous-systèmes</i>								0.19
<i>Couplage moyen entre les sous-systèmes</i>								0.01
<i>Qualité de la décomposition</i>								0.72

D.3.4 Décomposition basée sur les fonctions d'affaires

<i>SI portefeuille analyse détaillée de la décomposition basée sur les fonctions d'affaires</i>					
<i>Sous-système</i>	<i>SS1</i>	<i>SS2</i>	<i>SS3</i>	<i>SS4</i>	<i>SS5</i>
<i>Cohésion</i>	0.76	0.50	0.79	0.45	0.47
<i>Poids maximum de la cohésion est entre P6 et P8</i>					25
<i>Cohésion totale du système</i>					2.96
<i>Cohésion moyenne des sous-systèmes</i>					0.59
<i>Couplage entre sous-systèmes</i>			<i>SS1 et SS2</i>	25	
			<i>SS1 et SS3</i>	13	
			<i>SS2 et SS3</i>	76	
			<i>SS2 et SS4</i>	26	
			<i>SS3 et SS4</i>	5	
			<i>SS3 et SS5</i>	215	
			<i>SS4 et SS5</i>	45	
<i>Poids maximum du couplage entre SS3 et SS5</i>					215
<i>Couplage total entre les sous-systèmes</i>					0.24
<i>Couplage moyen entre les sous-systèmes</i>					0.02
<i>Qualité de la décomposition</i>					0.54

D.3.5 Décomposition basée sur le temps

<i>SI portefeuille analyse détaillée de la décomposition basée sur le temps</i>						
Sous-système	<i>SS1</i>	<i>SS2</i>	<i>SS3</i>	<i>SS4</i>	<i>SS5</i>	<i>SS6</i>
<i>Cohésion</i>	0.76	0.79	0.57	0.77	0.71	0.36
<i>Poids maximum de la cohésion est entre P6 et P8</i>						25
<i>Cohésion totale du système</i>						3.96
<i>Cohésion moyenne des sous-systèmes</i>						0.66
<i>Couplage entre sous-systèmes</i>				<i>SS1 et SS2</i>	15	
				<i>SS1 et SS3</i>	13	
				<i>SS1 et SS5</i>	5	
				<i>SS1 et SS6</i>	15	
				<i>SS2 et SS3</i>	54	
				<i>SS2 et SS6</i>	97	
				<i>SS3 et SS4</i>	5	
				<i>SS3 et SS5</i>	21	
				<i>SS3 et SS6</i>	112	
				<i>SS4 et SS5</i>	48	
				<i>SS4 et SS6</i>	16	
				<i>SS5 et SS6</i>	4	
<i>Poids maximum du couplage entre SS3 et SS6</i>						112
<i>Couplage total entre les sous-systèmes</i>						0.25
<i>Couplage moyen entre les sous-systèmes</i>						0.02
<i>Qualité de la décomposition</i>						0.62

D.4 Système de gestion de trésorerie

D.4.1 Décomposition basée sur les données

<i>SI Trésorerie: analyse détaillée de la décomposition basée sur les données</i>						
<i>Sous-système</i>	<i>SS1</i>	<i>SS2</i>	<i>SS3</i>	<i>SS4</i>	<i>SS5</i>	<i>SS6</i>
<i>Cohésion</i>	0.62	0.36	0.70	0.43	0.46	0.64
<i>Poids maximum de la cohésion est entre P28 et P38</i>						28
<i>Cohésion totale du système</i>						3.21
<i>Cohésion moyenne des sous-systèmes</i>						0.53
<i>Couplage entre sous-systèmes</i>				<i>SS1 et SS5</i>		330
				<i>SS2 et SS3</i>		5
				<i>SS2 et SS4</i>		271
				<i>SS2 et SS6</i>		126
				<i>SS3 et SS4</i>		15
				<i>SS4 et SS5</i>		83
				<i>SS4 et SS6</i>		13
<i>Poids maximum du couplage entre SS1 et SS5</i>						330
<i>Couplage total entre les sous-systèmes</i>						0.17
<i>Couplage moyen entre les sous-systèmes</i>						0.01
<i>Qualité de la décomposition</i>						0.51

D.4.2 Décomposition basée sur la structure administrative

<i>SI Trésorerie: analyse détaillée de la décomposition basée sur la structure administrative</i>					
<i>Sous-système</i>	<i>SS1</i>	<i>SS2</i>	<i>SS3</i>	<i>SS4</i>	<i>SS5</i>
<i>Cohésion</i>	0.62	0.64	0.70	0.27	0.29
<i>Poids maximum de la cohésion est entre P28 et P38</i>					28
<i>Cohésion totale du système</i>					2.52
<i>Cohésion moyenne des sous-systèmes</i>					0.50
<i>Couplage entre sous-systèmes</i>				<i>SS1 et SS5</i>	330
				<i>SS2 et SS4</i>	235
				<i>SS2 et SS5</i>	107
				<i>SS3 et SS4</i>	5
				<i>SS3 et SS5</i>	15
				<i>SS4 et SS5</i>	161
<i>Poids maximum du couplage entre SS1 et SS5</i>					330
<i>Couplage total entre les sous-systèmes</i>					0.26
<i>Couplage moyen entre les sous-systèmes</i>					0.03
<i>Qualité de la décomposition</i>					0.45

D.4.3 Décomposition basée sur le comportement

<i>SI Trésorerie: analyse détaillée de la décomposition basée sur le comportement</i>								
<i>Sous-système</i>	<i>SS1</i>	<i>SS2</i>	<i>SS3</i>	<i>SS4</i>	<i>SS5</i>	<i>SS6</i>	<i>SS7</i>	<i>SS8</i>
<i>Cohésion</i>	0.73	0.48	0.41	0.64	0.64	0.70	0.58	0.57
<i>Poids maximum de la cohésion est entre P28 et P38</i>								28
<i>Cohésion totale du système</i>								4.76
<i>Cohésion moyenne des sous-systèmes</i>								0.59
<i>Couplage entre sous-systèmes</i>						<i>SS1 et SS8</i>	515	
						<i>SS2 et SS3</i>	303	
						<i>SS2 et SS4</i>	60	
						<i>SS2 et SS6</i>	10	
						<i>SS2 et SS7</i>	61	
						<i>SS2 et SS8</i>	6	
						<i>SS3 et SS4</i>	195	
						<i>SS3 et SS5</i>	57	
						<i>SS3 et SS7</i>	46	
						<i>SS3 et SS8</i>	6	
						<i>SS4 et SS5</i>	82	
						<i>SS4 et SS6</i>	5	
						<i>SS6 et SS7</i>	5	
						<i>SS7 et SS8</i>	54	
<i>Poids maximum du couplage entre SS1 et SS8</i>								515
<i>Couplage total entre les sous-systèmes</i>								0.10
<i>Couplage moyen entre les sous-systèmes</i>								0
<i>Qualité de la décomposition</i>								0.58

D.4.4 Décomposition basée sur les fonctions d'affaires

<i>SI Trésorerie: analyse détaillée de la décomposition basée sur les fonctions d'affaires</i>						
<i>Sous-système</i>	<i>SS1</i>	<i>SS2</i>	<i>SS3</i>	<i>SS4</i>	<i>SS5</i>	<i>SS6</i>
<i>Cohésion</i>	0.54	0.37	0.37	0.70	0.40	0.58
<i>Poids maximum de la cohésion est entre P28 et P38</i>						28
<i>Cohésion totale du système</i>						2.96
<i>Cohésion moyenne des sous-systèmes</i>						0.49
<i>Couplage entre sous-systèmes</i>				<i>SS1 et SS2</i>	9	
				<i>SS1 et SS3</i>	3	
				<i>SS1 et SS6</i>	54	
				<i>SS2 et SS3</i>	234	
				<i>SS2 et SS4</i>	10	
				<i>SS2 et SS5</i>	110	
				<i>SS2 et SS6</i>	84	
				<i>SS3 et SS4</i>	5	
				<i>SS3 et SS5</i>	246	
				<i>SS3 et SS6</i>	23	
				<i>SS4 et SS6</i>	5	
<i>Poids maximum du couplage entre SS3 et SS5</i>						246
<i>Couplage total entre les sous-systèmes</i>						0.21
<i>Couplage moyen entre les sous-systèmes</i>						0.01
<i>Qualité de la décomposition</i>						0.46

D.4.5 Décomposition basée sur le temps

<i>SI Trésorerie: analyse détaillée de la décomposition basée sur le temps</i>								
<i>Sous-système</i>	<i>SS1</i>	<i>SS2</i>	<i>SS3</i>	<i>SS4</i>	<i>SS5</i>	<i>SS6</i>	<i>SS7</i>	<i>SS8</i>
<i>Cohésion</i>	0.54	0.50	0.64	0.64	0.64	0.60	0.70	0.46
<i>Poids maximum de la cohésion est entre P28 et P38</i>								28
<i>Cohésion totale du système</i>								4.73
<i>Cohésion moyenne des sous-systèmes</i>								0.59
<i>Couplage entre sous-systèmes</i>						<i>SS1 et SS2</i>	45	
						<i>SS1 et SS8</i>	21	
						<i>SS2 et SS3</i>	133	
						<i>SS2 et SS4</i>	144	
						<i>SS2 et SS5</i>	19	
						<i>SS2 et SS6</i>	56	
						<i>SS2 et SS7</i>	15	
						<i>SS2 et SS8</i>	64	
						<i>SS3 et SS4</i>	129	
						<i>SS3 et SS6</i>	75	
						<i>SS3 et SS8</i>	5	
						<i>SS4 et SS5</i>	24	
						<i>SS4 et SS6</i>	132	
						<i>SS4 et SS6</i>	96	
						<i>SS6 et SS7</i>	5	
<i>Poids maximum du couplage entre SS2 et SS4</i>								144
<i>Couplage total entre les sous-systèmes</i>								0.24
<i>Couplage moyen entre les sous-systèmes</i>								0.01
<i>Qualité de la décomposition</i>								0.56

D.5 Système de gestion de la paie

D.5.1 Décomposition basée sur les données

<i>SI Paie: analyse détaillée de la décomposition basée sur les données</i>				
<i>Sous-système</i>	<i>SS1</i>	<i>SS2</i>	<i>SS3</i>	<i>SS4</i>
<i>Cohésion</i>	0.67	0.85	0.85	0.83
<i>Poids maximum de la cohésion est entre P6 et P9</i>				27
<i>Cohésion totale du système</i>				3.20
<i>Cohésion moyenne des sous-systèmes</i>				0.80
<i>Couplage entre sous-systèmes</i>				
	<i>SS1 et SS2</i>			6
	<i>SS1 et SS3</i>			10
	<i>SS2 et SS3</i>			21
	<i>SS2 et SS4</i>			24
	<i>SS3 et SS4</i>			79
<i>Poids maximum du couplage entre SS1 et SS5</i>				79
<i>Couplage total entre les sous-systèmes</i>				0.30
<i>Couplage moyen entre les sous-systèmes</i>				0.05
<i>Qualité de la décomposition</i>				0.73

D.5.2 Décomposition basée sur la structure administratif

<i>SI Paie: analyse détaillée de la décomposition basée sur la structure administrative</i>				
<i>Sous-système</i>	<i>SS1</i>	<i>SS2</i>	<i>SS3</i>	<i>SS4</i>
<i>Cohésion</i>	0.67	0.85	0.85	0.83
<i>Poids maximum de la cohésion est entre P6 et P9</i>				27
<i>Cohésion totale du système</i>				3.20
<i>Cohésion moyenne des sous-systèmes</i>				0.80
<i>Couplage entre sous-systèmes</i>				
<i>SS1 et SS2</i>				6
<i>SS1 et SS3</i>				10
<i>SS2 et SS3</i>				21
<i>SS2 et SS4</i>				24
<i>SS3 et SS4</i>				79
<i>Poids maximum du couplage entre SS1 et SS5</i>				79
<i>Couplage total entre les sous-systèmes</i>				0.30
<i>Couplage moyen entre les sous-systèmes</i>				0.05
<i>Qualité de la décomposition</i>				0.37

D.5.3 Décomposition basée sur le comportement

<i>SI Paie: analyse détaillée de la décomposition basée sur le comportement</i>				
<i>Sous-système</i>	<i>SS1</i>	<i>SS2</i>	<i>SS3</i>	
<i>Cohésion</i>	0.67	0.85	0.63	
<i>Poids maximum de la cohésion est entre P6 et P9</i>				27
<i>Cohésion totale du système</i>				2.14
<i>Cohésion moyenne des sous-systèmes</i>				0.71
<i>Couplage entre sous-systèmes</i>				
	<i>SS1 et SS2</i>			6
	<i>SS1 et SS3</i>			10
	<i>SS2 et SS3</i>			45
<i>Poids maximum du couplage entre SS1 et SS3</i>				45
<i>Couplage total entre les sous-systèmes</i>				0.45
<i>Couplage moyen entre les sous-systèmes</i>				0.15
<i>Qualité de la décomposition</i>				0.56

D.5.4 Décomposition basée sur les fonctions d'affaires

<i>SI Paie: analyse détaillée de la décomposition basée sur les fonctions d'affaires</i>				
<i>Sous-système</i>	<i>SS1</i>	<i>SS2</i>		
<i>Cohésion</i>	0.67	0.42		
<i>Poids maximum de la cohésion est entre P6 et P9</i>				27
<i>Cohésion totale du système</i>				1.08
<i>Cohésion moyenne des sous-systèmes</i>				0.54
<i>Couplage entre sous-systèmes SS1 et SS2</i>				16
<i>Poids maximum du couplage entre SS1 et SS2</i>				27
<i>Couplage total entre les sous-systèmes</i>				0.59
<i>Couplage moyen entre les sous-systèmes</i>				0.59
<i>Qualité de la décomposition</i>				0.25

D.5.5 Décomposition basée sur le temps

<i>SI Paie: analyse détaillée de la décomposition basée sur le temps</i>				
<i>Sous-système</i>	<i>SS1</i>	<i>SS2</i>	<i>SS3</i>	<i>SS4</i>
<i>Cohésion</i>	0.87	1	0.85	0.63
<i>Poids maximum de la cohésion est entre P6 et P9</i>				27
<i>Cohésion totale du système</i>				3.33
<i>Cohésion moyenne des sous-systèmes</i>				0.83
<i>Couplage entre sous-systèmes SS1 et SS2</i>				31
<i>SS1 et SS3</i>				4
<i>SS1 et SS4</i>				5
<i>SS2 et SS3</i>				2
<i>SS2 et SS4</i>				5
<i>SS3 et SS4</i>				45
<i>Poids maximum du couplage entre SS1 et SS4</i>				45
<i>Couplage total entre les sous-systèmes</i>				0.34
<i>Couplage moyen entre les sous-systèmes</i>				0.06
<i>Qualité de la décomposition</i>				0.75