



HAL
open science

Définition d'un cadre pour l'organisation et l'évaluation des activités du travail coopératif

Michael David

► **To cite this version:**

Michael David. Définition d'un cadre pour l'organisation et l'évaluation des activités du travail coopératif. domain_stic.inge. Université Henri Poincaré - Nancy I, 2004. Français. NNT: . tel-00091749

HAL Id: tel-00091749

<https://theses.hal.science/tel-00091749>

Submitted on 7 Sep 2006

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

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



FACULTE DES SCIENCES & TECHNIQUES

U.F.R. Sciences et Techniques Mathématiques, Informatique et Applications
Ecole Doctorale IAEM Lorraine
Département de Formation Doctorale Automatique

Thèse

Présentée pour l'obtention du titre de

Docteur de l'Université Henri Poincaré, Nancy-I

en Sciences spécialité Automatique,
Traitement du signal et Génie informatique

par **Michaël DAVID**

**Définition d'un cadre pour l'organisation et l'évaluation
des activités du travail coopératif**

Soutenue le 14 décembre 2004

Membres du jury :

Président :	Mr Thierry DIVOUX	Professeur, UHP, Nancy I
Rapporteurs :	Mr Jacques ERSCHLER	Professeur, INSA, Toulouse
	Mr Jean-François BOUJUT	Professeur, INPG, Grenoble
Examineurs :	Mr Jean-Paul BOURRIERES	Professeur, Université de Bordeaux I
	Mr Jacques RICHARD	Professeur, UHP, Nancy I (directeur de thèse)
	Mme Zahra IDELMERFAA	Maître de conférences, UHP, Nancy I (co-directrice de thèse)



FACULTE DES SCIENCES & TECHNIQUES

U.F.R. Sciences et Techniques Mathématiques, Informatique et Applications
Ecole Doctorale IAEM Lorraine
Département de Formation Doctorale Automatique

Thèse

Présentée pour l'obtention du titre de

Docteur de l'Université Henri Poincaré, Nancy-I

en Sciences spécialité Automatique,
Traitement du signal et Génie informatique

par **Michaël DAVID**

**Définition d'un cadre pour l'organisation et l'évaluation
des activités du travail coopératif**

Soutenue le 14 décembre 2004

Membres du jury :

Président :	Mr Thierry DIVOUX	Professeur, UHP, Nancy I
Rapporteurs :	Mr Jacques ERSCHLER	Professeur, INSA, Toulouse
	Mr Jean-François BOUJUT	Professeur, INPG, Grenoble
Examineurs :	Mr Jean-Paul BOURRIERES	Professeur, Université de Bordeaux I
	Mr Jacques RICHARD	Professeur, UHP, Nancy I (directeur de thèse)
	Mme Zahra IDELMERFAA	Maître de conférences, UHP, Nancy I (co-directrice de thèse)

Remerciements

Je débute ces remerciements par préciser que cette thèse est le fruit de travaux de recherche menés au sein du Centre de Recherche en Automatique de Nancy (CRAN). J'adresse des remerciements particuliers au Professeur **Francis Lepage**, directeur pour m'avoir accueilli dans ce laboratoire ainsi qu'au professeur **Gérard Morel**, responsable du thème Productique et Automatisation de Procédés Discrets (PAPD), groupe dans lequel j'ai travaillé.

J'adresse tout d'abord mes remerciements les plus sincères au Professeur **Jacques Richard** ainsi qu'à **Zahra Idelmerfaa**, Maître de Conférences à l'Université Henri Poincaré de Nancy pour avoir bien voulu diriger ma thèse, ainsi que pour les orientations, les multiples questionnements et le suivi qu'ils m'ont accordé. Je remercie également chaleureusement **Eric Rondeau** et **Thierry Divoux**, tout deux Professeurs à l'Université Henri Poincaré pour leurs conseils avisés.

Je tiens aussi, à exprimer mes profonds remerciements à **Jacques Erschler**, Professeur à l'Institut National des Sciences Appliquées (INSA) de Toulouse, à **Jean-François Boujut**, Professeur à l'Institut National Polytechnique de Grenoble (INPG) ainsi qu'à **Jean-Paul Bourrières**, Professeur à l'Université de Bordeaux I, pour avoir accepté de participer à mon jury et ainsi participer à la finalisation de ce travail.

Mes remerciements et ma profonde reconnaissance s'adresse aussi à tous mes collègues ainsi qu'à tous les membres du laboratoire pour leur soutien, leur sympathie et l'ambiance de travail chaleureuse à laquelle ils contribuent tous.

Merci évidemment à mes proches, mes amis, mes parents, ma sœur pour leur patience, leur soutien et pour avoir accepté une disponibilité fortement réduite.

Enfin, mes tendres remerciements à celle qui a admis « de me partager avec la science » et pour qui mon amour grandit de jour en jour.

Table des Matières

CHAPITRE INTRODUCTIF

Introduction générale.....	2
Organisation du mémoire	4
0.1 Principales définitions	5
<i>0.1.1 Coopération, collaboration, coordination.....</i>	<i>5</i>
Communication.....	5
Coordination	5
Coopération.....	6
Collaboration.....	7
<i>0.1.2 Le travail coopératif.....</i>	<i>8</i>
Définition	8
Les enjeux	9
<i>0.1.3 Les méthodologies de management.....</i>	<i>10</i>
Gestion des processus	10
Gestion de la performance	10
Gestion des connaissances	11
<i>0.1.4 Les techniques et outils logiciels support du travail coopératif.....</i>	<i>12</i>
TCAO.....	12
Le CSCW	14
Le groupware	14
Le Workflow.....	16
0.2 Domaine d'étude.....	17

CHAPITRE 1

Problématique de gestion des activités coopératives18

1.1 Le développement du travail coopératif20

<i>1.1.1 Les organisations socio-économiques</i>	20
Les nouvelles organisations de travail	20
La gestion par projet	21
<i>1.1.2 Les organisations technologiques</i>	22
Relations entre technologie et coopération	22
Les Nouvelles Technologies de l'Information et de la Communication	22
Conséquences sur les échanges	23
<i>1.1.3 L'organisation méthodologique</i>	25
Les approches organisationnelles	25
L'évolution des méthodes en ingénierie	25

1.2 Les caractéristiques des coopérations28

<i>1.2.1 Les formes de coopérations</i>	28
Point de vue structurel	28
Point de vue spatio-temporel :	29
Point de vue comportemental	31
Point de vue organisationnel	32
Point de vue processus/activité	33
<i>1.2.2 La notion d'interaction</i>	34
Le modèle de conversation	34
Situation et protocole d'interaction	35

1.3 Contraintes, cadre et objectifs de l'étude37

<i>1.3.1 Contraintes de gestion des processus</i>	37
<i>1.3.2 Contraintes spécifiques aux processus coopératifs</i>	39
<i>1.3.3 Cadre d'étude</i>	41
Maturité et immaturité d'une organisation coopérative	42
Modèle d'évolution des capacités (CMM)	43
Définition opérationnelle du modèle	46
<i>1.3.4 Objectifs de l'étude</i>	47

CHAPITRE 2

Approches pour l'organisation du travail coopératif..... 49

2.1 Approche Processus 50

Définition d'un processus	50
Lien avec l'approche système	51
Le système « processus coopératif ».....	52

2.2 Description d'un processus coopératif..... 54

<i>2.2.1 Les modèles basés sur l'analyse fonctionnelle</i>	54
Principe	54
Utilisation.....	56
<i>2.2.2 Les modèles de réseau d'activités</i>	56
Les graphes de tâches.....	57
Autres modèles.....	58
<i>2.2.3 Les modèles matriciels</i>	60
Présentation.....	60
Modèles dérivés	61
<i>2.2.4 Synthèse des modèles</i>	62

2.3 L'organisation d'activités coopératives 63

<i>2.3.1 La gestion par projet</i>	64
Le modèle des livrables.....	64
Les outils de gestion de projet	65
<i>2.3.2 Macro-organisation</i>	65
Principe du partitionnement.....	66
Algorithmes de partitionnement	66
<i>2.3.3 Micro-organisation</i>	67
La gestion des tâches couplées	68
La technique du tearing.....	70
Les techniques de partitionnement de graphes	70

2.4 L'évaluation des performances d'un processus coopératif 75

<i>2.4.1 Collecter les données sur les activités et les flux</i>	75
<i>2.4.2 Les méthodes d'estimation</i>	76
Estimation de la durée d'un processus séquentiel.....	76
Estimation de la performance avec recouvrement des activités	78
Estimation de la qualité.....	80
Estimation multicritère.....	81

CHAPITRE 3

Définition et organisation du travail coopératif.....83

3.1 Démarche d'organisation des processus coopératifs ..84

3.2 Atteindre les objectifs du niveau de maturité 2.....85

3.2.1 <i>Modèles et théorie utilisés</i>	85
Design Structure Matrix (DSM)	85
Théorie des graphes	86
3.2.2 <i>Décomposition du processus : macro-organisation</i>	87
Formalisation de la complexité.....	87
Le partitionnement.....	89
Vue sur la macro-organisation.....	91
3.2.3 <i>Décomposition des tâches couplées : micro-organisation</i>	92
Critères de décomposition.....	92
Algorithme spectral.....	93
Application.....	94
3.2.4 <i>Planification des groupes de travail</i>	96
Procédure d'ordonnancement	96
Illustration.....	96

3.3 Atteindre les objectifs du niveau de maturité 3.....97

3.3.1 <i>Graphe de coopération</i>	98
Représentation de la coopération [Diaz, 92].....	98
Caractérisation de la relation R [Diaz, 96].....	98
Elaboration des graphes de coopération	99
3.3.2 <i>Identification des rôles au sein d'un groupe de travail</i>	100
3.3.3 <i>Identification des rôles entre les groupes de travail (Interfaces)</i>	102

CHAPITRE 4

Evaluation et amélioration de l'organisation du travail coopératif 106

4.1 Evaluation et amélioration au regard du CMM 108

4.2 Atteindre les objectifs du niveau de maturité 4..... 109

<i>4.2.1 Eléments du modèle d'interaction.....</i>	<i>109</i>
L'élément Activité	109
L'élément Taux de reprise	110
<i>4.2.2 Le Modèle Work Transformation Matrix.....</i>	<i>110</i>
<i>4.2.3 Modèle de calcul des performances d'une tâche couplée</i>	<i>111</i>
Les différentes variables	111
Estimation des critères	112
Illustration	113
<i>4.2.4 Interprétation du modèle de calcul des performances.....</i>	<i>114</i>
Formalisation d'une interaction entre deux activités.....	114
Notion de Criticité Virtuelle	116

4.3 Développer les objectifs du niveau de maturité 5..... 119

<i>4.3.1 Garantir les délais et optimiser les ressources.....</i>	<i>119</i>
L'adaptation de la théorie du calcul réseau.....	119
Apports engendrés	121
<i>4.3.2 Anticiper un changement dans la structure du processus</i>	<i>121</i>
Sérialisation d'une tâche couplée.....	121
Parallélisation d'une tâche couplée.....	124
Expérimentations	126
<i>4.3.3 Propositions pour le suivi des activités.....</i>	<i>128</i>
Etude de la criticité pour plus de deux activités interdépendantes	129

CHAPITRE 5

Mise en application de la démarche 132

5.1 Synthèse des techniques mises en oeuvre..... 134

5.2 Développement de l’outil COOP’R..... 137

5.2.1 Description de l’outil 137

Fonctionnalités pour les niveaux de maturité 1 et 2 137

Fonctionnalités pour les niveaux de maturité 3 et 4 138

Fonctionnalités pour le niveau de maturité 5 138

5.2.2 Etude de cas et expérimentations 140

Application de la démarche 140

Expérimentations 145

Conclusion 147

5.3 Cadre d’application de COOP’R 147

5.3.1 Contributions..... 147

5.3.2 Indicateur de qualité 149

5.3.3 Perspectives de développement..... 151

Conclusion 154

Références 158

Liste des Figures et Tableaux

Figure 0.1 : Communication, coordination, collaboration/coopération	p.7
Figure 0.2 : Eléments clés du travail coopératif	p.9
Figure 0.3 : Transformation de la connaissance	p.11
Figure 0.4 : Intégration des coopérations	p.13
Figure 0.5 : Taxonomie des outils de TCAO	p.15
Figure 0.6 : Les trois dimensions du travail coopératif	p.18
Figure 1.1 : Niveaux de confidentialité des documents	p.24
Figure 1.2 : Evolution du mode de travail en ingénierie	p.26
Figure 1.3 : Différents types et outils d'interactions	p.30
Figure 1.4 : Appartenance à un corps de métier et nombre d'acteurs	p.32
Figure 1.5 : Les différents types de relations entre activités	p.33
Figure 1.6 : Modèle de la conversation selon Winograd et Florès	p.35
Figure 1.7 : Les cinq axes caractérisant la situation d'interaction	p.36
Figure 1.8 : Les cinq axes caractérisant le protocole d'interaction	p.36
Figure 1.9 : Les cinq niveaux de maturité d'un processus	p.44
Figure 1.10 : Définition opérationnelle du modèle d'évolution des capacités ..	p.46
Figure 1.11 : Tableau de Bord Prospectif du cycle PDCA (roue de Deming). ..	p.47
Figure 2.1 : Structure du référentiel SPICE par processus	p.51
Figure 2.2 : L'activité de travail coopératif vue comme une entité systémique ..	p.52
Figure 2.3 : Un réseau d'activités structuré en entité organisationnelle	p.53
Figure 2.4 : Phases dans la gestion du système « processus coopératif »	p.53
Figure 2.5 : Décomposition d'un processus selon la méthode SADT	p.55
Figure 2.6 : Différents modèles de réseau d'activités	p.57
Figure 2.7 : Graphe de coopération	p.58
Figure 2.8 : Diagramme cause-effet	p.59
Figure 2.9 : Modèle hypergraphe	p.59
Figure 2.10 : Equivalence entre graphe orienté et DSM	p.63
Figure 2.11 : Les deux niveaux d'organisation d'un processus coopératif	p.63
Figure 2.12 : Evolution dynamique d'un planning	p.64
Figure 2.13 : Exemple de partitionnement	p.66
Figure 2.14 : La technique du tearing	p.70
Figure 2.15 : 3-partitionnement du graphe	p.72
Figure 2.16 : Algorithme multi-niveaux	p.74
Figure 2.17 : Evaluation de l'ordre A-B-C avec les chaînes de Markov	p.77
Figure 2.18 : Recouvrement d'activités et performance de l'interaction (PGM) ..	p.79

Figure 3.1 : Vue externe sur les trois premiers niveaux de maturité	p.84
Figure 3.2 : Relations caractérisées par la matrice d'échange	p.86
Figure 3.3 : Exemple de chaîne, cycle et circuit d'un graphe	p.86
Figure 3.4 : Graphe fortement (B) et non fortement (A) connexe	p.87
Figure 3.5 : Composantes Fortement Connexes (CFC) du graphe A	p.88
Figure 3.6 : Méthode des puissances de la matrice d'adjacence	p.89
Figure 3.7 : Illustration de la méthode de la matrice d'atteignabilité	p.91
Figure 3.8 : Symétrisation du graphe de coopération	p.94
Figure 3.9 : Décomposition par application de critères d'équilibrage de charge	p.95
Figure 3.10 : Procédure d'ordonnement des tâches couplées	p.96
Figure 3.11 : Partitionnement et ordonnancement d'une matrice	p.97
Figure 3.12 : Coopération entre deux acteurs a_i et a_j	p.98
Figure 3.13 : Types de coopérations	p.99
Figure 3.14 : Un exemple de Graphe de Coopération	p.99
Figure 3.15 : Calcul des valeurs d'excentricités et d'anti-excentricité pour la recherche du responsable de tâche dans un groupe de travail	p.101
Figure 3.16 : Quatre configurations pour l'interface entre 2 groupes de travail	p.103
Figure 3.17 : Identification des membres clés entre 2 groupes de travail	p.105
Figure 4.1 : Vue externe sur les cinq niveaux de maturité de l'organisation	p.108
Figure 4.2 : Elément « Activité » du modèle d'interaction	p.109
Figure 4.3 : Elément « taux de reprise » du modèle	p.110
Figure 4.4 : Le modèle Work Transformation Matrix (WTM)	p.111
Figure 4.5 : Réseau de Pétri temporisé de l'interaction entre A et B	p.115
Figure 4.6 : Evolutions possibles de la criticité au cours des itérations	p.116
Figure 4.7 : Adaptation du calcul réseau pour le travail coopératif	p.119
Figure 4.8 : Décomposition séquentielle d'une tâche couplée	p.122
Figure 4.9 : Décomposition parallèle d'une tâche couplée	p.124
Figure 4.10 : Comparaison des délais suivant la stratégie utilisée	p.127
Figure 4.11 : Evolution des importances relatives selon l'itération en cours ..	p.130
Figure 5.1 : Synthèse des techniques mises en œuvre	p.135
Figure 5.2 : Intégration des techniques d'organisation dans l'outil COOP'R ..	p.136
Figure 5.3 : L'outil COOP'R	p.139
Figure 5.4 : Niveau 1, définition et dépendances des activités	p.140
Figure 5.5 : Niveau 2, macro-organisation du processus coopératif	p.141
Figure 5.6 : Niveau 3, responsabilités dans et entre les groupes de travail	p.143
Figure 5.7 : Niveau 4, caractéristiques des activités du troisième groupe (TC3)	p.143
Figure 5.8 : Cadre de développement d'un processus coopératif	p.148
Figure 5.9 : Mise en œuvre des principes d'organisation	p.150
Figure 5.10 : Modèle conceptuel d'un système de contrôle du réseau	p.152
Tableau 1 : Récapitulatif des types de modèles et de leurs capacités	p.62
Tableau 2 : Détermination des responsabilités à l'aide de COOP'R	p.142
Tableau 3 : Niveau 5, performances des stratégies de décomposition	p.144

CHAPITRE INTRODUCTIF

Introduction générale

Dans tous les types d'industries, nous observons une pression croissante qui vise à réduire le temps et plus généralement les coûts de développement. Non seulement les entreprises élaborent des produits et des services de plus en plus sophistiqués mais la chaîne logistique, se complexifie également. Les évolutions permanentes des marchés, la concurrence intense et le développement rapide des technologies ont considérablement modifié la nature et surtout l'organisation des activités de l'entreprise [Nichols, 90]. A l'origine, les organisations de travail étaient construites, pour le développement de leurs projets, selon une approche purement séquentielle. C'est la fin d'une activité qui donnait le top de départ de la suivante. Cette méthodologie analytique de décomposition pouvait être assimilée à la métaphore de la course de relais. En effet la transmission d'informations (bâton du relais) entre deux activités (coureurs) n'était envisageable qu'en fin d'activité (distance parcourue par un relayeur). Si cette approche démontre aujourd'hui ses limites, elle avait le mérite d'être simple à mettre en place et à gérer. C'est pourquoi c'est celle qui était récemment encore appliquée dans de nombreuses entreprises. Le contexte actuel a pour conséquence de forcer les managers à se focaliser sur le processus de développement même et à organiser de manière plus efficace et moins cloisonnée, les personnes et ressources impliquées dans un travail coopératif. Le développement des technologies de communication, notamment par le biais de l'informatique, y a fortement contribué. Ainsi aujourd'hui, les échanges d'information peuvent prendre des dimensions géographiques plus importantes. Et parallèlement, les informations transférées sont de plus en plus complexes (voix, vidéo, etc.) et contraintes (temps réel, etc.).

Ainsi, les entreprises s'appuient aujourd'hui de plus en plus sur des organisations de travail qui permettent de rassembler un grand nombre de compétences métiers au sein de projets ou de processus, et de faire coopérer au mieux ces différents individus. C'est entre autre un des principes de l'ingénierie concurrente (Concurrent Engineering) que de rassembler et pouvoir coordonner les acteurs dans le domaine de l'ingénierie. Cette approche, apparue il y a une quinzaine d'années, prône en effet un rapprochement des compétences métiers. Ce qui favorise à la fois le développement de solutions innovantes et permet à l'ensemble des acteurs d'opérer une synchronisation cognitive, c'est-à-dire un développement mutuel de leurs compétences et connaissances.

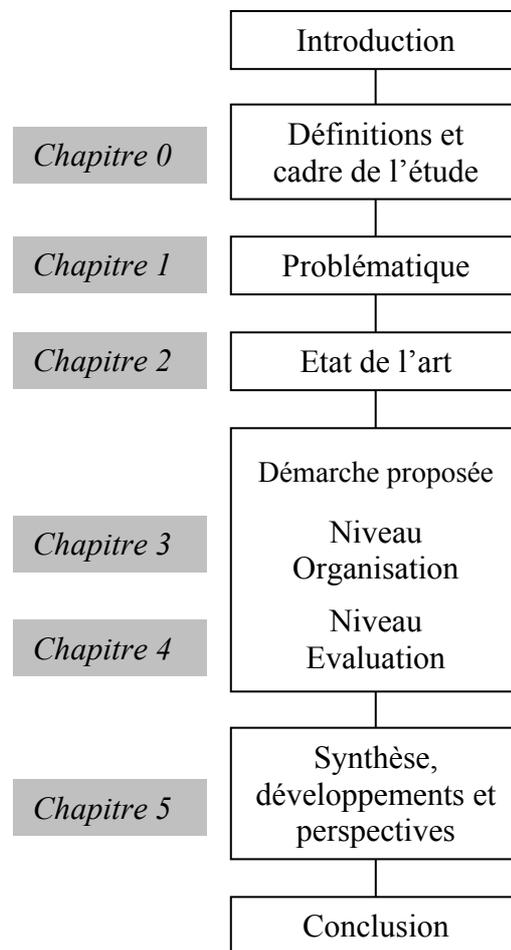
Ces nouvelles formes d'organisation du travail se sont largement répandues en exploitant le développement des nouvelles techniques de l'information et de la communication qui permettent de rassembler et faire coopérer un plus grand nombre de participants issus d'horizons et de sites différents. C'est ce qui caractérise le travail coopératif. Le travail coopératif introduit de nouvelles contraintes qui nécessitent des méthodes et des outils adaptés en particulier pour gérer les coopérations souvent complexes qu'elles induisent. En effet, si l'évolution vers des organisations de travail coopératif a pour but d'améliorer la compétitivité des entreprises, elle ne contribue cependant pas à en simplifier la gestion. Elle conduit à une division et une organisation du travail qui augmente considérablement le couplage entre les différentes activités. Ceci rend l'ensemble du travail plus complexe et donc plus difficilement gérable. Le défi est de parvenir à intégrer un grand nombre d'activités en tenant compte d'innombrables interconnexions entre ces activités. Dans de telles conditions, définir et coordonner les équipes de développement et les activités d'un projet se révèle être une tâche ardue. C'est pourquoi il est nécessaire de disposer de méthodes et d'outils d'aide à la gestion des activités complexes du travail coopératif.

L'objectif de cette thèse est de proposer une approche pour réduire la complexité organisationnelle et pour structurer le travail coopératif afin d'en améliorer l'efficacité selon un ensemble de contraintes telle la durée, la charge, le coût du travail. L'approche est méthodologique et organisationnelle, et consiste à aborder le travail coopératif du point de vue de la gestion des interactions. Les travaux que nous présentons contribuent par conséquent à la définition d'une structure organisationnelle qui s'appuie sur un ensemble de fonctionnalités d'aide à la coopération et au travail de groupe. Pour cela, l'idée est d'appliquer le cadre méthodologique proposé dans la norme ISO SPICE [ISO/IEC TR 15504, 1998] afin de définir progressivement une organisation adéquate des activités d'un travail coopératif. La norme ISO SPICE (Software Process Improvement and Capability dEtermination) est un référentiel construit autour d'un ensemble d'exigences et de guides. Ce référentiel permet d'évaluer et d'améliorer les capacités d'un processus de développement en proposant une démarche d'évolution par paliers successifs. Nous décrivons dans le cadre de nos travaux, l'application de ce « canevas » au processus de travail coopératif en vue de définir une démarche complète et structurée pour l'organisation et l'évaluation des activités d'un travail coopératif. Pour chaque niveau, des modèles et techniques sont proposés afin d'accompagner les responsables dans la mise en place de la structure organisationnelle. Cette approche permet d'aboutir à la définition, l'analyse, l'organisation, l'évaluation puis l'amélioration

continue des processus de travail coopératif. Sur ces principes a été développé un outil logiciel qui met en œuvre les principales propositions étayées dans ce mémoire. L'objet de cet outil est d'être un support efficace pour l'aide à la décision dans le cadre du management de processus coopératifs complexes.

Organisation du mémoire

Ce manuscrit est organisé selon le plan suivant :



Le chapitre 0 est un chapitre introductif qui permet de faire un point sur les principales définitions et notions liées à la coopération ou au travail coopératif. Le domaine d'étude plus spécifique à nos travaux y est également présenté. Le chapitre 1 permet de spécifier l'étendue de la problématique relative à l'organisation des activités coopératives. Le chapitre 2 présente les différents modèles, méthodes ou approches proposés dans la littérature pour aborder et

traiter cette problématique. Les chapitres 3 et 4 exposent les deux volets Organisation puis Evaluation de la démarche et les propositions de notre contribution pour la gestion des organisations coopératives. Enfin, le chapitre 5 synthétise et décrit l'utilisation de cette démarche, à travers un outil logiciel et des exemples concrets de processus coopératifs. Les perspectives de développements et d'utilisations ultérieures y sont également présentées.

0.1 Principales définitions

0.1.1 *Coopération, collaboration, coordination*

Coopération, collaboration, coordination, communication sont des concepts proches qui ne se recoupent pas toujours. Définir une plate-forme qui favorise la coopération est différent de procéder au développement d'un outil de coordination. Nous rappelons ci-dessous les principales définitions du domaine et soulignons les différences majeures.

Communication

Définition : « *Echange simple d'informations, concernant par exemple ce qui est à réaliser ou l'état d'avancement du travail* » [Petit Robert]

La différence majeure avec les autres termes réside dans le fait que cet acte peut être réalisé complètement indépendamment d'un objectif en commun entre les entités communicantes. Dans ce cas, communiquer peut être considéré comme une fin en soi. Au contraire, dans le cadre du travail de groupe, la communication est principalement vue comme un moyen.

Coordination

Définition : « *Règles et procédures qui assurent le fonctionnement d'un groupe (gestion de flux de tâches)* » [Petit Robert]

On peut également définir la coordination comme : « *l'agencement des parties d'un tout selon un plan logique, pour une fin déterminée* ». Cette définition s'adapte bien à la coordination au sein des organisations. La coordination est une façon de travailler ensemble de manière harmonieuse. La mise en place d'une véritable coordination des activités nécessite de subdiviser les objectifs de travail, d'affecter les actions aux groupes ou aux acteurs, de leur

allouer des ressources adéquates à ceux-ci et partager l'information nécessaire entre eux pour les aider à réaliser leurs buts. La coordination suppose donc :

- une *décomposition* du processus en activités,
- une *planification* des activités,
- une *affectation* des acteurs aux activités.

La coordination est l'ensemble des activités requises pour maintenir la cohérence à l'intérieur d'un processus ou à gérer les interactions entre les agents qui accomplissent ce processus. Elle est rendue plus complexe d'une part parce que les étapes du processus ne sont plus organisées en fonction des étapes d'une méthode linéaire mais en fonction de modules cohérents représentant un résultat en terme de produit (informationnel ou physique); d'autre part parce que ces étapes doivent quand même être traitées en vue d'un objectif commun. Les recouvrements entre activités bien que marginaux dans l'idéal favorisent l'émergence de conflits et traduisent souvent un manque de cohérence. Il faut donc un partage transversal d'informations entre les acteurs et une gestion de la prise de décision partagée. Ceci est surtout important en conception car elle encourage un gel tardif des décisions et une vision élargie au cycle de vie du produit mêlant forcément des acteurs et des points de vue différents. La conception du produit est le moment où ce besoin de coordination et d'assistance à la prise de décision est le plus crucial.

La coordination entre acteurs a pour objectif la mise en œuvre du travail. Elle implique en général de la coopération :

- lors de l'élaboration du planning,
- lors de sa mise en œuvre dynamique (pour faire face aux incertitudes et aléas).

Coopération

Définition : « Action de participer à une œuvre commune. Système par lequel des personnes intéressées à un but commun s'associent et partagent le profit. » [Petit Robert]

Marx avait défini en 1867 la coopération comme l'activité où : « plusieurs individus travaillent ensemble de façon planifiée dans le même processus de travail, ou dans des processus distincts, mais liés entre eux » [Marx, 1867]. On peut ajouter à cette définition l'aspect « productif ». Ainsi, un environnement coopératif est un environnement de production dans lequel c'est un groupe qui produit.

Du point de vue de la gestion des connaissances et compétences, la coopération met en lumière deux types de situations :

- la résolution de problèmes de manière distribuée, situation dans laquelle le problème est tellement complexe qu'une seule et même personne ne peut en construire qu'une représentation partielle et limitée;
- la résolution de problème en groupe, situation dans laquelle chacun peut appréhender la structure globale du problème.

Collaboration

Définition : « Création d'une vision commune des questions à traiter et d'un espace commun pour stocker et partager les informations. » [Petit Robert]

Egalement synonyme de travail en commun, d'aide, de concours, de participation, ..., le terme de collaboration est assez proche de celui de coopération. Nous emploierons ainsi indifféremment les deux termes. Cependant, la collaboration est quelque fois prise dans une acception plus large de la définition des interactions entre individus ou entre groupes de travail, lorsque le processus de conversation est peu structuré.

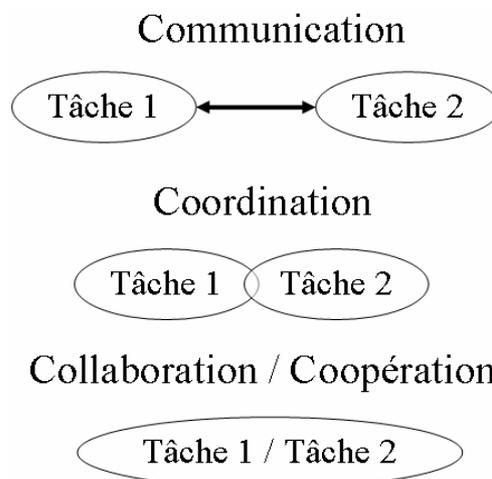


Figure 0.1 : Communication, coordination, collaboration/coopération

La figure 0.1 permet d'appréhender au travers d'une relation entre deux tâches les différents termes. Ce qui les distingue est la part d'éléments mis en commun : la communication traduit un simple partage de moyens, la coordination implique une intersection entre les domaines définis par les deux tâches et la collaboration/coopération en fait la mise en commun totale. On se rend ainsi aisément compte que la coopération/

collaboration, la coordination et la communication ne sont pas strictement synonymes et les processus impliqués ne peuvent être simplement résolus par la mise en œuvre d'outils de communication, aussi sophistiqués soient-ils. Dans tous les cas, les outils et méthodes de traitement de l'information sont au cœur du débat puisqu'il ne peut y avoir coopération ou coordination que s'il y a échange et partage d'informations et donc communication.

Il ne suffit pas de gérer indépendamment ces trois aspects du travail en groupe que sont la communication, la collaboration et la coordination (les 3 C). Il faut pour en tirer toute la puissance les mettre en synergie. Une fois encore, ce qui s'en dégagera sera plus performant que la simple addition des trois éléments.

0.1.2 Le travail coopératif

Définition

Le travail est un phénomène social. Des milliers de connexions et de relations réunissent les uns aux autres dans les processus de travail. Chaque nœud de ce réseau de processus interdépendants constitue en soi-même un petit monde social propre, impliquant l'effort concerté de nombreuses personnes. On peut ainsi reprendre la définition proposée par Schmidt :

« Le travail coopératif apparaît lorsque plusieurs acteurs sont concernés pour réaliser un travail et sont mutuellement dépendants dans leur travail et doivent coordonner et assembler leurs activités individuelles pour effectivement réaliser le travail qui leur est demandé. » [Schmidt, 91]

Si l'on considère la notion profondément sociale du travail, on ne peut que se louer des efforts qui ont abouti à la réalisation de systèmes informatiques destinés à faciliter la coopération des travailleurs. En effet, de tels systèmes ont depuis longtemps été implémentés dans les entreprises, les usines, les organisations sociales. Mais leur utilisation pratique dépend de leur capacité à s'adapter à l'organisation du travail dans l'entreprise. Le travail coopératif est donc une thématique de recherche multi-disciplinaire, associant des chercheurs des sciences humaines (psychologues, sociologues, économistes) comme des chercheurs en informatique ou télématique, associés aux futurs utilisateurs, acteurs de terrain.

Les enjeux

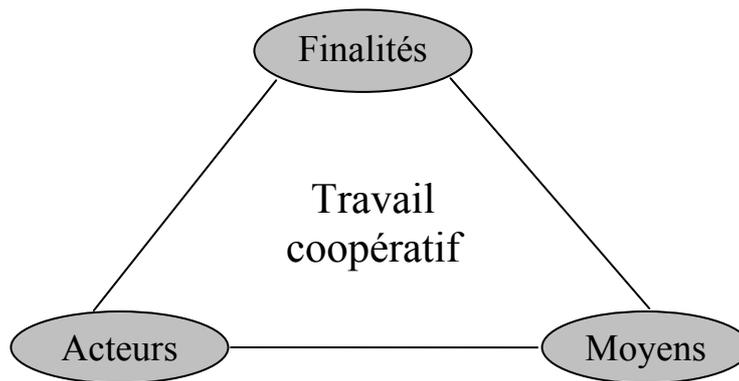


Figure 0.2 : Eléments clés du travail coopératif

Nous pouvons appréhender le travail coopératif au regard de trois entités (figure 0.2). Ainsi, la coopération équivaut au « partage » au sens d'une mise en commun entre *acteurs* de *moyens* : ressources, informations, connaissances, ... ; et de finalités : avec au minimum la connaissance des objectifs des autres acteurs de la coopération, et au maximum, une responsabilité conjointe solidaire sur un ensemble d'objectifs.

Un partage de ressources sans partage d'objectifs conduit à l'affrontement de logiques d'acteurs, source de potentiels conflits. Dans la plupart des cas, la résolution des conflits implique alors le recours à un tiers : hiérarchie, coordinateur, arbitre, tribunal, ... Mais cette solution est peu praticable et souvent préjudiciable pour une organisation en terme de coût. Un modèle paraissant idéal serait de responsabiliser un ensemble d'acteurs sur un ensemble d'objectifs (orientations et décisions pertinentes et assumées) mais le risque serait alors de diluer les responsabilités et de perdre beaucoup de temps à fonctionner par décision collective. La question est de trouver un compromis entre des identités fortes d'acteurs et un recouvrement des objectifs de façon à atteindre les principaux enjeux du travail coopératif qui sont de :

- *favoriser la coordination des participants,*
- *faciliter la communication entre les participants,*
- *faciliter le partage des ressources,*
- *favoriser la cohésion du groupe,*
- *favoriser l'implication individuelle,*
- *faciliter l'organisation du groupe.*

0.1.3 Les méthodologies de management

Après avoir investi pour optimiser leur système d'information (ERP, CRM, SCM ...), les entreprises s'attachent aujourd'hui à organiser leurs activités autour de leurs différents processus métiers. Elles ont pris conscience de l'enjeu associé à la maîtrise des processus, comme en témoigne l'importance croissante accordée aux certifications, aux réglementations et aux démarches qualité. Il est en effet aujourd'hui établi que les gains de productivité générés par la mise en oeuvre généralisée des procédures de management seront du même ordre de grandeur que ceux obtenus lors de l'automatisation de la chaîne de fabrication.

Gestion des processus

La gestion de processus métiers, appelée aussi *Business Process Management* (BPM), est l'analyse et la modélisation des procédures mises en place par l'entreprise pour réaliser ses activités. Ceci nécessite l'intervention d'une nouvelle catégorie de logiciels unifiant le système d'information et permettant aux opérationnels de reprendre la main sur la définition, la mise en place, le suivi et l'évolution des procédures de l'entreprise. Plus spécifique à la coopération, le *Business Process Reengineering* (BPR) [Khoshafian, 95] consiste à remodeler, rationaliser des équipes de travail mais aussi à identifier les responsabilités des acteurs au sein du processus de travail. Les caractéristiques des logiciels de gestion de processus sont :

- *la désintermédiation* : permettre aux experts et décideurs de définir directement les nouvelles règles, procédures ou applications sans l'intervention d'un informaticien,
- *l'interopérabilité* : ne pas remettre en cause le système d'information existant, s'appuyer sur ses ressources pour faciliter le déploiement des nouvelles procédures,
- *l'évolutivité* : offrir les outils nécessaires pour intégrer les technologies et les composants du système d'information et pour répondre aux évolutions rapides de l'environnement de l'entreprise,
- *la réutilisabilité* : fournir la capacité de partager les "bonnes pratiques" au sein de l'entreprise pour augmenter sa réactivité et son efficacité.

Gestion de la performance

Le *Corporate Performance Management* ou CPM est une approche de gestion qui propose une amélioration globale de l'organisation. La « gestion globale » de la performance correspond à la promesse, pour un cadre exécutif, d'une part d'avoir accès aux statistiques détaillées de toutes les activités de son entreprise (pour leur appliquer des traitements,

identifier ainsi les améliorations possibles, imaginer des pistes de réorientation stratégique...), et d'autre part d'observer directement les répercussions d'éventuels changements organisationnels [Midler, 93] ou les répercussions dans la répartition des budgets évaluées par l'outil informatique. Plus encore, une solution de CPM permet dans l'idéal au cadre en question de valider la plus efficace des stratégies envisagées, et de la mettre en application. Il quitte alors le mode "simulation" pour rentrer dans le mode "opérateur". Les procédures sont modifiées, les informations des ERP mises à jour, les objectifs des salariés révisés, etc. Toute la chaîne de commandement et d'organisation est automatiquement informée de ces changements. Bref, le CPM se présente comme une forme complète et ambitieuse d'assistance au management. Si l'on en juge par l'étendue des prérequis, il semble que le CPM soit encore très loin de nous, et réservé aux entreprises les plus volontaristes et les plus dématérialisées. Pourtant, le Gartner prévoyait en 2003 que 40 % des entreprises adopteront le CPM d'ici 2005. Une chose est sûre : il manque encore un standard universel, qui permette à tous les progiciels de chaque entreprise d'interagir en vue de former un véritable système de CPM.

Gestion des connaissances

Totalement intégrée dans l'amélioration des processus, la gestion des connaissances est la pierre angulaire de la stratégie de management. Dans notre approche, chaque acteur d'un processus coopératif acquiert des connaissances « projet ». C'est cette appréhension collective des informations relatives à un processus de travail qui permet l'évolution du processus. [Baumard, 96] a présenté les différentes possibilités de transformation de la connaissance selon deux axes (figure 0.3) : le nombre d'acteurs (individu ou collectif) et le caractère implicite ou non de la transformation. Sur cette représentation, ce sont essentiellement les transformations horizontales relatives au nombre d'acteurs qui vont nous intéresser.

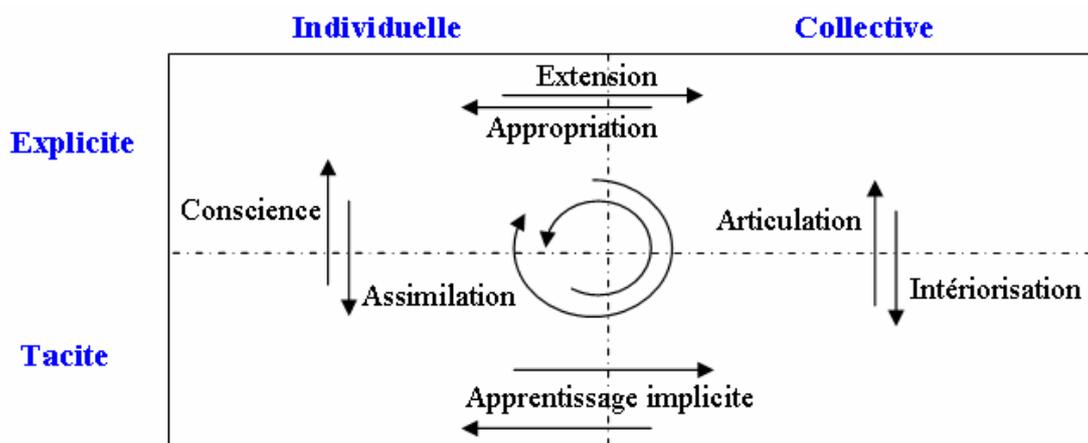


Figure 0.3 : Transformation de la connaissance [Baumard, 96]

Le cadre de développement du travail coopératif doit ainsi permettre :

- d'*étendre* les connaissances individuelles au groupe,
- de faciliter l'*appropriation* des connaissances collectives par les individus.

Une fois ces pratiques assimilées, le partage et l'*apprentissage* des connaissances pourront être réalisés de manière *implicite*. Comme le concept de *Knowledge Based Engineering* ou KBE le prône, il s'agit donc de favoriser la remontée d'informations en provenance de chaque activité (par des phénomènes de *conscience* et d'*assimilation*). Ceci afin d'alimenter la vision collective, qui est une forme d'intelligence comme le décrit Pierre Levy [Levy, 97]. Selon le niveau de connaissance, on recueille tout d'abord des informations sur le processus de travail lui-même, puis sur des références ou indicateurs de performance du processus pour enfin parvenir à estimer et à améliorer continuellement sa qualité. Au plus près de la philosophie poursuivie dans cette thèse, [Dorn, 95] propose une approche itérative de management. Elle consiste à appréhender le développement selon des phases successives de travail (élaboration de la connaissance) et d'échanges (partage de la connaissance).

0.1.4 Les techniques et outils logiciels support du travail coopératif

Pour réaliser un développement mutuel de connaissances, les managers peuvent entre autre s'appuyer sur des techniques et outils appropriés. On doit le concept de Travail Coopératif Assisté par Ordinateur (TCAO) à Ray Ozzie, créateur de *Lotus Notes* et considéré comme le père du groupware. Aujourd'hui, toutes les entreprises - ou presque - utilisent ce type d'outils. Certaines se contentent d'améliorer leur communication grâce à l'email, d'autres vont beaucoup plus loin en confiant la supervision et la coordination de leurs projets à un ordinateur.

TCAO

La littérature fournit deux grandes définitions de la TCAO :

- La première que l'on peut qualifier de sociale nous est donnée par [Bannon, 89] : « *La TCAO devrait être considérée comme une tentative de comprendre la nature et les caractéristiques du travail coopératif, avec comme objectif la conception d'une technologie informatique adéquate.* »

- La seconde est axée uniquement sur l'aspect informatique [Ellis, 91] : « *La TCAO est un ensemble de systèmes informatiques qui assistent un groupe de personnes engagées dans une tâche commune et qui fournissent une interface à un environnement partagé.* »

Ces deux définitions se retrouvent sur un point : l'importance de concevoir un environnement partagé propice au travail de groupe. L'implémentation des organisations de travail se fait par l'intermédiaire d'outils permettant de « reconnecter » entre elles les ressources de l'entreprise distribuée (figure 0.4). Les méthodes d'organisation du travail coopératif sont facilitées par l'informatique. Les technologies développées permettent l'établissement de protocoles de communication qui sont mis en œuvre à travers les réseaux pour définir des architectures de travail. Dégageons les trois technologies les plus éprouvées :

- Le *CSCW* (Computer Supported Cooperative Work) : activité coordonnée assistée par ordinateur, comme la communication ou la résolution des problèmes effectués par un groupe d'individus qui coopèrent [Beacker, 93].

- Le *Groupware* : technologie développée dans le but de faciliter les interactions informelles en renforçant les aspects communication, coordination et coopération [Bock, 92].

- Le *Workflow* : technologie développée en vue de restructurer les procédures métiers de l'entreprise en automatisant les règles formelles [Bock, 92].

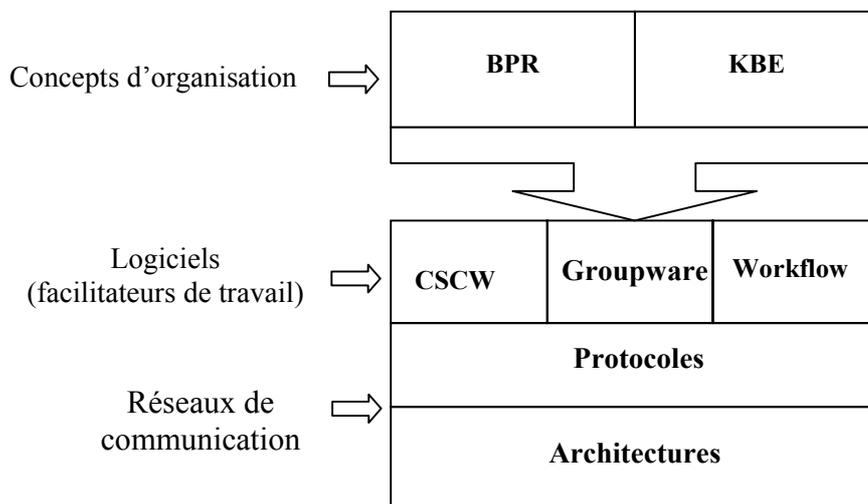


Figure 0.4 : Intégration des coopérations

Toutefois, de nombreuses définitions et utilisations de ces termes existent, c'est pourquoi nous allons en expliciter les nuances. Ceci permettra de faire une synthèse des outils de Travail Collaboratif Assisté par Ordinateur (TCAO).

Le CSCW

Le CSCW (traduction anglaise du terme TCAO qui cependant est moins réducteur) étudie les mécanismes individuels et collectifs du travail de groupe et recherche comment les technologies de l'information et de la communication peuvent faciliter ce travail. C'est un domaine de recherche multidisciplinaire intéressant aussi bien les sociologues, les psychologues, les ergonomes que les informaticiens et évidemment les managers. Bien que le CSCW comporte le terme "Computer", les outils mis en jeu dans cette discipline dépassent de beaucoup l'ordinateur en incluant la téléphonie, les messageries, la vidéo et les systèmes d'imagerie [Grudin, 91].

D'après [Wilson, 90], « *CSCW est un terme générique qui combine la compréhension du travail des individus dans les groupes avec les technologies habilitantes (disponibles) des réseaux de communication, des matériels et logiciels associés, des services et des techniques* ». La prise de conscience de groupe, la communication et la coordination à l'intérieur du groupe partageant le même espace d'information ainsi que les interfaces multi-utilisateurs sont les composantes clés du CSCW.

Le groupware

Toutes les applications que l'on met en oeuvre dans les intranets collaboratifs font partie d'un domaine de l'informatique qui existe maintenant depuis plus d'une quinzaine d'années sous le vocable de groupware (parfois traduit par collecticiel en français). Les outils appartenant à cette grande famille de solutions permettent d'améliorer grandement le travail coopératif entre les différents membres d'une même équipe ou entre les membres d'équipes différentes ayant des informations à partager. Peu d'entreprises osait franchir le pas jusqu'au milieu des années 90, mais avec l'avènement des technologies Internet, il se trouve que les protocoles de base nécessaires à ce type d'application se sont standardisés, donnant lieu à une expression de besoins de la part des utilisateurs jamais vu jusqu'à présent dans ces domaines. On retrouve donc maintenant tout naturellement ces applications recensées comme point central des intranets devant être déployés au sein des entreprises.

Le domaine de la publication d'informations a une couverture plus large que les simples applications de groupware. C'est pourtant un domaine que l'on retrouve pris en compte dans les grands produits de groupware tels que Lotus Notes, par la possibilité de créer des bases de données dédiées à la publication d'information, les bases de documents. C'est bien entendu ce

qui a fait le succès des sites Web, grâce à la création du langage HTML et des serveurs HTTP, qui ont permis la diffusion d'information sur n'importe quel réseau TCP/IP de base.

D'après [Saadoun, 96], le groupware n'est pas seulement un produit logiciel, mais un mode de fonctionnement en équipe qui facilite et améliore la coopération, la communication et la coordination (les 3C). Il implique simultanément trois constituants indissociables :

- le management, c'est à dire la gestion des hommes, des métiers et des compétences,
- l'organisation qui détermine le processus de travail,
- les technologies de l'information, qui apportent les moyens pour faire vivre les processus.

Il existe différentes typologies des outils de groupware. Les outils peuvent être ainsi classés en regard de leurs apports en matière de communication, coordination et coopération (figure 0.5). On peut également proposer une taxinomie selon quatre grandes classes d'outils :

- ✓ *Les outils de communication de base (mail, tableau blanc, vidéoconférence ...)*
- ✓ *Les espaces de travail partagé (partage d'applications, forums ...)*
- ✓ *Les outils d'accès au savoir ou de Knowledge Management (bibliothèques, portails ...)*
- ✓ *Les outils de workflow (outils de gestion des tâches, de synchronisation, agendas partagés ...)*

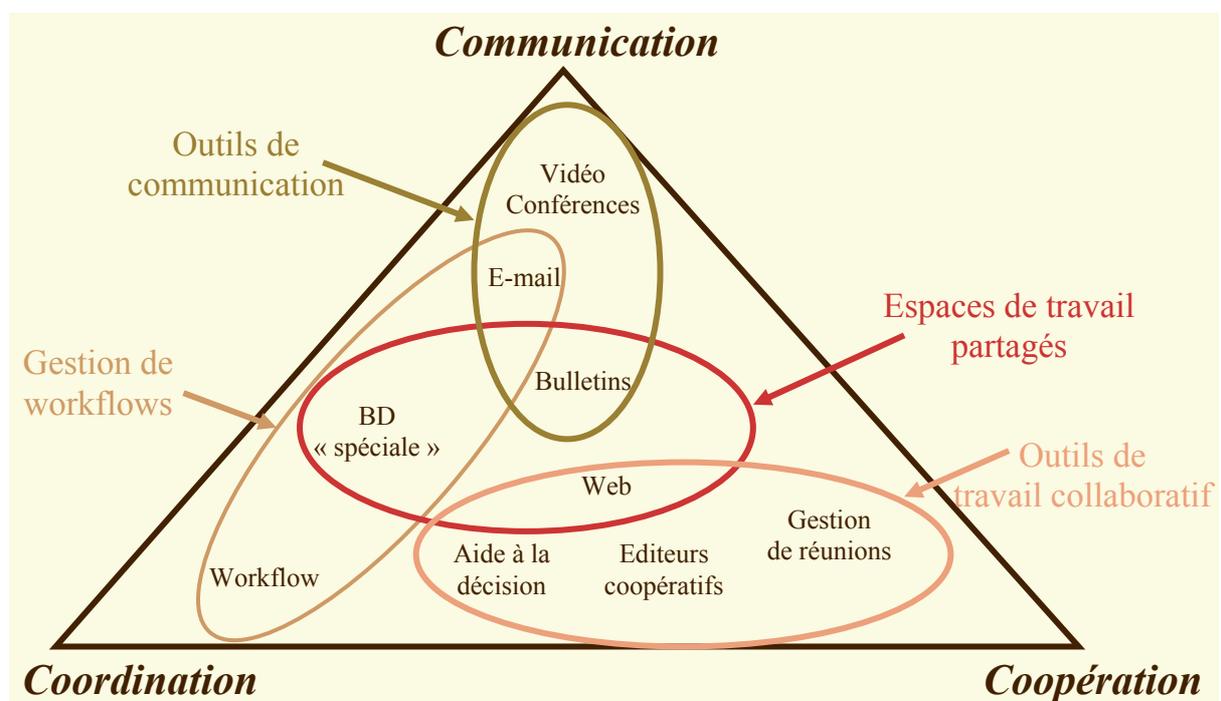


Figure 0.5 : Taxinomie des outils de TCAO

Le Workflow

Le workflow, littéralement « flux de travail », peut être défini comme l’outil support d’un travail coopératif impliquant un nombre limité de personnes devant accomplir, en un temps limité, des tâches articulées autour d’une procédure définie et ayant un objectif global. Le workflow est souvent synonyme d’ « automatisation des processus d’entreprise ». C’est un outil qui tente d’automatiser la séquence des actions, des activités ou des tâches que nécessitent un processus de travail depuis sa création jusqu’à sa phase terminale. Il permet de gérer l’ensemble du processus en suivant l’état de chacune de ses instances [Marshak, 94]. En identifiant et en reliant les participants aux processus, il rend l’information disponible de façon méthodique, tout en améliorant la qualité et la vitesse du processus. Il permet ainsi de fédérer les ressources et les acteurs de l’entreprise, aujourd’hui de plus en plus dispersés.

Un logiciel de workflow est un outil qui responsabilise les individus et les groupes, dans des environnements structurés ou non, en vue de gérer automatiquement une série d’événements récurrents ou non récurrents pour atteindre les objectifs métier de l’entreprise [Palermo, 92]. On distingue alors deux types de workflow :

- Workflow de *production* (ou transactionnel) : aussi appelé workflow directif, il correspond à des processus métiers connus de l’entreprise qui font l’objet de procédures pré-établies. Le cheminement du workflow de production est donc plus ou moins figé.
- Workflow *ad hoc* : il est basé sur un modèle collaboratif dans lequel les acteurs interviennent dans la décision du cheminement. Le cheminement du workflow ad hoc est donc dynamique.

Le workflow concerne un travail dans lequel plusieurs personnes sont impliquées pour atteindre l’objectif global, mais à des étapes différentes du développement. Les procédures sont alors vues comme un enchaînement pré-établi de traitements découplés. Le problème de l’organisation du travail à l’intérieur d’une étape du développement reste en suspens. De même, le workflow ne prend que très peu en compte, voire pas du tout, l’organisation du travail des individus, et n’aborde pas les aspects dynamiques.

Les outils de travail coopératif constituent une aide à la mise en place et aux développements des organisations de demain, basées sur des structures horizontales. Leur impact sur l'organisation du travail est important. Cependant, la plupart des méthodes actuelles de conception de tels systèmes coopératifs est trop orientée vers l'organisation des données et l'automatisation des traitements (les outils) et non vers l'organisation du travail des hommes (les méthodes). Il est donc nécessaire de mettre en évidence les spécificités organisationnelles du travail coopératif pour construire un système d'information adéquat. De même, il faut tenir compte le plus tôt possible des outils disponibles de communication et de coopération pour l'élaboration et l'amélioration des organisations de travail coopératif.

0.2 Domaine d'étude

Comme nous l'avons montré précédemment le travail coopératif est un domaine pluridisciplinaire. Trois dimensions le caractérisent (figure 0.6) :

- *sociologique*, où il s'agit d'étudier les aspects psychologiques, sociaux, économiques du travail en groupe. Ceci permet d'analyser et de comprendre les comportements individuels et ainsi d'anticiper les problèmes éventuels pouvant rejaillir sur une organisation coopérative ;
- *méthodologique*, où l'objectif principal est d'organiser au mieux le travail coopératif. Cela passe par l'intégration des besoins pointés par les Sciences Humaines et Sociales (SHS) pour réussir un développement multi participatif. Il s'agit donc d'analyser les besoins, de structurer l'organisation en groupes de travail, de définir les rôles et les responsabilités mais également d'évaluer les performances de l'organisation en vue de son contrôle et de son amélioration ;
- *technologique*, où l'on met en œuvre les préconisations établies dans l'organisation méthodologique du travail coopératif. Il s'agit entre autre avant le développement, de choisir les outils adéquats, de les configurer et de définir l'architecture du réseau de communication correspondante. Le réseau peut également être instrumenté en vue de retourner des renseignements sur un processus au cours de son développement. Ces retours sont alors utilisés pour le suivi du travail et l'adaptation éventuelle de l'organisation.

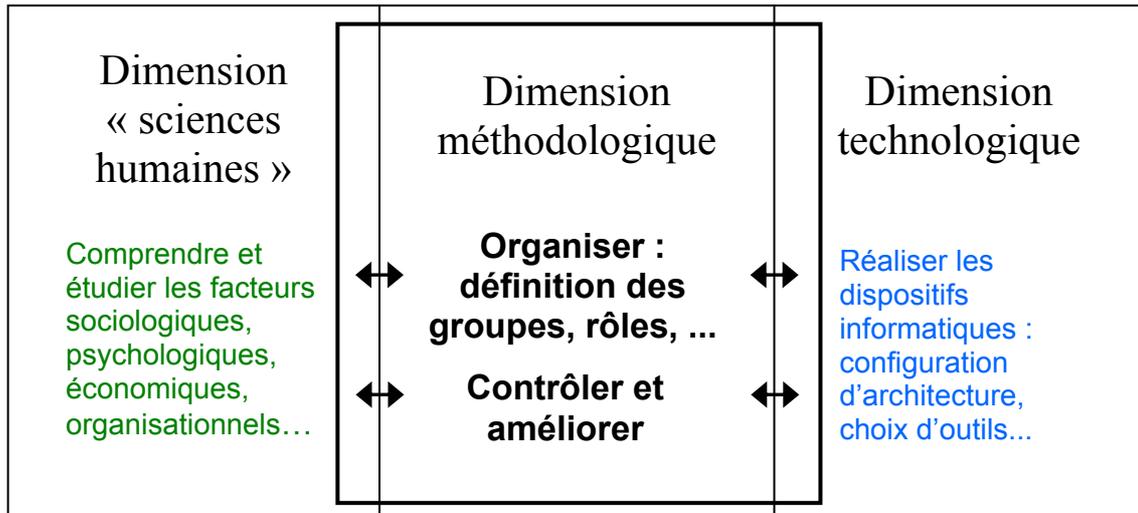


Figure 0.6 : Les trois dimensions du travail coopératif

Le domaine particulier dont ce mémoire fait l'objet est l'aspect méthodologique. Cette dimension fait le lien ou le tampon entre les deux autres domaines, ses objectifs sont :

- d'analyser et d'intégrer entre autres les facteurs humains au travers de l'étude des interactions pour organiser « au mieux » le travail coopératif et permettre de configurer les architectures et les divers éléments technologiques, supports du travail coopératif,
- de prendre en compte les retours délivrés par les dispositifs technologiques pour contrôler et améliorer continuellement l'organisation des processus coopératifs.

CHAPITRE I

Problématique de gestion des activités coopératives

1.1 Le développement du travail coopératif

S'il y a depuis quelques années un regain d'intérêt pour une dimension coopérative ou collaborative dans toute forme de travail, c'est sans doute en réponse à deux situations :

- Une situation sociale ou socio-économique caractérisée par une modification des exigences qualitatives et un renforcement de la compétitivité des différents acteurs économiques sous l'effet de la concurrence. Cette situation oblige à repenser l'organisation du travail et les formes de collaboration entre acteurs.
- Une situation technique avec l'apparition de l'informatique et plus récemment encore des systèmes d'information en réseau comme Internet qui renforcent les échanges en obligeant à la définition de nouveaux protocoles de collaboration et à des pratiques de plus en plus coopératives.

Après avoir étudié les facteurs socio-économiques et technologiques qui ont favorisé le développement du travail coopératif, nous verrons ensuite quelles nouvelles méthodologies sont apparues notamment dans le domaine d'application auquel nous nous sommes plus particulièrement intéressé : l'ingénierie.

1.1.1 Les organisations socio-économiques

Les nouvelles organisations de travail

La nouvelle donne économique est portée par un phénomène inéluctable et sans cesse évolutif qui est la mondialisation. Cet état de fait entraîne un accroissement de la concurrence et un renforcement de la compétitivité qui bouleverse la manière de travailler des différents acteurs économiques. Les nouvelles organisations de travail laissent apparaître ainsi de nouveaux besoins comme l'optimisation accrue des ressources, l'autoformation tout au long de la carrière des individus ou encore le travail à distance ... Les solutions mises en place consistent alors à favoriser le partage de connaissances, de ressources et la mise en commun d'objectifs : donc plus généralement, la coopération. Non pas que cet aspect collaboratif n'existait pas dans les anciennes organisations puisque chaque entreprise est un rassemblement d'individus qui poursuivent un même but. Mais il s'agit dorénavant de considérer la coopération comme un point crucial permettant de se différencier (dans le temps et dans l'innovation) par rapport à une concurrence internationale.

Un autre facteur a complexifié la gestion des relations entre acteurs économiques. C'est le glissement des coopérations vers une échelle multi-entreprises. Les concepts d' « entreprise étendue » ou de « chaîne logistique » mettent en avant le fait qu'il ne s'agit plus de gérer les interactions uniquement au sein d'une institution ou d'une entreprise, mais également d'appréhender les échanges entre plusieurs d'entre elles.

Les modes d'organisation du travail se trouvent considérablement modifiés, donnant une importance majeure au développement du travail coopératif. Il s'agit de répondre à des contraintes de plus en plus fortes : distance, sûreté de fonctionnement, confidentialité, agrandissement et complexification du réseau d'individus ... La coopération est ainsi devenue un moyen d'émergence, ce qui en fait un inévitable élément à intégrer dans la problématique d'organisation du travail.

La gestion par projet

Les caractères flexible et éphémère des nouvelles organisations encouragent fortement le mode de gestion par projet. L'organisation par projet n'est plus le seul apanage de certains secteurs d'activité : ingénierie, spatial, armement, travaux publics, recherche pétrolière..., comme il y a encore quelques années. En effet il s'étend aujourd'hui à pratiquement tous les autres secteurs. Des entreprises et des organisations de toute taille sont concernées. L'organisation par projet a pris également d'autres formes en touchant beaucoup plus à l'immatériel : projets culturels, de réorganisation, informatiques, de fusion-acquisition, de conduite du changement : la liste n'est pas exhaustive. Travailler en mode projet signifie un changement assez profond de culture (l'orientation projet, avec passage du management vertical au management transversal), changement qui ne s'impose pas, qui demande du temps et un véritable consensus général. Dans de nombreux cas le mode projet a montré son efficacité, mais il est clair que la réussite des projets, quelque soient leur nature et leur dimension, dépend de cette culture, mais aussi et bien évidemment de la qualité des intervenants, des outils et des méthodes utilisés, de l'environnement du projet.

Le travail en équipe ou en anglais « Teamwork », la mise en réseau de compétences des collectifs de travail et des individus sont devenus des éléments clés de la société. Le management des entreprises, plus basé aujourd'hui sur la valorisation de la ressource humaine que par le passé souvent productiviste et tayloriste, évolue vers de nouveaux modèles moins hiérarchiques, valorisant la mise en réseau et la coopération.

En regard et conjointement à cette problématique socio-économique émergente sont apparues des technologies permettant de « réduire » les distances, d'améliorer les processus et ainsi de favoriser, mais en même temps complexifier le travail coopératif.

1.1.2 Les organisations technologiques

Relations entre technologie et coopération

La question des technologies n'est pas un phénomène annexe qui ne relèverait que du champ des techniques et que l'on devrait traiter avec distance. Elle est au cœur de la question posée de la coopération non seulement parce qu'elle rend possible les échanges mais également parce qu'elle les structure. Peut être faut-il faire quelques clins d'œil à l'histoire pour comprendre que les questions afférentes aux techniques de l'information ont des effets majeurs sur le système social tout entier.

L'invention de l'écriture n'a pas été simplement un moyen nouveau pour porter la pensée, cela a introduit un bouleversement dans les structures de la pensée, dans la construction du sens, dans le rapport des hommes au monde et finalement dans le rapport des hommes entre eux. Ainsi ce que l'on nomme souvent le « génie grec » avec le formidable essor des sciences, des techniques et des arts ne peut se comprendre sans ce bouleversement de l'adoption de l'écriture et de l'alphabet. Plus proche de nous, le téléphone et le fax ont transformé les modes de collaboration et de coopération en accroissant considérablement les flux d'informations et en rendant les échanges plus synchrones. Ce raccourcissement du temps dans les transactions a modifié les comportements de tous. Dans le monde économique, il a contribué à remodeler les systèmes organisationnels qui sont de moins en moins construits selon des structures hiérarchiques et de plus en plus sur des structures en réseau.

Les Nouvelles Technologies de l'Information et de la Communication

Le développement des Nouvelles Technologies de l'Information et de la Communication (NTIC) et des Echanges de Données Informatisées (EDI) peut être observé aujourd'hui avec le même regard. En effet si l'on veut bien ne pas se limiter à une approche instrumentaliste, derrière les échanges d'informations numérisées se construisent des manières singulières d'agir ensemble [Cicognani, 97]. On peut distinguer deux moments dans ce développement :

- Les années 80 se caractérisent par une diffusion massive de « l'informatique métier ». Dans cette première période, l'informatique s'est contentée de transposer les pratiques de

chacun des intervenants. Elle a augmenté fortement les productivités sectorielles sans remettre en cause fondamentalement les pratiques d'échanges de l'information et les rapports de collaboration entre acteurs.

- Les années 90 ont vu l'émergence de « l'informatique en réseaux » [Nam, 98]. Les réseaux ont introduit un tout autre changement. En augmentant l'accessibilité en temps réel à une multitude d'informations, en réduisant encore les temps de la conception, en rendant possible une synchronisation forte des décisions, ils induisent le passage d'une ingénierie fortement cloisonnée à une ingénierie de plus en plus ouverte. Les pratiques séculaires de collaboration se trouvent donc remises en question par cette concourance des informations qui obligent à redéfinir les méthodes et les outils de décision et de travail.

Les NTIC tendent à faire disparaître les barrières géographiques. Ces technologies permettent de traiter, de modifier et d'échanger de l'information. Leur naissance et leur rapide évolution sont dues notamment à la convergence de l'informatique, des télécommunications et de l'audiovisuel. Ainsi, Internet, le multimédia statique ou interactif (sons, images), les techniques de numérisation et de compression, la puissance des microprocesseurs, sont autant de facteurs qui offrent de nouvelles possibilités. Dès lors, on voit apparaître un grand nombre d'applications telles que la vidéoconférence, les tableaux blancs et partage d'applications, les présentations interactives, les agendas, le commerce électronique, mettant en œuvre toutes ces technologies récentes. Les TIC convergent aujourd'hui vers des services mondiaux intégrant la voix, les données, les images et la télévision. Depuis son bureau, son domicile ou même pendant ses déplacements, chacun peut accéder à une quantité innombrable d'informations multimédias [Figer, 97].

Conséquences sur les échanges

On voit apparaître de nouvelles formes de travail fondées sur les possibilités proposées par les NTIC. On peut notamment citer toutes sortes de « e- » activité : e-commerce, e-travail et même e-organisation. L'avantage majeur mis en avant dans ce type d'activités électroniques est un accès à un contenu ou un service depuis n'importe quel point du globe. Un réseau mondial tel qu'Internet permet en effet la mobilité ou le travail à domicile pour les individus et même l'absence de bureaux fixes pour une entreprise. Ces nouveaux modes de travail même s'ils ne sont pas encore tous très employés peuvent modifier les comportements sociaux.

D'une manière générale, on assiste à un phénomène d'ouverture sur toutes sortes de sources d'informations et à la fois à un plus ou moins important cloisonnement des individus du fait même de l'utilisation des NTIC. Cette ambivalence entre rapprochement et isolement constitue une nouvelle donne pour l'organisation au sein des entreprises. Il s'agit de trouver une frontière optimale pour un partage efficace des informations. L'utilisateur doit pouvoir accéder à toutes les données dont il a besoin, mais ne pas pour autant se perdre dans une nuée d'informations. La gestion documentaire par niveaux de confidentialité est par exemple une piste pour définir cette frontière (voir figure 1.1). Nous verrons par la suite des outils plus complexes permettant de gérer un système d'information dans un environnement collaboratif.

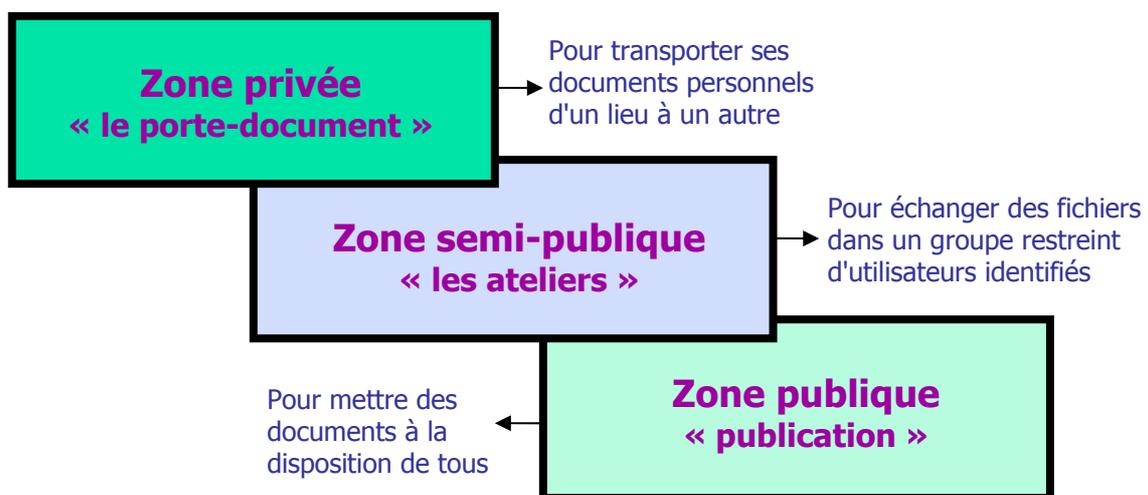


Figure 1.1 : Niveaux de confidentialité des documents

Ces nouvelles formes de travail ont des conséquences directes sur les échanges entre collaborateurs. Ainsi on peut retenir quatre types d'évolution de leurs caractéristiques :

- La régression des échanges directs,
- La diminution des échanges papiers (dématérialisation),
- La multiplication des ressources,
- Le caractère de plus en plus éphémère des informations échangées.

La diminution progressive des échanges directs entre collaborateurs au sein d'une entreprise peut nuire à la cohésion sociale et au travail. La fonction coopérative mise en place peut donc être fortement réduite ou annihilée dans le cadre d'une acceptation partielle de l'ensemble des acteurs. De même, l'abondance des sources et des contenus, ainsi que la faible durée de vie des informations introduisent le problème de la cohérence des données.

Si les technologies nouvelles apportent une plus grande facilité au développement du travail en groupe, elles modifient aussi considérablement la manière de travailler et les échanges entre individus. Pour maîtriser ces paramètres, de nouvelles approches méthodologiques sont apparues ces vingt dernières années.

1.1.3 L'organisation méthodologique

Les approches organisationnelles

Les facteurs socio-économiques et technologiques favorisent ou orientent les organisations vers des structures de travail permettant de rassembler un plus grand nombre de compétences métiers et donc d'acteurs au sein d'un projet, mais surtout exigent de faire collaborer et communiquer ces acteurs de manière la plus efficace possible. Actuellement, la définition de ces structures de travail repose sur des concepts tels que :

1. le BPR (Business Process Reengineering) [Khoshafian, 95] qui consiste non seulement à remodeler, rationaliser des équipes de travail mais aussi à identifier les responsabilités des acteurs au sein du processus de travail;
2. le KBE (Knowledge-Based Engineering) qui étudie les mécanismes de prise de décision dans les processus coopératifs tels les projets de conception.

Ces deux approches qui convergent vers un même objectif, à savoir la maîtrise du processus, relèvent d'une démarche semblable. Elles définissent une organisation de travail qui s'appuie sur les connaissances d'une entreprise déduites de l'analyse de projets antérieurs. Le but est de réutiliser ces connaissances pour des projets futurs similaires afin de redéfinir rapidement un type d'organisation adaptée à chaque nouveau projet. Cette capitalisation du savoir-faire est intéressante pour la plupart des entreprises qui en moyenne développent uniquement 20% de produits nouveaux par an par rapport à l'ensemble de leur production [Prasad, 97a].

L'évolution des méthodes en ingénierie

Depuis la division du travail chère à Ford et à Taylor, d'autres approches méthodologiques d'ingénierie se sont développées dans les dernières années et se sont vues caractériser par des adjectifs variés au cours du temps : simultané, puis intégré et enfin rationalisé. Le caractère

commun que l'on peut ressortir de ces différents termes est l'évolution d'une organisation séquentielle vers une organisation de plus en plus coopérative voire parallèle.

Peut-être n'est-il pas inintéressant de remarquer que dans différents domaines, le terme admis d'« ingénierie » se substitue de plus en plus à celui plus convenu de « génie ». Ce glissement dénote à sa manière le passage d'une organisation séquentielle de génies à un système plus complexe et fortement interférant de méthodes et d'outils mettant en concurrence plusieurs génies. Au fond le concept d'ingénierie concurrente ne fait que marquer le passage d'une collaboration séquentielle de compétences à un système coopératif simultané (figure 1.2). Revenons sur les deux adjectifs qualifiant ce système :

- la *simultanéité* est due à la possibilité de pouvoir réaliser plusieurs activités parallèlement dans le temps,
- l'aspect *coopératif* vient du fait que le développement de chaque activité particulière est dépendant du point de vue d'autres activités ou d'autres métiers.

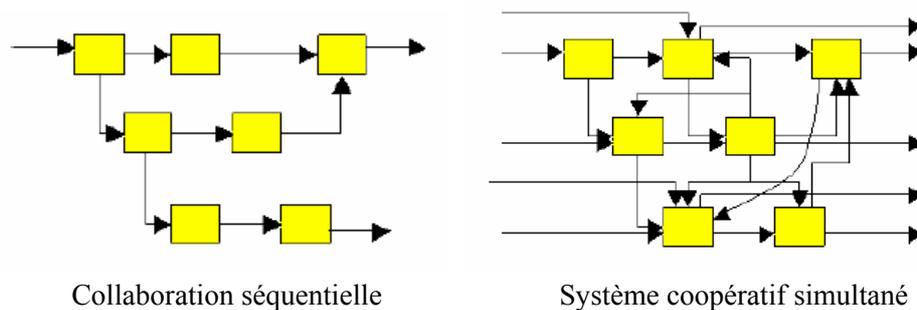


Figure 1.2 : Evolution du mode de travail en ingénierie

Ainsi, l'organisation en système coopératif simultané doit réduire la durée de réalisation d'un processus tout en favorisant l'émergence de solutions créatives et innovantes. Le revers de la médaille est la multiplication et la complexification des échanges. Sur cet exemple, on remarque trois types de liens en plus de ceux existants en collaboration séquentielle :

- des orientations de travail (flèches rentrant dans le système) favorisant le travail au plus tôt des activités et qui proviennent d'activités ou de processus précédents,
- des activités de revue, vérification, mise à jour (flèches entre les éléments du système) permettant la confrontation des éléments,
- des résultats intermédiaires (flèches sortant du système) qui permettent de contrôler le travail en cours et de préparer le travail des activités suivantes.

La littérature scientifique propose beaucoup de termes équivalents à cette approche méthodologique : on parle d'ingénierie coopérative, collaborative, toute synonyme d'ingénierie concourante, traduction littérale de l'expression anglaise « Concurrent Engineering ». L'ingénierie concourante (IC) se caractérise par un chevauchement des étapes du cycle de vie et une prise en compte de toutes les disciplines dès la mise en place d'un nouveau processus ou le démarrage d'un projet. Elle consiste à concevoir de façon systématique, intégrée et simultanée les produits ou services et les processus qui leur sont rattachés. Cette approche a pour finalité d'obliger les développeurs à considérer tous les éléments du cycle de vie du projet, de la conception à la mise à disposition des usagers, y compris la qualité et les coûts, en conformité avec les besoins des usagers. Les objectifs sont de réduire les délais tant par le *parallélisme* que par la *pluridisciplinarité* des équipes qui permet de prendre en compte tous les aspects dès le départ, de diminuer les coûts sur le cycle de vie global du produit et d'accroître la qualité d'adéquation aux besoins des utilisateurs ou du marché.

La conception a été pour nous le premier champ d'expérimentation avant la généralisation à tout processus de travail coopératif. Dans ce domaine particulier, la mise en œuvre des principes de l'IC se caractérise par l'intégration du développement du produit, du procédé de fabrication, du soutien logistique, par la prise en compte en continu des besoins des utilisateurs et des opportunités technologiques, et par l'analyse de risques. Ceci se traduit par des méthodes de gestion et de mesure de la qualité. Il s'y ajoute les aspects généralement admis comme favorable à la mise en œuvre de l'IC :

- l'implication forte de la hiérarchie,
- la responsabilisation maximale des chefs de projets, qui doivent donc disposer d'outils d'aide au pilotage performants,
- l'utilisation d'outils de conception et de simulation,
- l'utilisation de moyens de communication permettant la transmission et la diffusion pour que les acteurs aient tous la même vision de processus y compris lorsqu'ils sont sur des sites distants. Le système d'information est alors primordial pour la prise de décision, le suivi du processus et le travail de groupe.

En terme de travail de groupe, l'IC constitue un contexte particulier. Les activités sont effectuées simultanément autant que possible, ce qui veut dire que le parallélisme n'est jamais parfait et on verra que cette imperfection requiert un traitement particulier en terme de

coordination. Le projet est découpé en " biens livrables " et non d'après les étapes d'une méthode particulière. La planification se fait par vagues successives de précision croissante et n'est pas fixée à l'avance. Les directives sont globales, définies en terme d'objectifs, d'où une plus grande responsabilisation des acteurs, les objectifs pouvant faire l'objet de réajustements. Les participants doivent donc disposer de l'ensemble des informations pour avoir une vision d'ensemble et la prise de décision est toujours localisée et rapide. Le pilotage se fait en terme de " reste à faire " [Navarre, 92]. Il apparaît qu'une des variables dont dépendent le coût, le délai et la qualité est le système de communication et d'organisation de groupes.

Comme le démontre l'IC, les tendances d'organisations ont été au développement et sont aujourd'hui à l'instauration du travail coopératif. En effet de nombreux facteurs économiques, technologiques et méthodologiques favorisent ou préconisent à la fois le rapprochement et le développement des liens entre les acteurs du travail. Mais face à la multiplication et à la complexification des coopérations, il est nécessaire d'aborder la question de la gestion de ces dernières. Dans ce but, il s'agit dans un premier temps de pouvoir appréhender et différencier les formes variées de la coopération et de l'interaction.

1.2 Les caractéristiques des coopérations

1.2.1 Les formes de coopérations

On parle de coopération dès lors que des personnes agissent ensemble dans un même but. Cependant, il existe de nombreux points de vue pour classer les coopérations. Elles peuvent être spécifiées à partir de la finalité même de la coopération, à partir de la caractéristique spatio-temporelle de l'interaction, à partir de la fréquence de la relation ou encore selon les types de relations mises en jeu dans le processus coopératif ...

Point de vue structurel

On peut se poser la question : "Pourquoi les gens coopèrent-ils" ? ou "Pourquoi des processus sont-ils effectués de manière coopérative " ? Il est possible de dégager trois grands modes de coopérations :

1. *Coopération Additive ou augmentative* : ce type de coopération résulte du fait de capacités humaines limitées. Il s'agit alors de combiner les capacités et les efforts de

ressources afin de réaliser un objectif commun. La division d'une tâche en sous-tâches précises et articulées dans le temps permet généralement de la réaliser avec un maximum d'efficacité. Paradoxalement, les innovations technologiques, en augmentant les capacités physiques et les possibilités de traitement de l'information de chacun, ont réduit l'impact de la coopération additive. Ainsi un homme conduisant un bulldozer peut déplacer des charges bien supérieures à une poignée d'individus équipés de pelles.

2. *Coopération Intégrante* : ce mode correspond à une spécialisation croissante à la fois physique et intellectuelle des individus engagés dans une coopération. En effet, il apparaît évident que chaque individu ne peut manier avec succès qu'un nombre limité d'outils. Ces outils sont physiques (outils matériel, logiciel) ou intellectuels (des connaissances, compétences ou expertises). La différenciation du travail nécessite une activité coopérative d'intégration. Il s'opère dans ce fonctionnement une synchronisation cognitive des différents acteurs, c'est-à-dire un développement mutuel de compétences. Il est cependant nécessaire de connaître le processus de contrôle pour optimiser l'efficacité de la coopération.
3. *Coopération de Débat* : Les problèmes mis en jeu dans ce mode de coopération sont de type négociable : fragilité et véracité des décisions basées sur la connaissance, existence de points de vue différents, ... Elle sert à sélectionner les bons ajustements (décisions objectives et équilibrées), à concilier les différents points de vue pour éviter les décisions biaisées ou incontrôlées. Par exemple, le monde médical est rompu à ce type de coopération : un diagnostic ou un protocole thérapeutique peut ainsi être remis en cause pour le bienfait des patients.

Point de vue spatio-temporel :

Johansen classe les coopérations suivant deux dimensions : l'espace et le temps [Johansen, 88]. En considérant les processus de collaboration selon ces axes principaux, la coopération est :

1. *locale ou distante (Axe de l'espace)* : elle est locale dans le cas où les membres coopérant dans un même lieu (dans la même pièce, par exemple) sont en mesure d'interagir fréquemment. Tandis que ceux qui coopèrent à distance sont contraints dans leurs interactions par le support de communication (poste, fax, e-mail).

2. *synchrone ou asynchrone (Axe des temps)* : soit les différentes tâches et sous-tâches d'un travail coopératif doivent être effectuées simultanément (synchrone) soit elles peuvent être décalées dans le temps (asynchrone). L'intervalle de temps entre deux tâches coopératives varie d'autant. Les sous-tâches peuvent être réalisées comme une suite d'actions étroitement couplées ou comme une série d'actions interconnectées. Certains travaux coopératifs peuvent durer des années.

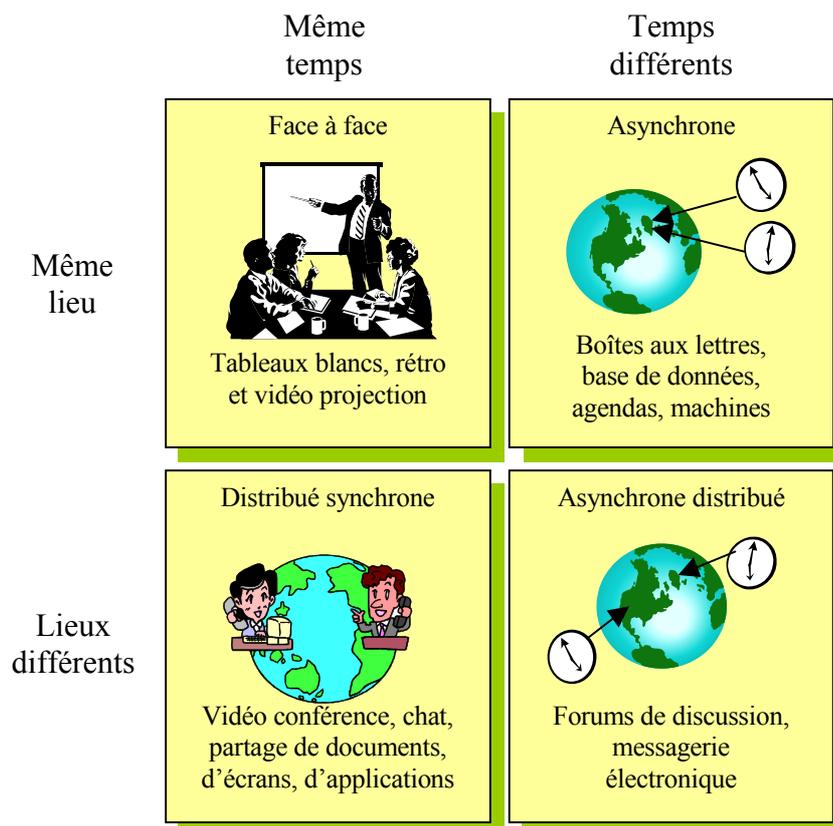


Figure 1.3 : Différents types et outils d'interactions

Cette répartition suivant deux axes est également utilisée pour intégrer les types d'outils de la TCAO (Figure 1.3) [Prasad, 97b]. La discrétisation selon la taxonomie spatio-temporelle laisse alors apparaître quatre formes d'interaction :

- *Face à face* : l'interaction se déroule en même temps et au même endroit. Cet environnement supporte les interactions face à face entre les membres d'un groupe de travail et les autres membres du groupe sans se soucier de l'alignement temporel ou géographique,
- *Distribuée synchrone* : l'interaction se déroule en même temps mais à des endroits différents. La vidéo conférence est par exemple une des technologies de groupware qui permet à des équipes dispersées géographiquement de conduire une réunion en

face à face en temps réel en combinant la vidéo interactive, l'audio et les possibilités d'affichage de documents graphiques ou autres,

- *Asynchrone* : l'interaction se déroule à des temps différents et au même endroit. C'est le cas notamment de l'utilisation des intranets dans les entreprises où chaque individu peut accéder sans contrainte de temps à un ensemble de ressources (agendas, bases de données ...),
- *Asynchrone distribuée* : l'interaction se déroule à des temps différents et à des endroits différents. Ce type de coopération est supporté par les fonctions de messageries électroniques, le routage, les formulaires ...

Point de vue comportemental

Une autre approche consiste à observer la collaboration selon son aspect comportemental. On distinguera alors deux types de caractéristiques :

- La coopération *collective ou distribuée*.
- La coopération *directe ou indirecte*

Dans le *mode collectif* du travail coopératif, les individus coopèrent ouvertement et consciemment : ils constituent un groupe qui a une responsabilité commune.

Dans le *mode distribué*, au contraire, les individus sont semi-autonomes. Chacun peut modifier son comportement selon les circonstances et avoir sa propre stratégie, dans cette situation, chaque personne n'est pas nécessairement consciente des autres, ni de leurs activités. Ils coopèrent au travers de leur espace de travail.

Dans le cadre de la *coopération directe*, les hommes interagissent en échangeant une information symbolique : ils communiquent. C'est la forme la plus « naturelle » d'interaction où la coopération prend la forme d'échanges verbaux d'informations et a pour objectif la prise de décision collective [Munier, 99].

Dans la *coopération indirecte*, les individus coopèrent via un élément technologique, typiquement un équipement ou un réseau informatique. Par exemple, en fonction de l'état de fonctionnement d'une machine, un individu A va prendre une décision qui va modifier l'état de cette machine. En fonction de ce nouvel état, l'individu B peut prendre une décision qui va

entraîner une nouvelle modification. Dans ce cas, les acteurs ne communiquent pas directement, néanmoins ils coopèrent.

Point de vue organisationnel

La coopération naît d'une relation entre différents acteurs. On distingue par rapport à la fonction des individus impliqués :

- les relations *intra-organisationnelles* : elles peuvent être soit horizontales si elles caractérisent une interaction entre acteurs d'un même niveau hiérarchique, soit verticales si les acteurs sont de niveaux hiérarchiques différents,
- les relations *inter-organisationnelles* : ces relations généralement contractuelles expriment soit un besoin de sous-traitance dans le cas d'activités proches ou similaires, soit un besoin de partenariat dans l'optique de recherche d'une compétence complémentaire ou d'un métier totalement différent.

		Métiers	
		Mêmes	Différents
Acteur	Individu	I	II
	Collectif	III	IV

Figure 1.4 : Appartenance à un corps de métier et nombre d'acteurs

La figure 1.4 permet de discrétiser les relations selon le nombre d'acteurs et selon leur appartenance à un même corps de métier ou pas. Les quatre cas rencontrés expriment une difficulté croissante selon le chiffre qui les représente. En effet, le cas le plus simple est la coopération entre deux individus d'un même corps de métier (I). Le cas (II) impose une synchronisation cognitive, afin de favoriser la compréhension et d'exploiter au mieux les compétences de chacun. Le cas (III) fait souvent apparaître des divergences entre acteurs lors de prises de décision collective. Enfin dans le cas (IV), en plus des conflits internes à un métier, les responsables font face à des affrontements de logiques d'acteurs pour lesquels il est également nécessaire d'opérer une synchronisation cognitive. Si ces mesures sont insuffisantes, il faut alors mettre en place des systèmes de résolution de conflits avec la possibilité de recourir à des tiers.

La relation entre acteurs, au sens le plus large du terme, peut également être caractérisée par son *niveau de formalisme*. A l'intérieur d'une organisation, une coopération est en effet plus ou moins guidée par une demande hiérarchique. Dans le cas où une relation apparaît « naturellement », donc dans le cas d'un niveau de formalisme le plus bas, la coopération est guidée par un besoin immédiat et la plupart du temps, il n'est pas nécessaire d'insister sur les objectifs de chacun. Au contraire, une coopération plus « artificielle » sera vouée à l'échec si les intervenants n'ont pas d'intérêts communs et n'ont pas au minimum une vue des objectifs des autres acteurs. Dans les situations réelles, il existe toujours un réseau d'activités interconnectées. [Kuutti, 93] rappelle que la participation à diverses activités interconnectées, possédant des motifs très différents, peut causer des tensions et des distorsions.

Point de vue processus/activité

Une activité délimite une partie des processus de travail dans une organisation, ce concept peut être utilisé pour analyser les organisations et définir les éléments d'un processus. Il est communément admis que l'amélioration d'un processus, quel qu'il soit et a fortiori s'il est coopératif, passe par une bonne compréhension de celui-ci [Jagou, 93]. Du point de vue des activités, l'effort de développement pour atteindre la finalité de la coopération est un processus de transformation d'informations d'entrées relatives aux spécifications utilisateurs, en informations de sorties correspondant aux choix ou résultats d'activité [Yassine, 01]. Chaque activité de développement individuelle est une unité de traitement d'informations qui reçoit des informations d'activités précédentes et les transforme en informations qui puissent être utilisées par les activités suivantes [Kusiak, 95]. Les besoins d'informations créent des dépendances entre activités qui déterminent la structure d'organisation et la planification la plus appropriée. Selon les dépendances d'informations entre elles, les activités peuvent être classées en trois catégories (voir figure 1.5) :

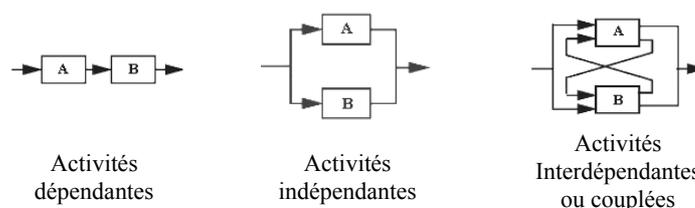


Figure 1.5 : Les différents types de relations entre activités

- les activités *dépendantes* qui ont un besoin impératif d'informations venant d'activités en amont (besoin unidirectionnel) et sont exécutées en série,
- les activités *indépendantes* qui traduisent une coopération très faible et qui peuvent être réalisées en parallèle,
- les activités *couplées ou interdépendantes*, qui traduisent une forte coopération. Ce sont ces activités interdépendantes qui induisent des itérations dans le processus et qui sont spécifiques du travail coopératif.

Dans le cadre d'activités interdépendantes, la fréquence ou l'importance de la relation est un critère à prendre en compte. La coopération peut en effet être caractérisée par sa fréquence d'apparition pour les acteurs impliqués. Cette caractéristique est aussi appelée *connectivité*. On définit ainsi des relations soit ponctuelles, soit occasionnelles, soit permanentes. Cette notion de connectivité est souvent liée à la force de couplage qui existe entre les différentes entités formant la relation. On parle alors de la notion de sensibilité de réaction, de remise en cause d'une activité par rapport à une autre. Nous proposons plus en avant dans ce mémoire une modélisation de la force de dépendance liant des activités couplées.

1.2.2 La notion d'interaction

La coopération naît de l'interaction entre plusieurs individus. A partir du modèle de conversation formalisant un échange simple entre deux acteurs, nous intégrerons les caractéristiques des coopérations nous paraissant les plus importantes pour notre problématique. Ceci permet le repérage des différentes situations d'interaction ainsi que des séquences possibles d'échanges d'information ou protocoles qui les définissent.

Le modèle de conversation

La coopération entre différents acteurs implique un échange. Cet échange peut concerner l'information (des données, des textes, des messages, des images), des objets (un matériel, des ressources, des outils, des méthodes), ou des responsabilités. Le modèle de dialogue issu de cette approche insiste sur le fait que Actes et Langage sont étroitement imbriqués comme formalisé dans la "Speech Act Theory" ou théorie des actes de langage de Searle [Searle, 69], lorsqu'un processus de collaboration, de coopération ou de coordination est mis en œuvre. L'information est liée à une action même si cette action est purement intellectuelle.

Winograd et Florès ont systématisé cette approche dans le modèle de conversation (figure 1.6). Ce modèle, déjà ancien, tente de formaliser un processus de conversation et d'échanges entre deux acteurs [Winograd, 86]. Il a ensuite été généralisé à plusieurs acteurs dans le cadre de processus coopératifs complexes. Dans ce modèle, deux acteurs A et B coopèrent au travers d'échanges d'informations, d'objets, et de responsabilités. Il doit absolument y avoir échanges entre A et B, de A vers B puis de B vers A. L'analyse d'un exemple classique de coopération pourrait être : l'acteur A prend une décision et délègue la responsabilité de la réalisation d'une tâche à l'acteur B. L'acteur B exécute puis rend compte à l'acteur A de la réalisation de la tâche. L'acteur A évalue ensuite le résultat puis modifie éventuellement sa requête dans un nouveau cycle.

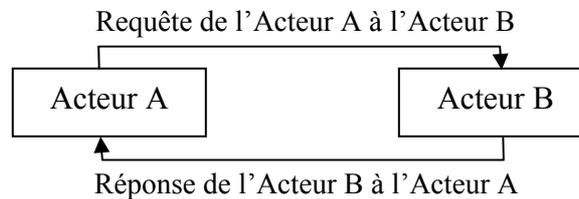


Figure 1.6 : Modèle de la conversation selon Winograd et Florès

Ce modèle de la conversation démontre bien que coopération signifie échanges réels entre les acteurs. En ce sens un modèle de coopération diffère d'un modèle de responsabilité hiérarchique où un ordre doit être exécuté sans qu'il y ait délégation d'information, d'objets ou de responsabilités.

Situation et protocole d'interaction

Le modèle Denver [Salvador, 96], est une ébauche de méthode d'analyse des besoins pour les applications où la notion de groupe est un facteur dominant. Ce modèle peut aider à analyser la majorité des informations que l'on peut recueillir sur l'acte de coopération. Il offre un cadre pour identifier deux concepts pouvant caractériser une coopération : la situation d'interaction et le protocole d'interaction.

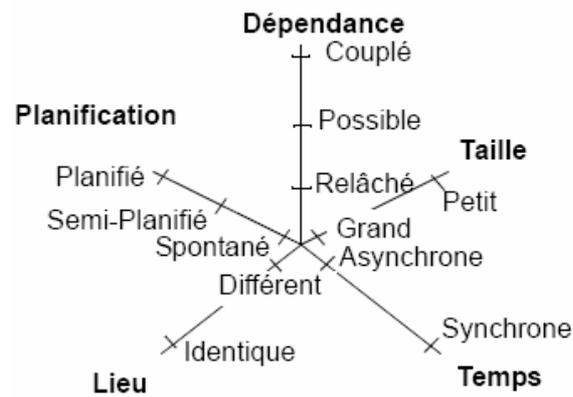


Figure 1.7 : Les cinq axes caractérisant la situation d'interaction

Les *situations d'interactions* (caractérisées par les cinq axes de la figure 1.7) sont définies par les relations entre le temps, l'espace, le couplage de l'interaction (dépendance entre les participants), l'ampleur de l'interaction (taille) et le niveau de planification. Les participants à la coopération peuvent ainsi définir un petit ou un grand groupe, être proches ou éloignés, avoir des interactions spontanées ou au contraire prévues, être dépendants d'un autre participant dans la progression de leurs travaux ou ne pas l'être. Enfin ils peuvent être en interaction synchrone (temps réel) ou asynchrone.

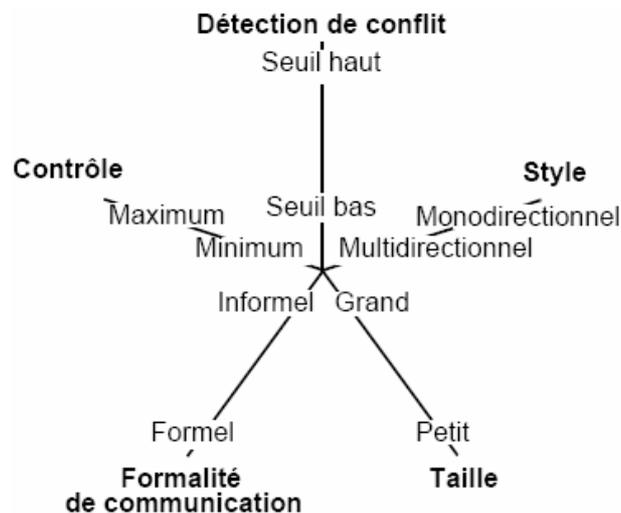


Figure 1.8 : Les cinq axes caractérisant le protocole d'interaction

Selon la même philosophie, le *protocole d'interaction* permet de décrire les modalités d'une relation. Il se réfère aux séquences possibles d'échanges de signaux et d'information qui déterminent et identifient les discussions (figure 1.8). Ceci inclut le concept d'hétérogénéité se référant à la malléabilité des structures et des fonctions d'un groupe. Cinq axes peuvent être à nouveau utilisés : la taille du groupe, les formalismes de communication, le contrôle des outils, la détection de conflit et le style des échanges.

Les formes exposées, si l'on relie les axes des deux figures, renseignent de l'état d'une relation coopérative. Ainsi, dans le cas de la situation d'interaction, la forme idéale serait d'obtenir une aire maximale. Les notions de situation et de protocole permettent d'identifier la difficulté de mise en œuvre d'une interaction et donc d'évaluer les risques associés à sa réalisation. De plus, les axes caractéristiques de la coopération permettent d'entreprendre les actions d'amélioration à effectuer en priorité.

Les travaux sur les systèmes coopératifs sont nombreux, variés et complexes parce qu'ils couvrent des activités multiples qui dépendent de disciplines différentes telles que : la sociologie, la psychologie, l'ergonomie, les sciences de l'ordinateur, ou l'ingénierie. Mais il est difficile de trouver parmi ces recherches une définition de la coopération consensuelle pour chacune de ces communautés scientifiques. Selon le domaine et selon un contexte particulier de travail, les besoins en caractéristiques définissant la coopération peuvent être totalement différents. C'est pourquoi des modèles permettant de discrétiser les différents modes d'interaction peuvent être utilisés. Dans le développement de notre démarche (chapitre 3), nous proposons d'utiliser les travaux de [Diaz, 92] et [Diaz, 96] qui formalisent le concept de coopération de la manière la plus générale en caractérisant les échanges entre acteurs de manière analytique. Le paragraphe suivant va permettre de recenser les principales contraintes liées à la gestion des activités coopératives, puis de proposer un cadre d'étude permettant de prendre en compte ces contraintes.

1.3 Contraintes, cadre et objectifs de l'étude

1.3.1 Contraintes de gestion des processus

Les causes d'échec et de succès des processus de travail sont nombreuses. Mais d'après une étude statistique réalisée par le Standish Group International en 1994 [Standish, 94], 80% des succès sont dus à onze facteurs :

- des spécifications complètes, réalistes, et stables,
- l'implication du client,
- le soutien du management,
- le maintien du projet par les décideurs,

- les ressources suffisantes,
- une équipe compétente,
- un effort suffisant de planification,
- une méthode correcte de planification,
- et des jalons rapprochés.

A l'inverse, certains facteurs sont invariablement cités comme l'origine des causes d'échec des processus de travail :

- La *complexité* : la difficulté à identifier et gérer l'ensemble des éléments, matériels ou immatériels qui constituent un processus ou qui gravitent autour.
- L'*évolution* et l'*instabilité* : chaque paramètre, chaque élément, chaque personne, chaque objectif peut être à chaque instant modifié, voire son existence même peut être remise en cause. Cela entraîne une perte de visibilité et de capacité de prédiction, et une tendance à privilégier le court terme, puisque tout peut changer.
- La *granularité* : il y a de nombreux niveaux de détail et de découpage de l'organisation et/ou du projet, qui rendent souvent obscurs voire impraticables les chemins de communication et de décision.
- Les *interactions* non négligeables mais négligées : il y a entre les différentes personnes et les différents éléments d'un processus des interactions qui sont trop souvent oubliées, notamment à cause de la complexité. Cela entraîne des pertes d'information (des chemins qui manquent), donc de performance, et des retours en arrière ou des annulations. Les seules interactions vraiment considérées et gérées aujourd'hui sont les liens hiérarchiques (appartenance à un même ensemble) et séquentiels.

Pour la gestion d'un processus quelconque, ces quatre facteurs sont décisifs et à fortiori quand le processus est coopératif. Le problème de granularité peut être résolu par une capacité à décomposer efficacement un processus. Celui de l'instabilité sera comblé par une capacité à anticiper les aléas et à intégrer les changements dans l'organisation. Les problèmes liés à la complexité et aux interactions sont encore plus cruciaux et spécifiques lorsqu'ils concernent des processus coopératifs. Ces deux aspects sont plus précisément abordés dans la suite, en relation avec les spécificités des processus coopératifs.

1.3.2 Contraintes spécifiques aux processus coopératifs

La complexité d'un système dépend de la grande variété de ses composants ainsi que du nombre et du type de relations qui les lient entre eux. Une des caractéristiques principales du travail coopératif est l'implication de nombreuses activités et l'introduction de couplages ou d'interactions entre ces différentes activités. Ces couplages sont dus aux interdépendances entre activités. L'influence mutuelle des activités provoque irrémédiablement des remises en cause et donc des cycles dans le déroulement des activités. Ce sont ces phénomènes cycliques qui sont appelés itérations.

Les managers citent souvent les itérations dans leur lutte pour contrôler les coûts, les délais et la qualité, parfois en luttant contre et d'autres fois en les encourageant. On peut en effet distinguer :

- des itérations attendues révélatrices d'un processus de raffinement désiré,
- des itérations inattendues pouvant fortement rallonger le processus.

L'itération a donc une ambivalence qui fait qu'elle est dure à analyser et donc à gérer. [Safoutin, 98] présente l'itération comme une préoccupation centrale de l'activité de gestion et préconise que les responsables de projets soient capables de reconnaître les différents types d'itérations. C'est pourquoi il propose de les classer selon divers critères tels leurs échelles, leurs rôles ou leurs origines. Les itérations impliquent de retravailler ou tout du moins de raffiner le travail des activités précédentes en prenant en compte les changements. Ce travail supplémentaire provient de nouvelles informations et/ou de défauts rencontrés dans les objectifs initiaux. Ces nouvelles informations pour une activité ont plusieurs origines :

- les activités *antérieures* causent des changements sur les données d'entrée (le résultat d'une itération provoque souvent des remaniements sur les besoins préalablement établis),
- les activités *concourantes* ou couplées imposent un compromis sur les hypothèses de travail et sur les spécifications originelles,
- les activités *postérieures* amènent de nouvelles informations lors de la découverte d'erreurs ou d'incompatibilités.

Comme le précise Browning [Browning, 98], ce sont la plupart du temps les itérations qui portent la criticité d'un processus car elles peuvent être une barrière pour la réduction des délais de développement. De tels phénomènes sont en effet un risque majeur en planification :

dans le pire des cas, on peut « tourner en rond » indéfiniment sans avancer dans le développement du processus.

La gestion de processus coopératif est donc une activité complexe qui doit aborder les aspects liés à l'identification de la nature et du nombre de relations (points 1 et 2), à l'organisation, à l'évaluation et l'optimisation des processus (points 3, 4, et 5) :

1. Tout d'abord, comme il a été observé dans le paragraphe précédent, il est difficile d'appréhender les relations de coopération du fait de leurs *formes multiples* : type de relation, importance, distante ou non, synchrone ou asynchrone, ... Il est donc à la fois complexe de recenser et surtout de comparer les relations mises en oeuvre pour la réalisation d'un processus coopératif. Une cartographie des processus peut être un premier pas pour l'identification précise des interactions.
2. Le nombre d'acteurs est également un facteur de complexité. En effet, il y a une explosion combinatoire des interactions possibles avec le *nombre d'entités impliquées* dans un processus coopératif. La croissance exponentielle des interactions à mettre en oeuvre et à surveiller devient donc un problème majeur. Pour répondre à ce besoin, une solution possible est la décomposition d'un processus en sous processus permettant un contrôle plus aisé.
3. Un autre problème à prendre en compte est *l'immobilisme* afférant à toute organisation en fonctionnement dit « normal ». En effet les éléments sont souvent figés tant que les problèmes n'apparaissent pas. Il subsiste une difficulté à bouleverser les habitudes en cas d'absence d'aléas, ainsi « on ne change pas une équipe qui gagne ». En conséquence, il est souvent trop tard pour réagir et les changements sont souvent effectués dans la précipitation. La prévision des performances et l'anticipation des problèmes sont donc des critères à intégrer dans la stratégie d'organisation des activités coopératives.
4. L'évaluation d'un processus se limite souvent au simple respect ou à la *satisfaction des contraintes*. Un processus est ainsi jugé sur son résultat final (selon le critère principal que l'on attend de lui). Si on fait l'analogie avec une équipe sportive, le résultat est soit la victoire, soit la défaite. Dans un contexte de développement, ce sera la mise sur le marché d'un produit « dans les temps ». Dans la plupart des cas, c'est la fonction première et uniquement elle qui guide l'évaluation. Le résultat de l'évaluation est binaire : soit la contrainte est satisfaite, soit elle ne l'est pas. Le problème ne réside pas tellement dans la culture du résultat final, mais dans le fait que le contrôle au cours

du processus est quasi inexistant. Nous pouvons donc juger de la performance du processus qu'à posteriori. Il existe donc un besoin d'*estimations intermédiaires* de la qualité d'une structure coopérative. Or les *moyens de discrétiser* les performances de chaque sous processus ou entité sont très limités. Des statistiques ou des évaluations individuelles de performance peuvent être utilisées pour repérer les entités les moins satisfaisantes ou encourager les plus efficaces. Le but de cette investigation n'est pas toujours d'éliminer le maillon faible mais d'intégrer ce chaînon à l'endroit le moins pénalisant pour le processus global.

5. Dans une coopération entre individus, il existe toujours une part d'inconnu concernant *l'aspect relationnel*. Des affinités différentes ou une compétitivité accrue peuvent mettre à mal les objectifs d'une relation coopérative. Cette problématique est plutôt du ressort de la communauté des Sciences Humaines et Sociales. Mais il s'agira également d'introduire ce paramètre dans notre étude. Si on fait à nouveau une analogie sportive : les deux meilleurs tennismen du monde en simple ne font pas forcément le meilleur double du monde, car d'une part la coopération modifie la nature de l'activité (le jeu n'est plus exactement le même) et d'autre part l'entente entre les deux individus n'est pas garantie (rivalité possible). On va donc rechercher à former des groupes de travail ou des équipes composés d'éléments dont les compétences soient le plus additionnelles possible. C'est justement une des préconisations du « Concurrent Engineering » que de rassembler de multiples compétences métiers et ainsi avoir des points de vue différents et complémentaires pour résoudre au mieux les conflits.

1.3.3 Cadre d'étude

En lien avec les principaux aspects à gérer dans un processus coopératif, nous proposons d'utiliser un cadre de développement qui permet d'aborder et de traiter les différents points progressivement. Le but est de décomposer l'évolution du processus en niveaux de maturité traduisant à la fois les objectifs particuliers à remplir et les capacités que doit intégrer la structure organisationnelle. Après avoir défini les notions de maturité et d'immaturité liées à une organisation coopérative, nous décrirons le modèle CMM « Capacity Maturity Model » ou modèle d'évolution des capacités pour enfin décrire sa mise en œuvre pour l'amélioration d'un processus coopératif.

Maturité et immaturité d'une organisation coopérative

Pour pouvoir se fixer des objectifs pertinents en matière d'amélioration du processus, il faut saisir les différences entre une organisation mature et une organisation immature.

Dans une *organisation immature*, les processus coopératifs sont généralement improvisés par le personnel et la direction. Même si un processus coopératif a été défini, il n'est pas appliqué de façon rigoureuse ni mis en vigueur par la suite. Les organisations de ce type sont en général « réactives » et les gestionnaires se contentent habituellement de résoudre les crises du moment (on parle, dans un tel cas, d'« éteindre des feux »). Les délais et les budgets sont régulièrement dépassés puisqu'ils sont souvent fondés sur des estimatifs irréalistes et, lorsque des échéances impératives sont imposées, la fonctionnalité et la qualité du produit sont alors compromises. Dans une telle organisation, il n'existe aucun fondement objectif à partir duquel il est possible de juger la qualité du produit ou de résoudre les difficultés au niveau du produit ou des processus. Les activités visant à améliorer la qualité, dont les revues et les essais, sont souvent raccourcies ou éliminées en cas de retard sur le calendrier [Gabor, 90].

À l'inverse, dans une *organisation mature*, on retrouve une capacité généralisée de gestion du processus coopératif. Ses caractéristiques sont communiquées de façon exacte et complète au personnel et les travaux correspondants sont exécutés selon le processus planifié. Les processus mis en place sont opérationnels [Humphrey, 91] et conformes au déroulement réel des travaux. Ces processus définis sont mis à jour en fonction des besoins et les améliorations sont développées à l'aide d'essais contrôlés et/ou d'analyses coûts-bénéfices. Les rôles et les responsabilités dans le cadre du processus défini sont répartis de façon non équivoque au niveau du projet et de toute l'organisation. Dans une organisation mature, les gestionnaires effectuent le suivi de la qualité des produits et de la satisfaction du client. Un fondement objectif quantitatif permet d'évaluer la qualité des produits et d'analyser les difficultés éprouvées avec le produit ou le processus particulier. Les délais et les budgets sont établis en fonction de données historiques de performance et sont réalistes; les résultats attendus en matière de coûts, de calendrier, de fonctionnalité et de qualité sont généralement obtenus. Un processus discipliné est systématiquement respecté, car tous les intervenants comprennent l'importance d'un tel respect et parce que l'infrastructure nécessaire à la bonne marche du processus est en place.

Pour mettre à profit les observations précédentes sur la maturité et l'immaturité des organisations, on élabore un cadre d'évolution des capacités d'un processus coopératif. Ce cadre décrit le cheminement progressif nécessaire pour passer d'un processus coopératif improvisé et chaotique à un processus mature bien structuré. À défaut d'un tel cadre, les programmes d'amélioration pourront s'avérer inefficaces, l'organisation ne disposant pas des fondements nécessaires aux améliorations successives de ses processus.

Modèle d'évolution des capacités (CMM)

La norme qualité ISO Spice (Software Process Improvement and Capability dEtermination) donne des recommandations pour l'amélioration continue des processus [ISO/IEC TR 15504, 98]. Son cadre est le CMM, standard permettant d'évaluer et d'améliorer les capacités d'un processus [SSE-CMM, 99]. C'est un modèle issu de travaux pour l'évaluation et l'amélioration des processus de développement logiciel qui a ensuite été étendu à tout type de processus de développement. Il apparaît ainsi comme un modèle approprié pour guider l'amélioration dans les organisations de développement de processus [Jiang, 04].

L'amélioration continue d'un processus repose sur un grand nombre de petites étapes progressives plutôt que sur la mise en oeuvre d'innovations révolutionnaires [Imai, 86]. Le CMM fournit un cadre d'aménagement de ces phases sous forme de cinq niveaux de maturité jetant chacun les bases successives à l'amélioration continue des processus. Ces cinq niveaux de maturité définissent une échelle pour l'évaluation de la maturité et des capacités du processus d'une organisation. Ces niveaux aident également l'organisation à établir les priorités de ses efforts d'amélioration.

Un *niveau de maturité* est un palier d'évolution bien défini dans le cheminement vers un processus mature. Chaque niveau de maturité constitue une phase dans la mise en place des fondements nécessaires à l'amélioration continue d'un processus. Chaque niveau comporte un ensemble d'objectifs qui, une fois atteints, stabilisent un composant important du processus. L'atteinte de chaque niveau du modèle correspond à l'institutionnalisation d'un composant différent, avec pour résultat l'enrichissement de la capacité des processus pour une organisation.

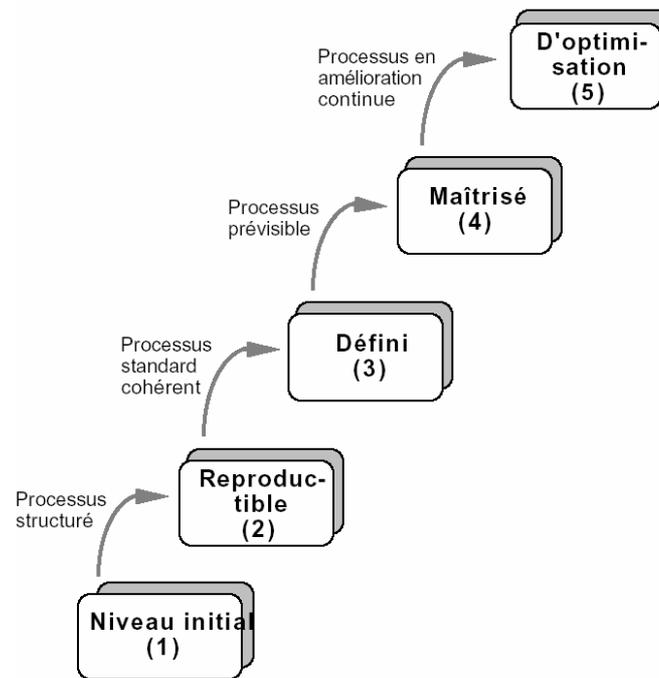


Figure 1.9 : Les cinq niveaux de maturité d'un processus

Le modèle CMM définit cinq niveaux de maturité que l'on peut appliquer à l'organisation de processus coopératifs (figure 1.9) :

- Niveau *initial* (phasage et structuration du processus)
- Niveau *reproductible* (établissement de standards réutilisables)
- Niveau *défini* (dégagement d'indicateurs pour un processus prévisible)
- Niveau *maîtrisé* (objectifs de qualité définis pour un processus évalué)
- Niveau *optimisation* (amélioration continue du processus)

Niveau 1 « initial » : L'organisation ne dispose pas de procédures formalisées d'évaluation, de développement et d'évolution de ses applications. L'engagement de ses ressources humaines ne permet pas une capitalisation de l'expérience du fait du turnover. Des crises surviennent en cours de projet. Lorsque l'échec se matérialise, les éventuels rudiments de méthodes sont abandonnés pour tenter des raccourcis dans le processus de réalisation et de validation. Les efforts d'organisation régressent alors vers des pratiques d'engagements purement réactives, de type « codage et tests » qui amplifient la dérive.

Niveau 2 « reproductible » : La gestion des nouveaux projets est fondée sur l'expérience mémorisée à l'occasion de projets semblables. L'engagement permanent des ressources humaines garantit une pérennité du savoir-faire dans la limite de leur présence au sein de l'organisation.

Niveau 3 « défini » : Des directives de gestion de projet et des procédures en permettant l'application sont établies. Le processus standard de développement et d'évolution est documenté. Un programme de formation est en place dans l'organisation afin que les utilisateurs acquièrent les connaissances et les compétences nécessaires pour assumer les rôles qui leur ont été confiés.

Niveau 4 « maîtrisé » : L'organisation se fixe des objectifs quantitatifs et qualitatifs. La productivité et la qualité sont évaluées. Ce contrôle se fonde sur la validation des jalons majeurs du projet dans le cadre d'un programme planifié de mesures.

Niveau 5 « optimisé » : L'amélioration continue des processus est la principale préoccupation. L'organisation se donne les moyens d'identifier et de mesurer les faiblesses de ses processus. Une cellule de veille technologique identifie puis acquiert et met en œuvre les produits innovants. Elle recherche les pratiques les plus efficaces, particulièrement celles dont la synergie permet l'amélioration continue de la qualité.

Un niveau de maturité donne des renseignements sur la qualité globale du processus. Il exprime en effet le niveau de confiance que l'on peut créditer au processus à travers notamment sa capacité à réagir à des aléas (robustesse). Ainsi plus le niveau de maturité d'un processus sera élevé et plus les risques seront, d'une manière générale, limités.

Définition opérationnelle du modèle

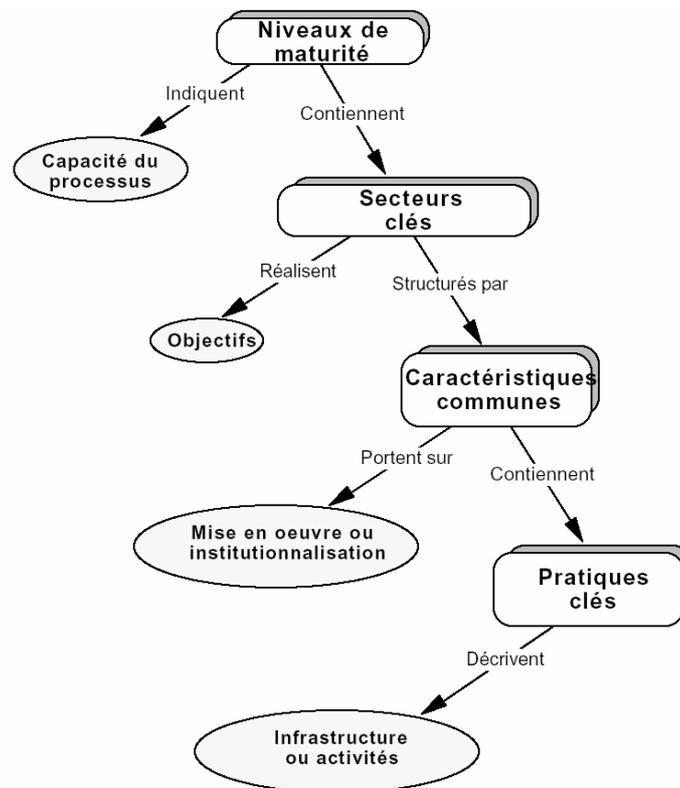


Figure 1.10 : Définition opérationnelle du modèle d'évolution des capacités

Sur un plan opérationnel, les objectifs et principes d'organisation sont décrits selon une architecture précise. Cette architecture se présente comme une hiérarchie (figure 1.10), où l'on trouve au sommet les cinq niveaux de maturité qui indiquent chacun une capacité du processus à atteindre. Chaque niveau se décompose en un ensemble de secteurs clés qui constituent les préoccupations principales auxquelles il faut s'intéresser pour réaliser un objectif donné. Les secteurs clés sont structurés en cinq catégories de pratiques appelées caractéristiques communes. Chaque caractéristique commune se décompose en pratiques clés qui constituent au plus bas niveau les activités à mettre en œuvre en rapport avec le secteur clé.

La définition opérationnelle du modèle CMM structure chaque niveau selon un ensemble d'objectifs à atteindre par le développement d'un ensemble de pratiques clés. Notre ambition, à travers ces travaux, est de développer des méthodes pour la mise en application des pratiques clés et l'atteinte des objectifs.

1.3.4 Objectifs de l'étude

Les principaux objectifs à atteindre dans cette étude peuvent être résumés dans les deux points suivants :

1. proposer des techniques qui permettent l'analyse, l'organisation et l'évaluation des activités coopératives.
2. fournir un cadre propice au travail coopératif en réutilisant l'expérience acquise sur des processus évalués.

L'ensemble des caractéristiques communes forme un cycle qui se retrouve dans chaque secteur clé et qui exprime une démarche logique, aisément applicable à tout processus. La démarche est calquée sur les phases du cycle « Plan, Do, Check, Act » (PDCA) ou « Planifier, Développer, Contrôler, Améliorer » défini par Deming [Deming, 86], le but étant l'amélioration continue du processus (figure 1.11).

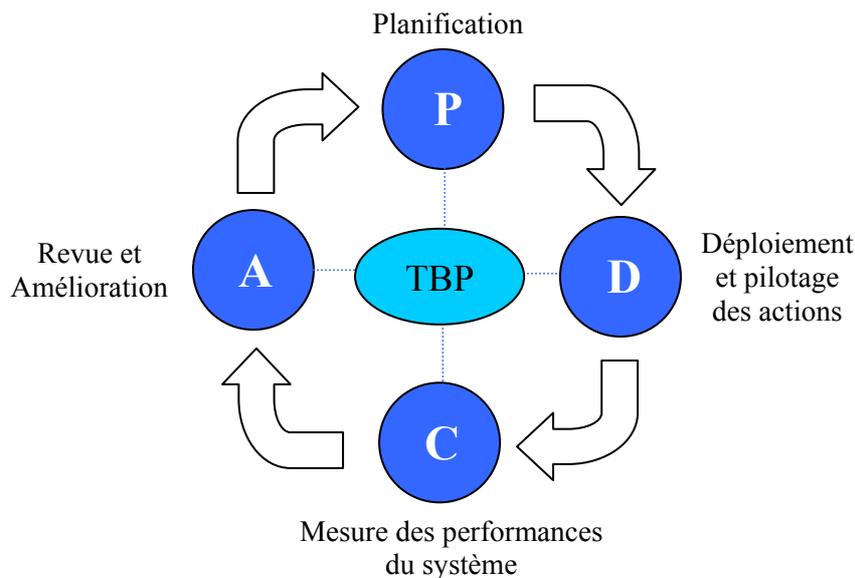


Figure 1.11 : Tableau de Bord Prospectif (TBP) du cycle PDCA (roue de Deming)

Point 1 : Le but à travers les différentes techniques proposées est de pouvoir améliorer le triptyque « Coût, Délai, Qualité » dans le contexte d'un processus coopératif [Jagou, 93]. Les estimations de ces paramètres vont servir à :

- évaluer la performance attendue d'une structure organisationnelle de travail coopératif,
- contrôler par comparaison le processus au cours du développement.

Point 2 : Ce point aborde la définition de processus standard qui regroupe les pratiques qui ont fait l'objet de la mise en place des techniques du point 1, c'est-à-dire qui ont été structurées et évaluées dans le cadre d'un plan d'amélioration. Dans ce cadre, elles peuvent constituer de « bonnes pratiques » qui pourront être adaptées et réutilisées au cours de processus similaires.

Pour aborder ces deux points, nous définissons des principes d'organisation de processus coopératif à la fois sur un plan structurel (décomposition du processus et agencement des équipes de travail) et sur un plan stratégique (responsabilités des acteurs et modes de réalisation).

Le développement considérable du travail coopératif sur les dernières décennies, ainsi que les diverses formes de coopérations et d'interactions ont grandement complexifié l'organisation du travail. Les outils et méthodes actuels ne répondent pas ou seulement en partie aux difficultés engendrées par les activités du travail coopératif. L'approche processus, guidée par le CMM et la norme ISO SPICE, permet de fournir un cadre pour garantir la qualité et l'évolution de tels processus. La problématique générale va donc être de *réduire la complexité apparente* d'un processus de travail coopératif, *en intégrant mieux son évolution et en gérant au mieux les interactions*. L'approche se fera à *chaque niveau de détail*, en identifiant des *phénomènes standard et indépendants* de l'échelle de granularité. Dans le chapitre suivant, les différentes approches traitant de la problématique d'organisation du travail coopératif sont présentées.

CHAPITRE II

Approches pour l'organisation du travail coopératif

En partant des approches processus et systèmes, nous verrons comment l'organisation du travail coopératif peut être considérée comme un système à part entière. Nous affinerons ensuite notre positionnement méthodologique au travers de travaux plus spécifiques concernant les trois grandes étapes pour la gestion des processus coopératifs complexes : la modélisation, l'organisation et l'évaluation.

2.1 Approche Processus

Définition d'un processus

L'une des grandes orientations de la dernière version de la norme qualité ISO 9001 [ISO/FDIS 9001, 00] est l'approche processus. Tout organisme ou entreprise est vu comme un ensemble de processus liés et cohérents entre eux. Un processus est défini de façon très large comme : « *Un ensemble d'activités corrélées ou interactives qui transforme des éléments d'entrée en éléments de sortie* ».

Toute activité gérée de manière à permettre la transformation d'éléments d'entrée en éléments de sortie en y apportant une valeur ajoutée, peut être considérée comme un processus. Dans cette optique, le développement d'un travail coopératif peut être vu comme un ensemble d'activités utilisant des ressources (compétences, outils, moyens) pour atteindre en sortie les objectifs qui correspondent à des résultats du travail conformes à ce qui était attendu.

Dans le contexte de développement, les recommandations de la norme ISO 9001 [ISO/FDIS 9001, 00], définissent quatre points pour contrôler la conception et/ou le développement d'un produit et/ou d'un service :

- a) les *étapes* du processus de développement doivent être définies et prévues,
- b) les activités requises pour la *revue*, la *vérification* et la *validation* doivent être bien identifiées,
- c) les *responsabilités* et les autorités pour le processus de développement doivent être bien identifiées,
- d) les *interfaces* entre les groupes impliqués dans le processus de développement doivent être gérées à la fois pour assurer une coordination efficace et pour clarifier les responsabilités.

Hormis le point sur les activités de revue, vérification et validation, qui sont spécifiques du management de la qualité, les autres points, qui concernent directement l'organisation de processus, sont intégrés dans la méthode proposée dans ce mémoire.

Lien avec l'approche système

Née, au lendemain de la Seconde Guerre mondiale, de la rencontre de la biologie, de la cybernétique et de la théorie des systèmes, *l'analyse systémique*, ou approche système, appartient aujourd'hui au courant scientifique qui analyse les éléments de processus complexes comme composants d'un ensemble où ils sont en relation de dépendance réciproque. Son champ d'étude ne se limite pas à la mécanisation de la pensée : l'analyse systémique est une méthodologie qui organise les connaissances pour optimiser une action. L'objectif de l'approche système est de schématiser n'importe quel ensemble complexe, d'aboutir à une modélisation qui permette d'agir sur lui, après que l'on ait compris sa configuration matérielle et sa structure dynamique [LeMoigne, 90].

On entend par système « *tout objet structuré, composé d'éléments abstraits ou concrets en interaction, et ouvert sur un environnement* » [Durand, 79]. L'organisation est le concept central pour comprendre ce qu'est un système. L'organisation est l'agencement d'une totalité en fonction de la répartition de ses éléments en niveaux hiérarchiques. Selon son degré d'organisation, une totalité n'aura pas les mêmes propriétés. De manière générale, on s'aperçoit que la notion d'organisation recouvre un aspect structurel (comment est construit la totalité) et un aspect fonctionnel (ce que la structure lui permet de faire). Dans le contexte qui nous intéresse, l'organisation de travail elle-même, est assimilée à un système. Et c'est le fonctionnement de ce système qui permet la réalisation de processus coopératifs. Pourtant, les termes système et processus sont souvent confondus. Ainsi, sur la figure 2.1, la structure du référentiel SPICE par l'approche processus (voir chapitre précédent), identifie les changements à apporter au système « organisation » et pas directement au processus.

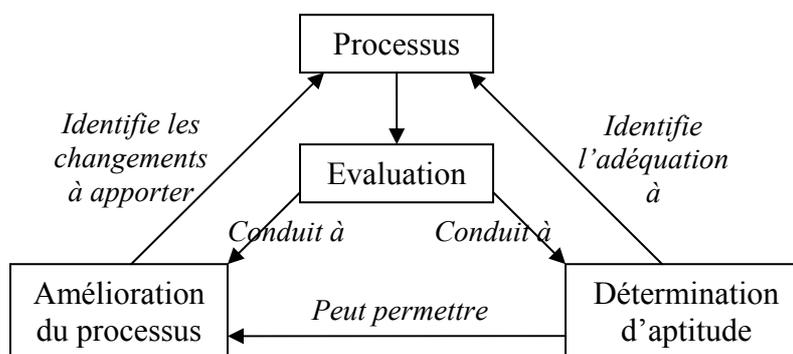


Figure 2.1 : Structure du référentiel SPICE par processus

La norme ISO 9001 définit les objectifs primordiaux à atteindre tandis que la norme ISO SPICE, à travers le modèle CMM, formalise les conditions dans lesquelles parvenir à obtenir ces objectifs. Ainsi, la définition des étapes du processus requise dans l'ISO 9001 est réalisée lors du passage du niveau 1 au niveau 2 (pour les grandes phases) et lors du passage du niveau 2 au niveau 3 (pour la planification détaillée des grandes phases). L'identification des responsables des différents groupes de travail et des interfaces est un point qui doit permettre d'atteindre le niveau 3 (défini).

Le système « processus coopératif »

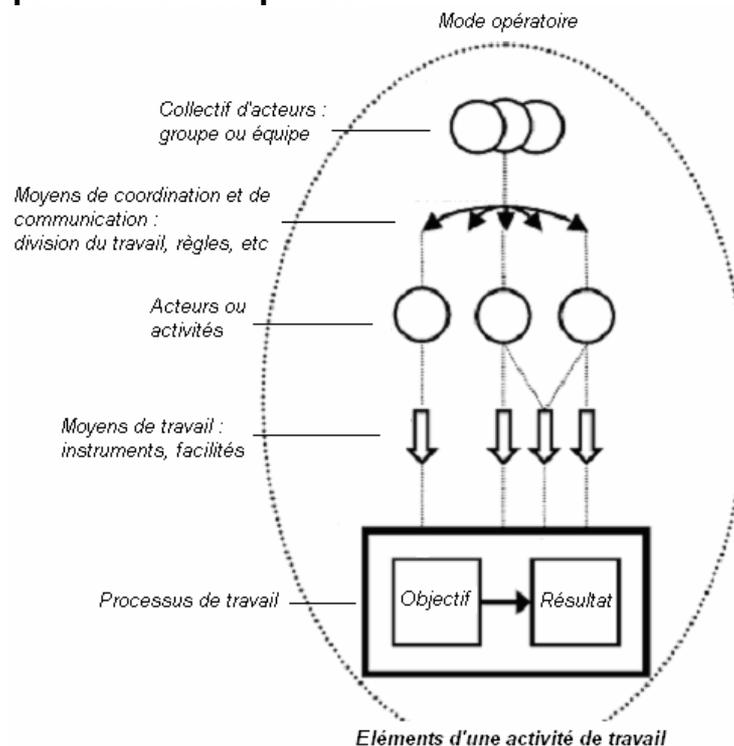


Figure 2.2 : L'activité de travail coopératif vue comme une entité systémique [Korpela, 02]

Toute entité peut être assimilée à un système. De plus, les concepts fondamentaux définissant un système rappellent fortement la problématique de gestion du travail coopératif avec des notions telles que l'interaction, l'organisation ou la complexité. Ainsi, le travail de groupe ou processus coopératif peut être vu comme une entité systémique [Korpela, 02] (figure 2.2). Les éléments composant ce système sont alors :

- un collectif d'acteurs (le groupe d'individus en charge du processus coopératif),
- un ensemble de règles qui permettent l'analyse, la décomposition et l'organisation du processus coopératif,
- les différentes activités (décomposées) du processus coopératifs et leurs liens,
- un ensemble de moyens de travail pour réaliser le processus coopératif,
- le processus de travail lui même, caractérisé par un objectif et un résultat.

Chacun de ces éléments peut être vu comme le résultat d'une autre activité. L'ensemble des activités reliées à l'activité de travail coopératif forme ainsi un réseau définissant le management de l'organisation (figure 2.3). En général, les objectifs proviennent des responsables ou managers. Les règles peuvent être fournies par une activité « méthodes » et les moyens par une activité « outils de communication ».

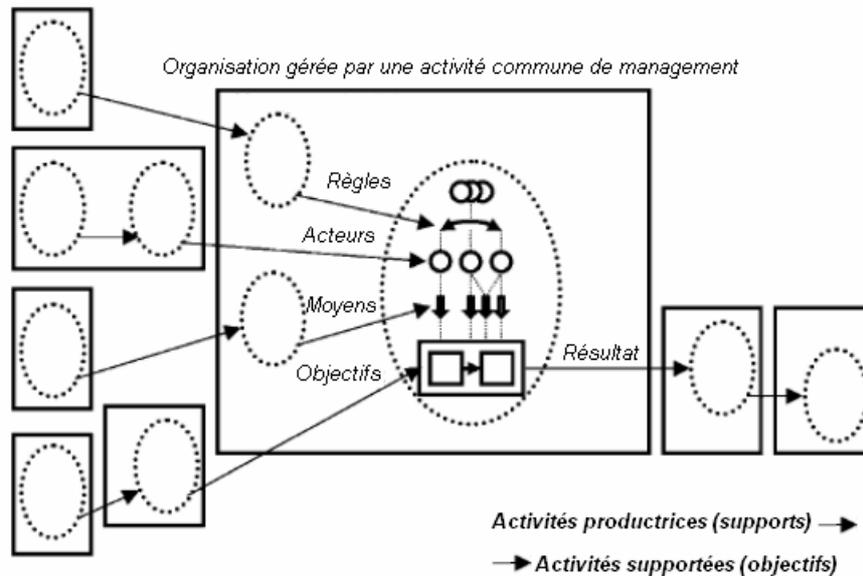


Figure 2.3 : Un réseau d'activités structuré en entité organisationnelle

L'analyse de l'activité permet de gérer le travail coopératif. La thèse de Gomes [Gomes, 99] met en œuvre cette approche dans le cadre de la conception de systèmes de contrôle-commande pour l'automobile.

La définition des composantes du système « processus coopératif » et la gestion du travail coopératif se font en plusieurs étapes (figure 2.4). Au départ le processus coopératif apparaît comme une boîte noire pour laquelle le fonctionnement interne n'est pas connu. Une phase de modélisation permet de le décrire en identifiant les activités et leurs liens. Une fois défini, la phase d'organisation structure et planifie le processus. Une fois organisé, la performance du processus peut être estimée dans une phase d'évaluation. Dans la suite, nous allons étudier ce que propose la littérature scientifique en rapport avec les trois phases que sont la modélisation, l'organisation et l'évaluation d'un processus coopératif.

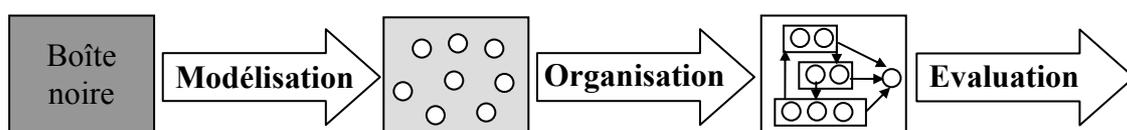


Figure 2.4 : Phases dans la gestion du système « processus coopératif »

2.2 Description d'un processus coopératif

En management, l'initialisation d'un projet débute par une phase d'analyse qui permet de décrire ses différents éléments. En particulier, la méthode WBS (Work Breakdown Structure) permet une décomposition arborescente d'un projet en sous-projets, puis en phases et enfin en tâches. C'est ce qu'on peut appeler une *planification structurelle*. La méthode OBS (Organizational Breakdown Structure) permet la *planification organisationnelle*, c'est-à-dire la répartition des rôles et des responsabilités dans l'organisation de travail. Il subsiste une grande dispersion dans l'utilisation des outils de gestion de projet. Il est pratiquement nécessaire d'employer une méthode différente pour chaque aspect de la planification : WBS pour la décomposition du projet, PERT (Programm Evaluation and Review Technique) pour l'ordonnancement, Gantt pour l'estimation des délais ...

De la même manière, dans le domaine de la modélisation de processus ou plus généralement de systèmes coopératifs, sont apparus depuis une vingtaine d'années une multitude d'outils destinés à représenter le processus en vue d'en proposer une organisation efficace. Nous recensons trois grandes familles de modèles :

- les modèles basés sur l'analyse fonctionnelle,
- les modèles de réseau d'activités,
- les modèles matriciels.

Chacune de ces familles peut être observée à travers ses principaux modèles utilisés pour représenter un processus coopératif. Ceci permet de faire un tour d'horizon des différents rôles que peuvent remplir les outils de description pour la gestion du travail de groupe. En particulier, les capacités de chaque modèle sont jugées par rapport aux principales difficultés que l'on a recensées dans la problématique (complexité, gestion des interactions, etc.).

2.2.1 Les modèles basés sur l'analyse fonctionnelle

Principe

IDEF0 est une méthode développée aux USA par Doug Ross en 1977 et introduit en Europe à partir de 1982 par Michel Galiner sous le terme SADT (Structured Analysis Design Technique). Cette technique permet de spécifier les modèles de n'importe quel type de

système. La définition de M. Lissandre précise son apport particulier à la planification structurelle d'un processus coopératif comme le projet [Lissandre, 90] :

« SADT permet non seulement de décrire les tâches du projet et leurs interactions, mais aussi de décrire le système que le projet vise à étudier, créer ou modifier, en mettant notamment en évidence les parties qui constituent le système, la finalité, le fonctionnement de chacune, et les interfaces entre les diverses parties qui font qu'un système n'est pas une simple collection d'éléments indépendants, mais une organisation structurée de ceux-ci dans une finalité précise. »

Un système étant défini, c'est-à-dire limité par sa frontière, on peut identifier :

- sa fonction, qui apporte la valeur ajoutée à la matière d'œuvre,
- ses éléments constitutifs (sous-systèmes, composants) qui supportent la fonction,
- la matière d'œuvre sur laquelle s'exerce son action,
- les données d'entrée, ou de contrôle, qui provoquent ou modifient la mise en œuvre de la fonction.

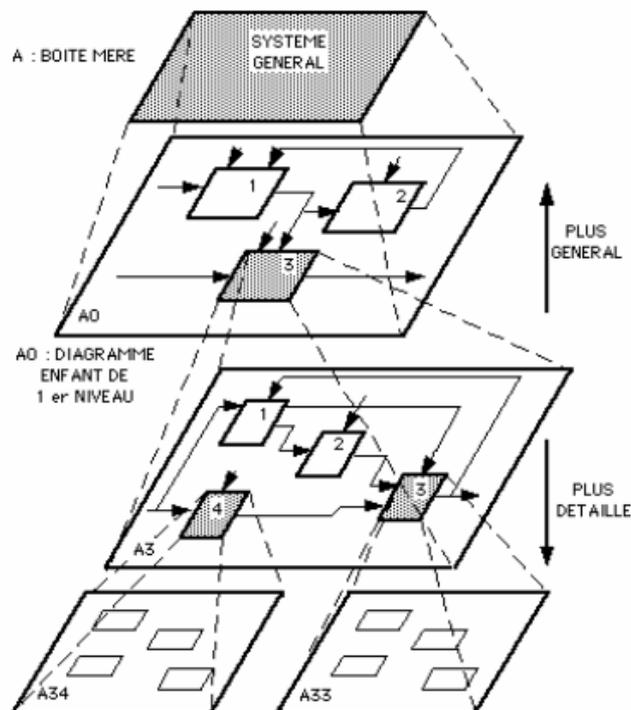


Figure 2.5 : Décomposition d'un processus selon la méthode SADT

Modéliser un système consiste ainsi à en donner une représentation qui énumère les quatre ensembles d'éléments ci-dessus en les distinguant les uns des autres, et en montrant les relations qui les lient. La décomposition en éléments, ou sous fonctions de la boîte mère permet d'affiner la perception du système et sa structure (figure 2.5). Cette décomposition doit faire apparaître de trois à six éléments maximum. Ces éléments ou boîtes sont des activités.

Les flèches qui les relient représentent les contraintes qui existent entre elles, mais ne représentent en aucun cas un flux de commande et n'ont pas de signification séquentielle (n'impliquent pas de notions d'ordre d'exécution dans le temps).

Utilisation

Kusiak et Larson ont proposé sur ces principes un modèle permettant d'évaluer les risques liés au management de processus [Kusiak, 94]. Le processus coopératif est décomposé en un ensemble de décisions sur lesquelles on peut exprimer différents facteurs de risques. Une méthode pour évaluer la criticité de chaque décision est proposée [Larson, 96], ce qui permet d'évaluer le risque global pris sur l'ensemble du processus. La représentation sous forme d'organigramme ou d'arbre de liens peut être également classée dans cette catégorie de modèle.

Les modèles IDEF sont de puissants outils d'analyse fonctionnelle pouvant structurer efficacement les activités coopératives d'un processus. Ils permettent de décrire les relations logiques entre activités à travers les fonctions. IDEF0 est une méthode conçue pour modéliser les décisions, les actions et les activités d'une organisation ou d'un système. IDEF3 modélise les processus sous forme d'un enchaînement d'étapes, appelées unités de comportement. Ces dernières sont connectées entre elles par des boîtes de jonction (asynchrones ou synchrones). Cependant la quasi-totalité des travaux ne permet pas d'introduire des notions de planification dans ces modèles. On peut toutefois citer les travaux de Belhe et Kusiak [Belhe, 95] qui proposent de transformer un modèle IDEF3 en un ensemble d'alternatives permettant la détermination des précédences des activités d'un système. Là encore, la modélisation est presque exclusivement utilisée pour des processus séquentiels. L'utilité de ces méthodes résidera surtout dans l'analyse et l'identification des différentes fonctions qui composent le processus coopératif. Pour la représentation d'activités interdépendantes, ces modèles semblent par contre inadaptés.

2.2.2 Les modèles de réseau d'activités

Dès les années soixante, le concept de réseau s'ébauche et on retrouve les principaux apports de ce concept en matière de planification dans l'état de l'art proposé par Bigelow [Bigelow, 62]. Le contexte historique a fait augmenter la dérivation des modèles de

représentation vers une approche en réseau à partir de la fin des années soixante-dix. Les modèles de réseau d'activités appelés aussi graphes de tâche ont alors émergé.

Les graphes de tâches

Il se dégage de ces modèles deux grandes familles de représentation, soit l'activité est représentée par les sommets du graphe et les arcs représentent la communication entre activités (modèles AoN pour « Activity on Node »), soit l'activité est représenté par les arcs et les nœuds sont alors les différents états du processus (modèles AoA pour « Activity on Arc »). Les différences entre les modèles sont ensuite des conventions différentes de représentation entraînant des méthodologies distinctes [Baccelli, 93]. Par exemple, il existe plusieurs moyens de représenter les durées des activités. Ainsi, les quatre représentations (a, b, c et d) de la figure 2.6 sont équivalentes.

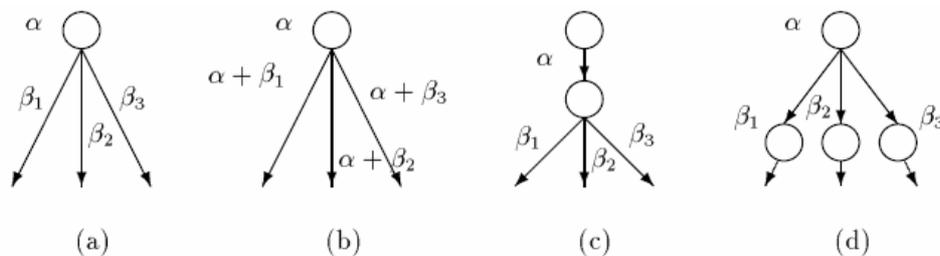


Figure 2.6 : Différents modèles de réseau d'activités

On peut noter que le diagramme PERT (Programm Evaluation and Review Technique) a été dérivé en un modèle de réseau d'activité [Elmaghraby, 77] : le *réseau PERT*. Cette représentation est un graphe où les activités sont représentées par les arcs reliant deux sommets. De nombreux travaux ont ensuite utilisé cet outil pour estimer les durées de réalisation d'un processus coopératif, avec principalement comme objet la gestion de projet. La plupart de ces techniques étant réservées à des graphes acycliques, ces modèles se révèlent peu adaptés à la problématique de gestion d'activités interdépendantes.

D'autres outils comme les chaînes de Markov ou les automates à états coopératifs font également partie de cette catégorie de représentation. Ces modèles sont des graphes dont les nœuds représentent non plus une activité d'un processus mais sa situation globale. En effet, ils permettent de symboliser les états successifs dans lesquels un processus peut se trouver. Les chaînes de Markov introduisent en particulier des notions de probabilités et permettent d'estimer les délais de réalisation d'un processus (voir § 2.4.2).

L'emploi de différents types de graphes s'est développé avec notamment les Graphes de Coopérations (GC) [Diaz, 96] pour l'analyse des relations entre agents d'un système coopératif. Dans le modèle proposé par [Diaz 92], la coopération, dans son sens le plus faible, signifie partage autorisé d'information : une activité coopère avec une autre activité si la première rend ses informations disponibles pour la dernière. Il est alors supposé que chaque activité possède un ensemble de données dont il est l'unique propriétaire. Dans un graphe de coopération, un échange hiérarchique simple (figure 2.7a) représente une coopération de base. L'agent A_i coopère avec l'agent A_j si A_i permet à A_j d'accéder à l'ensemble de ses prédicats (x, y) . Dans le cas d'un échange bilatéral (figure 2.7b), chacun des deux agents partage ses prédicats avec l'autre. Si plus de deux activités sont toutes engagées dans des relations bidirectionnelles, alors l'échange est total (figure 2.7c). L'analyse des types d'échanges entre acteurs va permettre par la suite l'identification de groupes et de responsables au sein du processus (voir chapitre 3).

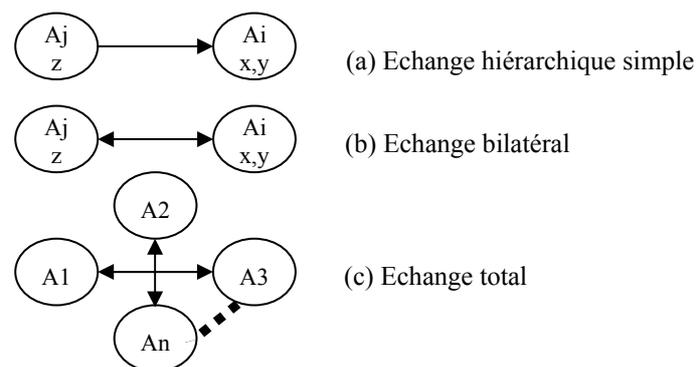


Figure 2.7 : Graphe de coopération

Autres modèles

[Decreuse, 96], avec un point de vue plus centré sur l'activité, propose dans sa thèse de représenter chaque activité d'un processus par un diagramme cause effet (figure 2.8). Ce diagramme décrit au travers de quatre catégories différentes les informations nécessaires à la réalisation d'une activité. Les activités ayant des caractéristiques similaires sont alors regroupées selon une analyse typologique. Cette technique offre un moyen d'identifier et de rassembler les activités dépendantes de sources identiques. Ceci permet entre autre de reconnaître les actions à mener en priorité.

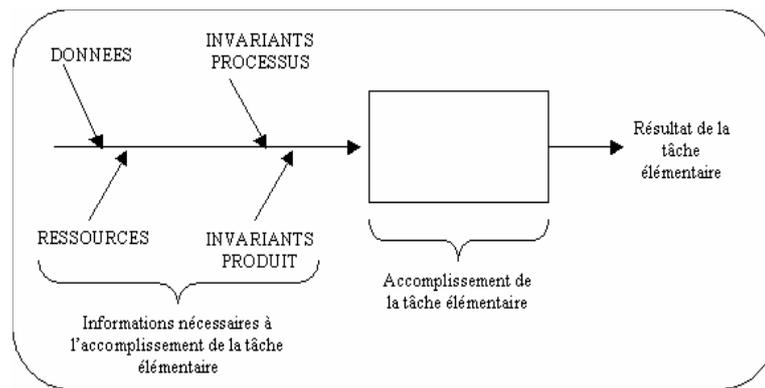


Figure 2.8 : Diagramme cause-effet

Michelena et Papalambros quant à eux proposent un modèle hypergraphe (figure 2.9) pour la décomposition optimale des problèmes d'activités corrélées ou interdépendantes [Michelena, 97]. Ce modèle a des qualités intéressantes. Il permet en effet de visualiser très rapidement les liens entre les différentes variables d'un processus coopératif. Elles sont rassemblées selon différentes figures géométriques représentant chacune les inconnues d'un système d'équations. Ainsi, sur cet exemple, x_1 dépend des variables f_1 , h_1 , h_2 et h_4 .

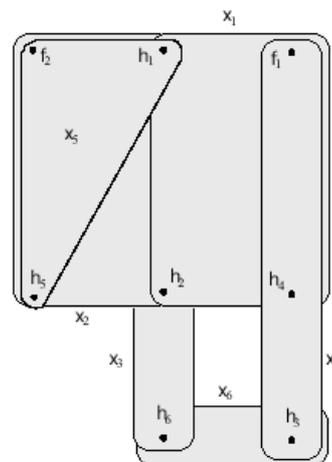


Figure 2.9 : Modèle hypergraphe

On note également la forte utilisation des Réseaux de Pétri (RdP) pour modéliser et simuler la réalisation d'un processus coopératif. Ainsi [Yan, 02] propose une modélisation de la planification d'un processus de développement de produit basé sur les propriétés stochastiques des RdP. Cette technique fait ressortir les capacités du processus (notamment les itérations et les flux de ressources).

Les modèles de réseau d'activités ont la capacité par rapport aux modèles de l'analyse fonctionnelle de pouvoir représenter les interactions entre activités et ceci pas exclusivement

de façon hiérarchique mais entre n'importe quel couple de points du réseau. De plus, ils permettent également de décrire les flux circulant entre les individus. Ceci permet d'envisager l'estimation de critères comme la durée ou le coût de réalisation d'un processus coopératif.

2.2.3 Les modèles matriciels

Présentation

Les premiers travaux utilisant des outils matriciels pour accélérer la conception de processus proviennent du domaine de la chimie [Sargent, 64]. Warfield a ensuite généralisé l'utilisation de matrices binaires pour modéliser n'importe quel système [Warfield, 73]. En partant de travaux pour la résolution de systèmes d'équations interdépendantes [Steward, 65], Steward a présenté en 1981 l'outil « *Design Structure Matrix* » (DSM) aussi nommé matrice de dépendances ou encore matrice d'échanges [Steward, 81]. Ce type de modèle permet de décrire les relations et les flux d'informations entre les diverses entités qui composent un processus coopératif. La DSM a donné lieu à de nombreux travaux que l'on peut classer en fonction du niveau des données qu'elle représente :

- DSM basée sur l'*équipe* qui représente les caractéristiques de l'interface entre des groupes de travail et qui est utilisée pour la conception d'une organisation, le management des interfaces ou l'intégration des équipes, [McCord, 93]
- DSM basée sur l'*activité* qui représente les relations d'entrée et de sortie de chaque activité et qui est utilisée pour la planification de projet, l'ordonnancement d'activités ou la réduction des temps de cycle, [Steward, 81] [Eppinger, 90] [Browning, 98]
- DSM basée sur le *composant* qui représente les relations entre des composants multiples d'un système et qui peut être utilisée pour la définition d'architecture, ou en conception,
- DSM basée sur le *paramètre* qui représente les points de décision et les précédences nécessaires pour les paramètres, pour l'ordonnancement des activités de bas niveau et pour la construction de processus [Pimmler, 94].

Pour représenter le travail de groupe, cet outil, plus particulièrement à travers ses formes basées sur l'activité et sur l'équipe, sert de modèle de représentation pour les premiers niveaux de la démarche proposée. Son formalisme et son utilisation sont présentés plus en détail dans le chapitre 3.

La vue matricielle donne une excellente appréhension de tous les flux d'informations et des difficultés qui peuvent être rencontrées dans un processus coopératif. L'avantage majeur de la matrice d'échanges est le fait de pouvoir appréhender les cycles qui apparaissent inévitablement dans les processus coopératifs. Pour l'organisation et la planification de processus, cet outil a fait ses preuves notamment à travers son application dans des projets développés par General Motors [McCord 93], la NASA [Rogers, 90] [Rogers, 99] ou Boeing [Browning, 98]. Utilisée dans des processus de grande envergure (à la fois par la taille et par le nombre de personnes concernées), la représentation matricielle trouve en effet son efficacité maximale dans des domaines tels que l'avionique, la recherche spatiale, la conception automobile ...

Modèles dérivés

La matrice d'échanges est un puissant outil d'analyse, ainsi elle a été comparée à IDEF0, outil spécifique d'analyse fonctionnelle [Malmström, 99]. Les deux outils ont même été associés dans un seul modèle afin de réunir les avantages des deux méthodes [Eppinger, 94] pour modéliser les processus de management de l'information.

L'outil DSM a lui-même généré de nombreux modèles dérivés : Kusiak s'en est fortement inspiré pour résoudre les problèmes de Technologie de Groupes (GT) [Kusiak, 87]. Il s'agit dans cette problématique de former des groupes composés d'éléments les plus semblables à partir d'un ensemble de paramètres. Par exemple, les éléments peuvent être différents produits à réaliser et les paramètres peuvent être les différentes machines sur lesquelles doivent passer les produits. Les travaux de Kumar [Kumar, 90] ont en particulier défini un critère pour évaluer l'efficacité de telles compositions de groupes sur les blocs diagonaux d'une matrice.

De nombreux modèles ont utilisé des matrices numériques pour représenter la force des interactions entre activité ainsi que les différentes caractéristiques des activités (durée, coût, ...). Citons pour exemple les principaux outils matriciels : « Work Transformation Matrix » (WTM) [Smith, 97a] [Carrascosa, 98], « numerical DSM » [Yassine, 01], « General WTM » [Chen, 02]. Ces modèles permettent d'estimer quantitativement la performance d'une organisation.

Les modèles matriciels peuvent être utilisés pour analyser les caractéristiques des itérations et ainsi obtenir une bonne planification. Ils répondent pratiquement à toutes les contraintes liées à la problématique d'organisation du travail coopératif, puisqu'ils permettent de

représenter à la fois les notions d'antériorité et surtout d'interaction entre activités. La seule limite est que ces modèles ne prennent pas du tout en compte l'aspect de gestion des ressources. Ce volet du management doit alors être supporté par un outil ou une étape supplémentaire.

2.2.4 Synthèse des modèles

Il existe de nombreux moyens de représentation de processus coopératif, que ce soit par activités individuelles ou au travers de l'ensemble du processus. La plupart du temps, si ces modèles permettent une bonne analyse et une bonne compréhension d'un processus, en revanche, ils ne proposent pas de méthodes de structuration optimale pouvant répondre à l'ensemble des contraintes de notre problématique. Le tableau suivant permet de faire un point sur les modèles et leurs capacités à satisfaire les différentes contraintes.

Capacités Modèles	basés sur				Respect des contraintes					
	Hierarchie	Fonction	Activité	Flux	Antériorité	Estimation de la durée	Estimation du coût	Gestion des interactions	Gestion des cycles	Gestion des ressources
Outils GP	X OBS	X WBS	X		X PERT	X CPM GANTT	X			X Diagrammes
Analyse fonctionnelle	X	X	X		X IDEF3					
Réseau d'activités			X	X	X	X Chaîne de Markov	X Chaîne de Markov		X	X RdP ...
Matriciels			X	X	X	X	X	X	X	

Tableau 1 : Récapitulatif des types de modèles et de leurs capacités

Nous avons choisi la représentation matricielle pour modéliser les échanges dans un processus coopératif. Notons que cette représentation est tout à fait équivalente à une représentation sous la forme de graphe orienté. Nous pouvons donc passer d'une représentation à l'autre sans aucune perte sémantique (figure 2.10). Le modèle matriciel a cependant des capacités démonstratives et synthétiques plus importantes notamment en terme

de regroupement d'activités. Dans le cas de processus mettant en jeu un grand nombre d'acteurs, sa lisibilité est aussi bien meilleure que le graphe.

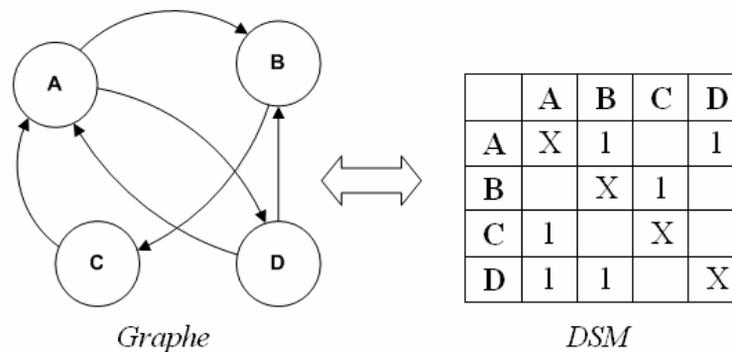


Figure 2.10 : Equivalence entre graphe orienté et DSM

2.3 L'organisation d'activités coopératives

Ce paragraphe présente une étude des travaux de recherche liés à l'organisation d'un travail coopératif. Les méthodes de gestion de projet apportent un certain nombre d'outils pour la planification. Ceux-ci ne sont cependant pas suffisants dans le cadre du travail coopératif. Les différents travaux de recherche abordent la gestion des activités coopératives à deux niveaux de détail (figure 2.11).

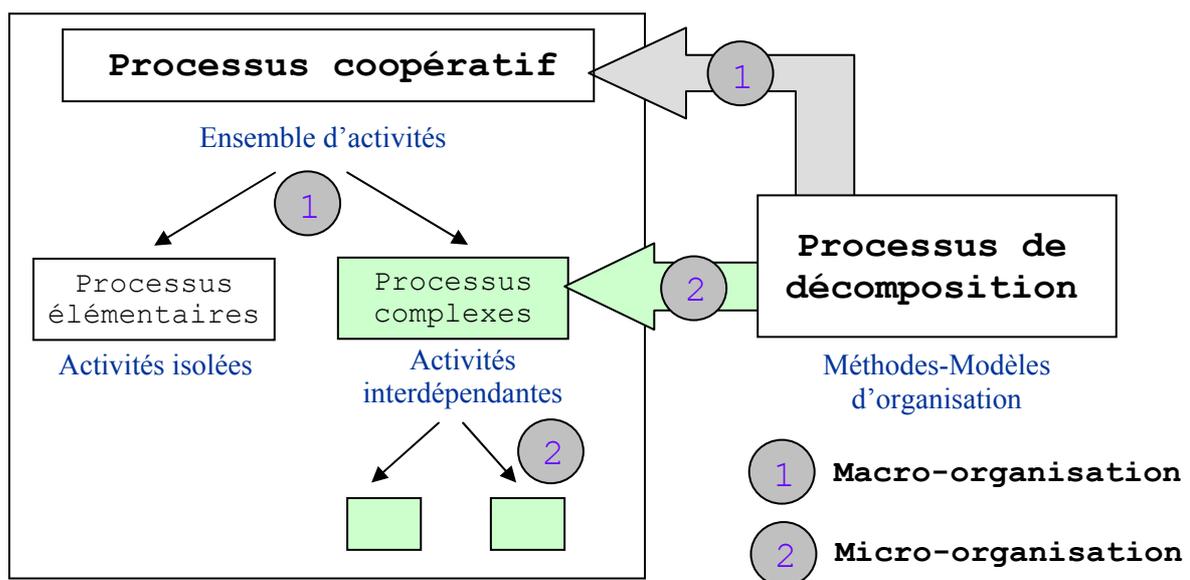


Figure 2.11 : Les deux niveaux d'organisation d'un processus coopératif

Un premier niveau de détail plus macroscopique permet de définir les grandes étapes du développement (Macro-organisation) en identifiant les activités isolées et les activités interdépendantes. Une fois le processus coopératif planifié en groupes de travail, il faut dans la plupart des cas, réduire leurs complexités d'organisation en les décomposant plus finement (Micro-organisation).

2.3.1 La gestion par projet

Dans les approches dites classiques de gestion de projet, le processus est en général divisé en parties indépendantes, consécutives ou non. Ces parties constituent le cycle de vie d'un projet. A travers différents modèles et outils de gestion de projet, nous étudions leur apport vis-à-vis de la planification d'activités interdépendantes et coopératives.

Le modèle des livrables

C'est un mode de gestion basé sur la production de documents ou rapports à chaque étape du cycle de vie d'un projet (exemple : établissement d'un cahier des charges lors de la phase de spécification des besoins). La figure 2.12 montre comment le planning, initialement prévu à partir d'un ensemble de contraintes, peut être révisé au cours du développement. L'état d'avancement d'un projet est renseigné par les livrables (ici la revue d'avancement). En cas de désaccord avec les prévisions, de nouveaux paramètres sont définis et le planning est modifié.

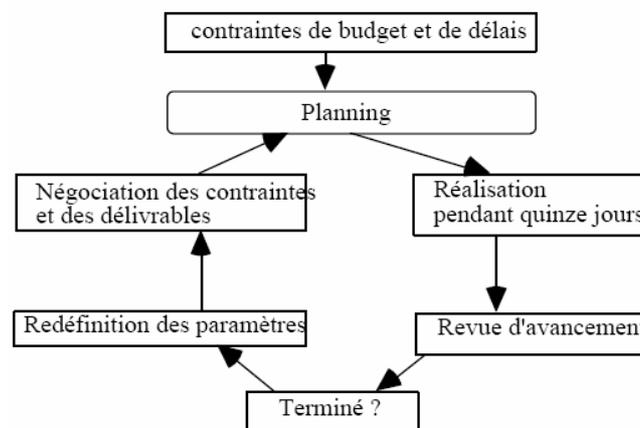


Figure 2.12 : Evolution dynamique d'un planning

L'inconvénient de cette approche est que le calendrier de délivrance des documents n'est pratiquement jamais en phase avec la réalisation technique du projet. De plus, le coût de mise à jour des livrables peut devenir prohibitif lors d'itérations et conduire à l'abandon de modifications du système au profit de solutions inélégantes dans le seul but de maintenir la consistance des documents.

Les outils de gestion de projet

A la fin des années cinquante, l'armée américaine met au point une nouvelle technique d'ordonnancement pour le développement de ses missiles à ogives nucléaires Polaris : le *PERT* (Programm Evaluation and Review Technique) [Clark, 62]. Cette méthode s'est ensuite étendue à l'industrie américaine puis à l'industrie occidentale. Le diagramme *PERT* est un graphe qui permet de spécifier les contraintes de précédence logique des activités d'un projet. La méthode du chemin critique (*CPM*) permet de limiter l'étude du projet aux activités critiques et d'estimer ainsi la durée de développement. Afin d'ajuster les délais et de définir des marges (plan d'avancement), le diagramme de *Gantt* est utilisé en représentant les activités sous formes de barres sur une échelle temporelle. Les ressources sont formalisées sous la même forme (diagramme d'emploi des ressources) afin de faire correspondre l'utilisation des ressources aux activités.

Tous ces outils ont pour vocation principale de réduire le temps de développement d'un projet en réalisant une planification opérationnelle des activités. Le problème de gestion des cycles n'a cependant que très peu été formalisé en planification de projet. De même, les outils classiques de gestion de projet ne sont pas adaptés pour de fortes interactions entre activités ou pour une organisation de travail. Dans le contexte du travail coopératif plus encore que pour la gestion de projet, ces facteurs se révèlent être cruciaux.

2.3.2 Macro-organisation

Le niveau Macro-organisation consiste à étudier la décomposition du processus coopératif en un ensemble de sous processus. La plupart des méthodes utilisées pour aborder ce niveau s'appuie sur une représentation matricielle et des techniques de partitionnement.

Principe du partitionnement

La méthode d'analyse basée sur un principe de partitionnement est utilisée pour organiser et séquencer les activités en fonction des contraintes d'antériorité. Le but est de limiter au maximum la présence d'éléments au-dessus de la diagonale de la matrice d'échanges (figure 2.13). Ces éléments symbolisent en effet un retour et donc une information encore inconnue à ce niveau du processus, compte tenu de l'ordonnancement initial des activités.

Le processus de partitionnement consiste à réagencer la matrice d'échanges initiale en intervertissant les lignes et les colonnes correspondantes de façon à trouver une séquence qui optimise les flux d'échanges, c'est-à-dire qui permettent aux acteurs de travailler sur des informations valides. Les activités sont alors regroupés au sein de tâches couplées, c'est-à-dire de groupes de travail où les acteurs doivent coopérer de façon étroite.

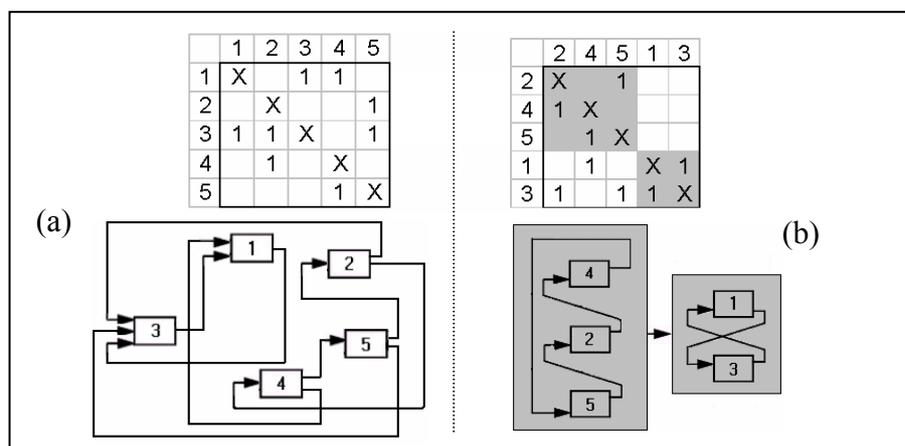


Figure 2.13 : Exemple de partitionnement

Le partitionnement de la matrice de la figure 2.13(a) résulte sur deux tâches couplées et donc sur une organisation avec deux groupes de travail. Nous cherchons à favoriser les échanges à l'intérieur de ces groupes : concrètement, on peut regrouper géographiquement les individus participant aux activités {2, 4, 5} d'un côté et aux activités {1, 3} de l'autre. On peut également adapter le réseau informatique de l'entreprise à cette structure organisationnelle et programmer les outils de TCAO afin d'optimiser les communications intra-groupes.

Algorithmes de partitionnement

Il existe de nombreux algorithmes de partitionnement dans la littérature. La plupart a été développé il y a plusieurs dizaines d'années [Harary, 62] [Sargent, 64], et sont éprouvés. Ces algorithmes sont robustes et donnent des résultats similaires. On peut uniquement leur

imputer des rapidités d'exécution différentes et des facultés (ou non) d'ordonnancement des groupes obtenus.

Un grand nombre de ces algorithmes est basé sur *la recherche de circuits* dans une matrice. Ces circuits caractérisent les cycles de travail que peut engendrer un processus coopératif. C'est alors la méthode d'identification des circuits qui diffère d'un algorithme à l'autre. Les méthodes les plus employées sont :

- La recherche de la trajectoire [Gebala, 91],
- La méthode des puissances de la matrice d'adjacence.

D'autres travaux ont basé la recherche de circuits sur une représentation du processus sous forme de graphes orientés [Tiernan, 70] [Weinblatt, 72]. Cette approche a en particulier été utilisée pour le partitionnement des processus complexes en chimie [Kehat, 73]. Ces algorithmes utilisent des méthodes exhaustives de recherche et permettent d'identifier les caractéristiques des circuits telle leur longueur. Là encore, les résultats du partitionnement sont identiques quelque soit l'algorithme employé et ne diffèrent que par leur rapidité d'exécution.

L'identification des circuits permet de déterminer les différents groupes, mais il faut ensuite les ordonnancer, ce qui confère une étape supplémentaire. C'est pourquoi il existe d'autres approches permettant d'établir directement un ordonnancement des tâches couplées. Citons en particulier :

- La méthode de la *matrice d'atteignabilité* [Warfield, 73],
- L'algorithme de *triangularisation* [Kusiak, 94].

Il existe dans la littérature une multitude d'algorithmes qui permettent de réaliser le partitionnement d'un processus en sous processus (tâches couplées). Les différentes méthodes utilisent l'analyse des dépendances entre activités pour établir des regroupements et ainsi faciliter la planification. Nous remarquons que depuis l'algorithme de triangularisation de Kusiak, il n'y a pas eu de nouvelle méthode récente qui ait été proposée.

2.3.3 Micro-organisation

Du fait de la complexité des échanges d'informations et des itérations, la gestion des tâches couplées représente un challenge pour la performance d'un processus coopératif tel le développement d'un produit. Les recherches dans ce domaine peuvent être scindées en deux

approches distinctes, soit une vision non itérative de l'exécution des activités soit au contraire une gestion itérative. En dehors du mode de gestion, pour les tâches couplées comprenant un grand nombre d'activités, il faut également chercher les moyens de les décomposer afin d'en réduire la complexité.

La gestion des tâches couplées

Deux types d'approches sont recensés pour la gestion des tâches couplées.

Approches non itératives

Les approches que l'on qualifie de non itératives consistent à considérer que les informations transmises entre activités sont certaines. [Zettelmeyer, 96] a analysé les échanges d'informations entre deux tâches couplées considérant qu'elles doivent être exécutées de façon séquentielle et sans possibilité d'itérations. De même, [Christian, 95] a simulé en détail les échanges d'informations dans un projet impliquant de nombreuses activités en supposant que les informations transférées entre activités sont certaines et n'entraînent pas de remises en cause et donc d'itérations. Ces hypothèses ne sont cependant valables que si les différentes activités en coopération ont un impact limité les unes envers les autres.

Un peu plus en avant, certains ont cherché non plus seulement à faire l'hypothèse de la non itération mais ont réduit les possibilités d'action de chaque activité en garantissant la faisabilité des solutions. Ainsi [Ward, 97] a utilisé une approche appelée « conception convergente » où ils se focalisent sur la réduction de l'ensemble des choix de chaque activité à ceux qui permettent des solutions faisables, c'est-à-dire qui n'entraînent pas de remises en cause. Il s'agit alors de laisser suffisamment de degré de liberté aux acteurs pour que la coopération soit guidée mais pas imposée.

Ces hypothèses sont contraignantes puisqu'il n'y a pas de retour possible sur les activités effectuées. De plus, ces approches conviennent peu pour la gestion d'un travail en coopération, puisque les activités n'interagissent qu'au terme de leur développement. En revanche, il peut être utile de limiter les alternatives de chaque activité aux solutions faisables dès le démarrage de tâches couplées. Mais là encore, afin de faire émerger les capacités créatives ou innovantes d'un travail coopératif, les décideurs ne doivent pas trop restreindre les possibilités d'action des différents participants.

Approches itératives

Les approches itératives considèrent quant à elles les cycles de travail entre les activités d'un processus coopératif. Ce mode de gestion consiste à exécuter un ensemble d'activités et à réitérer le travail (ou une fraction du travail) un certain nombre de fois jusqu'à l'accomplissement du processus [Carrascosa, 98]. Il existe deux approches extrêmes pour l'exécution itérative des activités :

- dans *l'itération séquentielle*, les activités sont réalisées les unes après les autres en considérant que les résultats sont provisoires et que chaque activité peut être réitérée plusieurs fois tant que la solution n'est pas atteinte [Smith, 97b] [Eppinger, 94] [Gebala, 91],
- dans *l'itération parallèle*, les activités sont réalisées simultanément avec des échanges fréquents d'informations pour un réajustement des décisions prises [Krishnan, 96] [David, 01]

La différence entre ces deux modes de gestion est caractérisée par la fréquence des échanges. Dans l'itération séquentielle, des fenêtres de communication sont établies à la fin d'une activité avec les activités qu'elle influence directement. En revanche, dans l'itération parallèle, des échanges peuvent intervenir à n'importe quel moment. Le choix de l'un ou l'autre de ces modes est en fait guidé par le degré de dépendance des activités coopératives. Il s'agit d'étudier à quel point le travail d'une activité peut influencer le travail des autres, afin de dégager un compromis.

C'est pourquoi certaines recherches se sont focalisées sur la compréhension dans le détail des échanges d'informations entre deux activités interdépendantes. Par exemple, [Krishnan, 97] a utilisé des critères relatifs au degré d'évolution et/ou au degré de sensibilité des informations échangées entre deux activités pour déterminer la stratégie la plus appropriée de recouvrement des activités séquentielles à itérer. Ce modèle permet en particulier de décrire l'incertitude et l'effet des informations transférées d'une activité à l'autre. Sur cette même idée, [Joglekar, 02] a proposé un modèle d'évaluation de la performance d'une interaction en fonction du taux de recouvrement des activités (voir § 2.4.2).

Le but de ces méthodes est d'analyser et de caractériser plus profondément l'influence que peut avoir une activité sur une autre. Un comportement standard peut alors en être tiré. Il est ensuite possible de quantifier le travail supplémentaire qu'une activité reçoit au cours des cycles.

Après avoir considéré les différentes stratégies pour la gestion des tâches couplées, un des autres axes de recherche est la réduction de la complexité des tâches couplées par décomposition. Dans ce domaine, de nombreuses approches de décomposition existent, c'est ce qui est présenté dans la suite.

La technique du tearing

La technique du *tearing* (littéralement « déchirement ») proposée par Steward [Steward, 81] permet de découper des tâches couplées en sous tâches en distinguant les coopérations fortes des coopérations faibles. Les fortes interactions sont encore représentés par des « 1 » dans la matrice alors que les faibles sont par exemple représentés par des « + ». Les coopérations dites faibles sont alors négligées pour établir une nouvelle organisation. L'exemple proposé sur la figure 2.14 montre l'utilisation de cette technique pour spécifier la décomposition d'une tâche couplée en deux sous groupes de travail.

	2	5	7	8	9	11
2	x	1		1	1	
5		x	1		1	
7	1	1	x			
8	1			x		1
9		1			x	1
11	1				1	x

	2	5	7	8	9	11
2	x	+		1		1
5		x	1			1
7	1	1	x			
8	+			x		1
9		+			x	1
11	1					1
						x

	2	8	9	11	5	7
2	x	1		1	+	
8	+	x		1		
9			x	1	+	
11	1		1	x		
5			1		x	1
7	1				1	x

Figure 2.14 : La technique du tearing

Il faut étudier et comparer toutes les coopérations, ce qui est un travail assez fastidieux. De plus, le résultat n'est pas certain puisqu'il faut dans certains cas recommencer l'opération plusieurs fois avant d'arriver à une taille raisonnable des groupes. Le tearing est donc plus un moyen de palier au problème des interconnexions plutôt qu'une méthode globale de décomposition d'activités.

Les techniques de partitionnement de graphes

L'emploi de ces techniques découle d'un besoin de réduction de la complexité de gestion d'un groupe de travail (taille trop grande, indicateurs de performance difficilement observables, ...). On cherche alors à décomposer un groupe de travail en plusieurs sous groupes.

Formulation du problème

La décomposition peut être facilement représentée sous forme de graphes. Le volume de communication entre les activités peut être estimé en calculant le poids de l'ensemble des arêtes reliant les k différents sous-graphes représentant les k groupes de travail. Ces arêtes ont une extrémité dans un premier sous-graphe et l'autre dans un second sous-graphe. L'ensemble de ces arêtes du graphe est appelé la K -coupe. Par exemple l'ensemble des arêtes en gras dans la (Figure 2.14) représente une 3-coupe du graphe. La meilleure décomposition des sommets d'un graphe en k sous-ensembles (k -partitionnement) est alors, celle qui minimise le poids de la k -coupe correspondante, tout en équilibrant les poids des différents sous-ensembles dans le cas où les arêtes sont pondérées.

Ce problème peut être formulé mathématiquement en utilisant les éléments de la théorie des graphes de la façon suivante [Karypis, 98] : supposons que le poids associé à un sommet représente la durée d'exécution de la tâche affectée à ce sommet et le poids associé à une arête entre deux sommets désigne le taux de dépendance entre les sommets ou encore une approximation du volume de communication entre les tâches. Il est bien évident que plus le partitionnement du graphe est équilibré et le poids de la k -coupe est petit, plus le système est efficace, rapide. Les éléments de ce problème sont donnés ci dessous.

Les entrées : $G = (V, E)$ un graphe non orienté dont V est l'ensemble des sommets et E est l'ensemble des arêtes. Les poids d'une arête e et d'un sommet v sont respectivement désignés par $w(e)$ et $w(v)$

La sortie : Une K -Partition $P_k = \{V_1, V_2, V_3, \dots, V_k\}$ dont le poids de la k -coupe C_k est minimum : $w(C_k) = \text{Min} \{W(C_1), W(C_2), \dots\}$ Où $C_k = \{e = (v_i, v_j) : v_i \in V_i, v_j \in V_j \text{ et } V_i \cap V_j = \Phi\}$

Les contraintes

- 1- $w(V_1) \approx w(V_2) \approx \dots \approx w(V_k) \approx w(V)/k$
- 2- $V_1 \cup V_2 \cup V_3 \cup \dots \cup V_k = V$ et
- 3- $V_i \cap V_j = \Phi$ si $i \neq j, i, j = 1, 2, \dots, k$

La taille de la k -coupe correspondant à un partitionnement n'est qu'une approximation du volume total des communications entre les activités [Hendrickson, 98]. Pour illustrer ce problème d'optimisation, nous considérons le graphe donné dans la Figure 2.15.

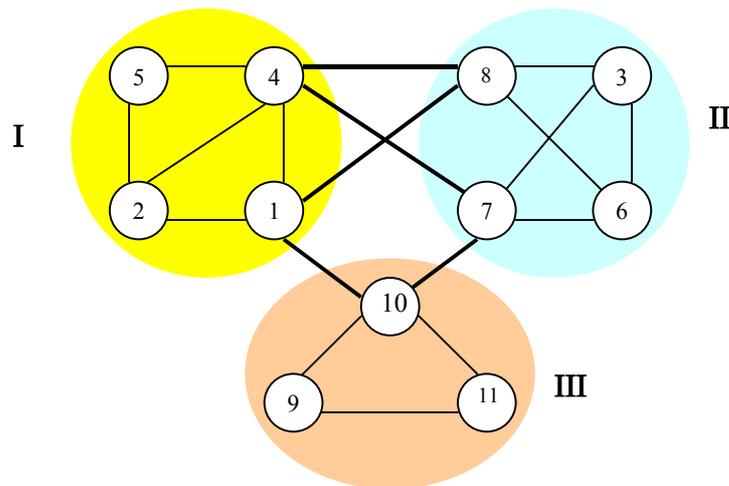


Figure 2.15 : 3-partitionnement du graphe

Dans cet exemple simple de *3-partitionnement*, le graphe se compose de trois sous-graphes I, II et III. La taille de la *3-coupe* est de 5 : les traits en gras correspondent au nombre d'arêtes, considérant que toutes les arêtes ont le même poids 1 (sans pondération). Durant son exécution, la tâche associée au sous-graphe I doit envoyer 2 unités de données des sommets 1 et 4 vers le sous-graphe II et 1 unité entre le sommet 1 et le sous-graphe III. De façon similaire la tâche associée au sous-graphe II doit envoyer 2 unités de données des sommets 7 et 8 vers le sous-graphe I et 1 unité du sommet 7 vers le sous-graphe III. Finalement la tâche associée au sous-graphe III doit envoyer 1 unité de donnée du sommet 10 vers le sous-graphe I et 1 unité du sommet 10 vers le sous-graphe II. Le volume total de données échangées est donc de 8 unités de données alors que la taille de la *3-coupe* est de 5.

On recense quatre grandes familles d'algorithmes utilisés pour le partitionnement de graphes :

- les algorithmes géométriques,
- les algorithmes combinatoires,
- les algorithmes spectraux,
- les algorithmes multi-niveaux.

Les algorithmes *géométriques* sont utilisés pour séparer des éléments répartis dans l'espace [Gilbert, 95] [Patra, 98]. La technique consiste en effet à regrouper les voisins les plus proches et se base uniquement sur les coordonnées des sommets. Dans notre problématique, l'utilité de ces algorithmes est fortement limitée puisque ce sont principalement les relations de dépendances qui doivent guider la décomposition. Cette prérogative permet d'obtenir des groupes ayant un réel intérêt à travailler ensemble.

Les algorithmes *combinatoires* consistent à partir d'une décomposition initiale aléatoire et à raffiner cette solution en déplaçant des activités d'un groupe à l'autre (techniques de « swap »). Si un déplacement améliore la performance de l'organisation (généralement exprimée par la taille de la coupe) alors il est enregistré, sinon il est annulé. Ainsi de proche en proche, on obtient un partitionnement correct quand il n'y a plus de déplacement possible. Les algorithmes les plus connus sont celui de Kernighan et Lin (KL) [Kernighan, 70] et celui proposé par Fiduccia et Mattheyses (FM) [Fiduccia, 82]. Dans l'algorithme FM, chaque sommet peut être déplacé indépendamment alors que l'algorithme KL fonctionne par paire de sommets (échanges entre sommets de groupes différents). Le principal problème de ces algorithmes est que la solution obtenue dépend totalement de la décomposition initiale. Ainsi cette technique ne garantit pas d'obtenir le meilleur partitionnement possible mais uniquement un optimum local.

Les algorithmes *spectraux* formulent le problème de bisection comme une optimisation d'une fonction quadratique discrète. Les méthodes spectrales permettent de transformer ce problème d'optimisation discrète en problème continu. Introduite par Fielder [Fielder, 73], la technique permet de mesurer la dépendance des sommets entre eux par l'étude du second vecteur propre de la matrice laplacienne du graphe (appelé « vecteur de Fielder ») [Fielder, 75]. Chaque sommet étant associé à une composante du vecteur, la mise en ordre des composantes induit l'ordonnancement des sommets du graphe assurant que leur dichotomie selon cet ordre permet d'obtenir deux groupes les plus indépendants possibles. Plusieurs travaux ont ensuite mis en œuvre cette approche pour des applications au calcul scientifique [Hendrickson, 95a] [Pothén, 96] et notamment pour l'identification des groupes de travail [Rondeau, 99]. Des versions itératives de cet algorithme ont été également développées sous l'appellation de RSB (Recursive Spectral Bisection) [Barnard, 93].

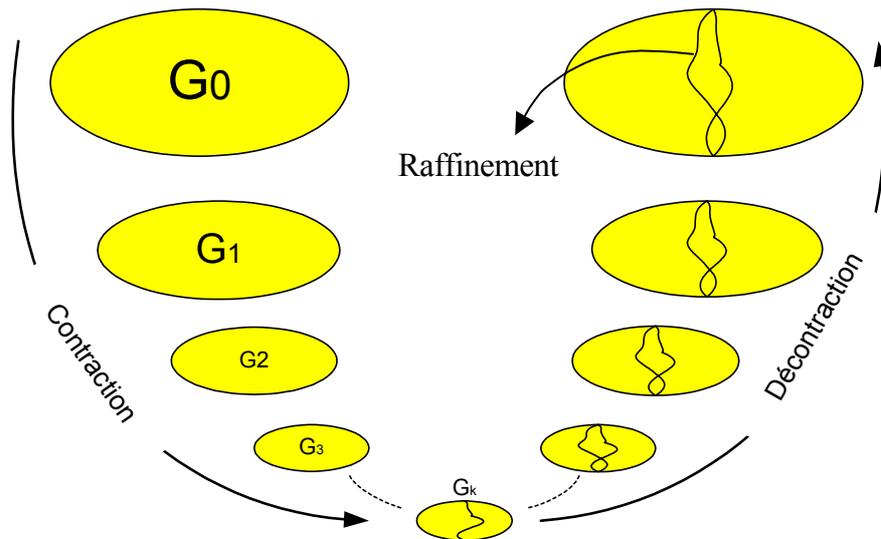


Figure 2.16 : Algorithme multi-niveaux

Les algorithmes *multi-niveaux*, plus récents, sont constitués de trois phases distinctes (voir figure 2.16) : 1) contraction du graphe, 2) partitionnement et 3) décontraction du graphe. La phase de contraction consiste à rechercher une suite de graphes $G_1 \dots G_k$ ayant de moins en moins de sommets et les mêmes propriétés que le graphe original G_0 [Karypis, 98]. La phase de partitionnement peut être réalisée par une technique classique telle qu'un algorithme combinatoire ou un algorithme spectral [Hendrickson, 95b]. Dans la phase de décontraction, la partition du plus petit graphe G_k est projetée sur le graphe original par une suite d'opérations de décontractions des graphes $G_{k-1}, G_{k-2}, \dots, G_0$. Une opération de raffinement peut être envisagée à chaque niveau de décontraction du graphe jusqu'au graphe original en utilisant les algorithmes de type KL ou FM.

Un grand nombre de travaux de la littérature scientifique permettent d'organiser ou de décomposer un processus coopératif en sous processus. D'une part, il y a les approches macroscopiques (macro-organisation) permettant d'identifier les activités interdépendantes (tâches couplées) d'un processus. D'autre part, il y a les approches microscopiques (micro-organisation), permettant de séparer les tâches couplées restant trop complexes à mettre en œuvre. L'efficacité des diverses techniques de décomposition est en rapport avec le niveau de dépendance qui relie les activités d'un travail coopératif. Ainsi, pour décider du mode de gestion à adopter, diverses méthodes d'évaluation de la performance d'un processus coopératif ont été développées.

2.4 L'évaluation des performances d'un processus coopératif

Pour évaluer la performance d'un processus coopératif, il faut en premier lieu définir des critères révélateurs de son état. Bon nombre de termes plus ou moins équivalents sont utilisés : variable, indicateur, critère, paramètre. L'utilisation de l'un ou l'autre des termes relève plus d'une culture particulière que de la sémantique véhiculée. Ainsi ils peuvent être rassemblés sous une même définition :

Un indicateur de performance est une donnée quantifiée qui exprime l'efficacité et / ou l'efficacité de tout ou partie d'un système (réel ou simulé), par rapport à une norme, un plan déterminé et accepté dans le cadre d'une stratégie d'entreprise [Afgi, 92].

Un indicateur doit donc indiquer la performance relative à la satisfaction des objectifs de l'organisation [Lorino, 01]. C'est toujours par comparaison avec un état attendu que l'on peut juger des résultats du processus une fois mis en œuvre. Un ensemble d'éléments permettent de collecter les informations relatives aux caractéristiques des activités et des flux circulant entre elles. Dans l'organisation du travail coopératif, les critères à étudier sont typiquement par ordre d'importance : le temps, le coût et la qualité du processus coopératif. Nous proposons une vue non exhaustive des méthodes d'estimation a priori des performances d'un processus coopératif. Nous avons différencié les approches évaluant un seul critère de celles permettant d'en évaluer plusieurs.

2.4.1 Collecter les données sur les activités et les flux

Pour juger des performances d'un processus, il faut en premier lieu caractériser les activités qui le composent en terme de quantité de travail, de coût associé, de durée de réalisation ou de service attendu. De plus, les méthodes pour évaluer un processus coopératif sont généralement basées sur des modèles stochastiques, c'est-à-dire sur des probabilités de passage d'un état à l'autre du processus [Chen, 00]. Ces probabilités ainsi que les caractéristiques des activités sont définies à partir de l'expérience acquise sur des processus similaires (analyse détaillée des performances, des flux de travail, ...) et de l'expérience des acteurs ou responsables du processus.

Beaucoup de travaux ont ainsi cherché comment obtenir ces données. Certains s'appuient sur des interviews des acteurs et des responsables (experts) afin de collecter le plus

d'information possible sur les activités [Pimmler, 94] [Yassine, 01]. Dans sa thèse, [Dong Qi, 02] présente en particulier une procédure pour construire un modèle de connaissance des processus de développement de produits à partir de différents outils d'expertise. Une fois élaboré, se sont encore les experts ou responsables du processus coopératif qui valident ou non le modèle [Ford, 98]. Le point central de ces approches est l'étude des flux circulant entre les éléments du système. Ceux-ci étant identifiés, caractérisés et validés permettent de prédire le rendement d'un système.

Ces travaux ont pour but de mieux comprendre le fonctionnement d'un processus de travail coopératif à travers notamment l'évaluation des dépendances et de l'importance des interactions entre activités. Ces données servent à constituer des organisations de travail et à en évaluer les performances attendues.

2.4.2 Les méthodes d'estimation

La durée de réalisation du processus est généralement l'indicateur principal de performance à estimer et à optimiser. En effet, dans des processus de conception ou de développement de produit, il permet d'obtenir un avantage concurrentiel. De plus, dans certains cas, l'obtention d'autres indicateurs comme la charge et le coût d'un processus peut être dérivée directement des paramètres temporels. Mais il est également nécessaire de définir des critères décrivant la qualité et les risques pris durant le développement. Ainsi, certains travaux se sont attachés à formaliser les risques à prendre en compte dans la gestion de projet [Pennock, 02] [Gupta, 96]. D'autres s'intéressent plus particulièrement au problème de la planification d'activités coopératives. Leur but est de trouver une performance globale optimale pour l'ordonnancement tout en satisfaisant une contrainte particulière qui peut être une date limite dans [Yassine, 01], les ressources dans [Artigues, 03], les coûts dans [Palpant, 01], la qualité dans [Eppinger, 01] ...

A travers différents modes de gestion (séquentiel, avec recouvrement, parallèle) et différents objectifs (performance globale, délai, qualité), nous présentons les méthodes les plus adaptées à l'évaluation de la performance d'un processus coopératif.

Estimation de la durée d'un processus séquentiel

Les chaînes de Markov ont été utilisées pour prédire la durée d'un ensemble d'activités [Smith, 97b], [Carrascosa, 98]. Cette méthode classique de simulation, appelée en anglais

« Signal Flow Graph » [Eppinger, 97] [Isaksson, 00] est adaptée pour évaluer des processus à réaliser séquentiellement. Ce qui est évalué est donc un ordonnancement particulier des activités.

Ce modèle est basé sur la prise en compte de deux types d'informations pour chaque activité : d'une part sa durée et d'autre part, sa force de dépendance avec les autres activités impliquées dans un même groupe. La force de dépendance est la probabilité de passage d'une activité à l'autre. Sur l'exemple de la figure 2.17, les activités A, B et C ont pour durées respectives 4, 7 et 6 unités de temps. Alors que la flèche marquée par un 0,2 entre B et A signifie que l'activité A possède 20 % de chance d'être réitérée après l'exécution de l'activité B. Autrement dit, il y a une probabilité de 0,2 que A se répète en fonction des résultats de B.

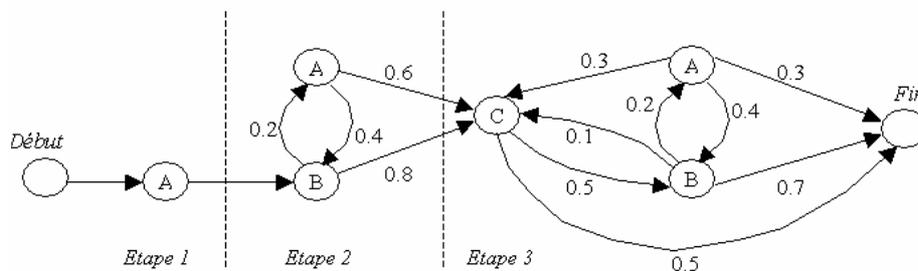


Figure 2.17 : Evaluation de l'ordre A-B-C avec les chaînes de Markov

Un processus comportant n activités est représenté comme une chaîne de n étapes et mettant en jeu en tout $(n^2 + n)/2$ nœuds. La dernière étape nous permet de définir un système de n équations représentant chacune la durée espérée restante (« expected time remaining ») de chaque activité. Pour l'exemple choisi, on obtient le système d'équations suivant :

$$\begin{cases} r_A = 0.4 r_B + 0.3 r_C + 4 \\ r_B = 0.2 r_A + 0.1 r_C + 7 \\ r_C = 0.5 r_B + 6 \end{cases}$$

Ce qui peut s'écrire aussi,

$$\begin{bmatrix} 1 & -0.4 & -0.3 \\ -0.2 & 1 & -0.1 \\ 0 & -0.5 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} r_A \\ r_B \\ r_C \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 4 \\ 7 \\ 6 \end{bmatrix}$$

Le calcul est ensuite similaire à une élimination Gaussienne. On obtient alors :

$$\begin{bmatrix} 1 & -0.4 & -0.3 \\ 0 & 0.92 & -0.16 \\ 0 & 0 & 0.91 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} r_A \\ r_B \\ r_C \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 4 \\ 7.8 \\ 10.23 \end{bmatrix} \quad (\$)$$

L'étape 3 commence par le nœud C. D'après le système réduit d'équations (\$), on retient donc une durée espérée pour la dernière étape de : $r_C = 10.23 / 0.91 = 11.21$ unités de temps.

De la même manière, on calcule la durée espérée pour la deuxième étape. On peut recommencer le calcul depuis la définition des équations jusqu'à l'élimination gaussienne. La durée estimée de l'étape 2 est ainsi : $s_B = 7.8 / 0.92 = 8.48$ unités de temps.

$$\begin{bmatrix} 1 & -0.4 \\ 0 & 0.92 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} s_A \\ s_B \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 4 \\ 7.8 \end{bmatrix}$$

Pour la première étape, qui ne compte qu'un seul nœud, la durée espérée t_A est définie uniquement par la durée de l'activité A : $t_A = 4$

Pour la durée de l'ensemble du processus, il faut alors sommer les durées de chaque étape :

$$T = t_A + s_B + r_C$$

Le temps total espéré pour l'ordonnancement A-B-C par la chaîne de Markov est de 23.69 unités de temps. On remarque que le calcul peut se faire directement à l'aide de l'égalité matricielle (\$), ce qui simplifie considérablement l'algorithme.

La méthode de la chaîne de Markov donne une prévision réaliste de la durée d'un processus coopératif dont les activités sont réalisées séquentiellement. Le problème est qu'il faut simuler de façon exhaustive les ordres possibles pour trouver l'ordonnancement optimal. En effet, il apparaît une explosion combinatoire du nombre d'ordres possibles avec le nombre d'activités. Pour un processus comportant n activités, il existe $n!$ ordres différents. De plus, ce moyen d'évaluation confine la stratégie de développement uniquement à des solutions séquentielles.

Estimation de la performance avec recouvrement des activités

[Krishnan, 97] a proposé un modèle pour le recouvrement des activités séquentielles afin de réduire la durée du développement. Pour cela, il a introduit des concepts tels le degré de sensibilité ou la probabilité d'évolution pour les activités. L'activité commençant la première fournit les informations préliminaires au démarrage d'une seconde activité. Ensuite, des informations supplémentaires sont communiquées à chaque itération. L'intégration des changements se fait donc par étapes. L'efficacité de cette stratégie du recouvrement a été quantifiée dans les travaux de [Terwiesch, 99]. Ce qui permet d'élaborer la coordination la plus efficace possible entre les entités coopératives.

Issu des mêmes principes, le « Performance Generation Model » (PGM) de Joglekar [Joglekar, 02] est un modèle qui propose de calculer la performance globale d'un ensemble d'activités soumises à une forte contrainte de délai (figure 2.18). La spécificité de cette approche est la prise en considération du recouvrement des activités et de l'influence continue (pas seulement à chaque itération) du recouvrement sur la performance globale d'un système.

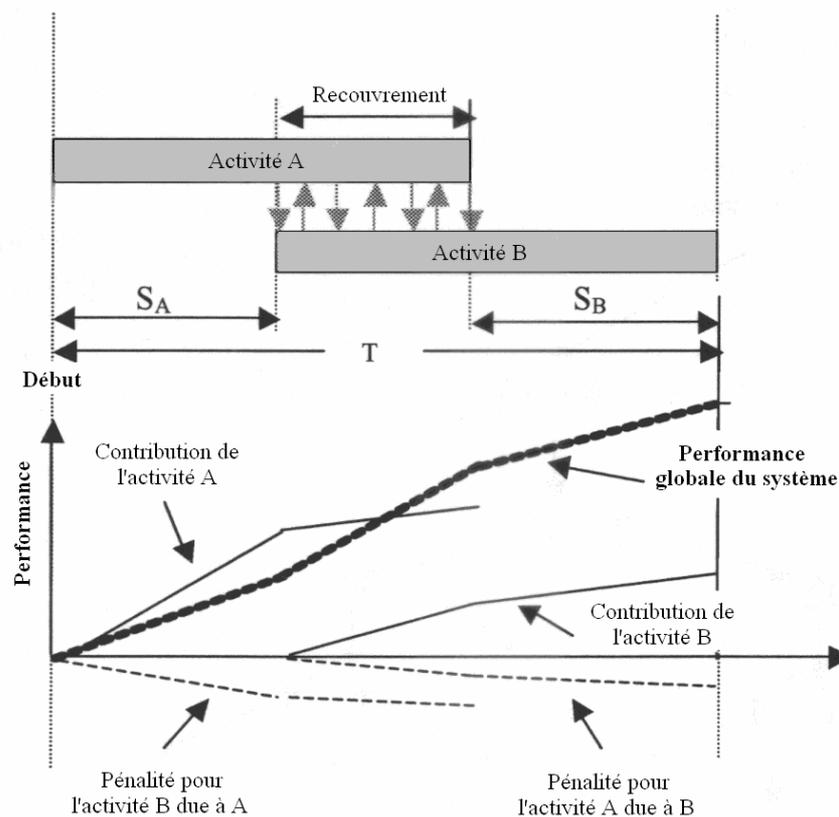


Figure 2.18 : Recouvrement d'activités et performance de l'interaction (PGM)

Les variables de décision dans une interaction entre deux activités A et B sont les durées S_A et S_B pendant lesquelles les activités travaillent de manière indépendante. La variable T représente la durée totale de développement. Le but de ce modèle est de maximiser la somme des performances accumulées par les deux activités au temps T . La force d'interdépendance est modélisée par la détérioration de la performance d'une activité due au « (re-)travail » de l'autre. Le modèle PGM est complet puisqu'il permet d'évaluer toutes les structures d'information entre activités (dépendantes, indépendantes et couplées) et ceci pour toutes les stratégies d'exécution du processus (concurrent, recouvrement, séquentiel). En aidant les responsables à prendre les décisions optimales (dates de début et de fin des activités) pour la réalisation d'un processus coopératif, il suggère également une gestion des ressources qui

puisse remplir les conditions de réalisation de la stratégie décrétée. Ainsi, même si le modèle ne représente qu'un seul critère, il sous-entend par l'optimisation de la performance globale, une durée acceptable, un coût faible et une prise de risque limitée pour le développement d'un processus coopératif.

Estimation de la qualité

La qualité de l'organisation, hormis la notion quantifiable de risque encouru au cours d'un développement, est un critère difficile à évaluer. De plus, cette problématique est relativement récente puisqu'elle ne fait l'objet d'études spécifiques que depuis une vingtaine d'années. L'estimation ne peut se faire que par rapport à une référence. On retrouve cette approche comparative dans le « *Benchmarking* », qui est une méthode de recherche d'amélioration des processus. La comparaison peut être effectuée entre différentes fonctions, et être soit interne, soit externe à une entreprise. Dans tous les cas, l'objectif est de pérenniser les meilleures pratiques déjà mises en œuvre dans des processus proches de celui que l'on veut améliorer.

La qualité est donc fortement liée à la notion de gestion des connaissances car il s'agit de pérenniser, partager et de répéter les expériences acquises et évaluées. Certaines recherches [Fowler, 97], [Buschmann, 96] dans le contexte d'organisation des entreprises proposent l'utilisation de *patrons* pour décrire ce qui peut être répété dans un processus coopératif : les relations organisationnelles formelles et contractuelles, les responsabilités, les pratiques de travail, etc. Selon le « Center for Coordination Science » du MIT (Michigan Institute of Technology), la qualité de l'organisation passe par une meilleure compréhension de la coordination dans les processus. Ainsi [Etcheverry, 02] propose dans sa thèse des modèles et des patrons pour spécifier la coordination interne aux processus. Des patrons ont également été utilisés pour la gestion du changement dans les entreprises [Grosz, 00]. Ils prennent alors la forme de propositions de schémas organisationnels qui tiennent compte de deux aspects complémentaires du changement :

- la manière dont le changement est conduit (processus du changement),
- les différents états possibles avant et après le changement (produit du changement).

Dans la littérature un patron est décrit comme une solution éprouvée à un problème. Dans le contexte d'organisation du travail coopératif, ces patrons sont pour l'essentiel des schémas organisationnels, répondant à des problèmes reconnus comme importants ou récurrents. Les travaux de [Eppinger, 01] mettent en avant le concept de patrons d'interaction. A travers leurs

développements, les experts condensent des parties de leurs connaissances relatives à leur domaine d'expertise et rendent ces connaissances disponibles à d'autres.

Le référencement par rapport aux normes permet également d'estimer la qualité d'un processus. Le respect des préconisations de telle ou telle norme permet en effet généralement de satisfaire aux contraintes de qualité. Certains modèles permettent également d'évaluer la qualité. C'est le cas en particulier du CMM, qui propose d'établir un standard du processus et qui permet d'estimer et d'améliorer ses capacités (voir § 1.3.2).

En lien étroit avec la gestion des connaissances, l'évaluation de la qualité d'un processus coopératif est réalisée par comparaison à des références, des schémas organisationnels ou patrons. Certains outils de normalisation permettent également d'attribuer une valeur quantifiable à la qualité d'une organisation. Mais cette estimation à priori de la qualité ne pourra vraiment se vérifier qu'à la fin de la réalisation du processus. En cas de réussite, le modèle standard est consolidé et validé. En cas d'échec, le standard doit être modifié.

Estimation multicritère

D'autres modèles permettent de déterminer plusieurs critères de performance. Il est ensuite nécessaire d'attribuer une importance tout au moins relative à ces différents critères. Le problème revient alors à un problème d'optimisation multicritère. La difficulté dans l'optimisation multicritère réside dans le fait qu'il n'y a pas de solution unique optimale. Une solution optimale pour chaque critère peut être obtenue. Mais la plupart du temps, cette solution optimale est une solution insatisfaisante pour les autres critères.

En ce qui concerne l'optimisation de la planification, une des premières méthodes utilisée est l'attribution de poids sur les critères à optimiser en fonction des objectifs que l'on veut favoriser [Schloegel, 99]. Dans ce contexte, Kumar [Kumar, 92] recense les algorithmes que l'on peut qualifier de classiques pour résoudre les problèmes de satisfaction de contraintes représentés par des graphes orientés. Pour leur part, Ehrgott et Gandibleux [Ehrgott, 02] propose un état de l'art complet sur le problème d'Optimisation Combinatoire Multi Objectif (« MOCO problem »). Certains ont choisi la logique floue pour satisfaire le problème d'organisation d'un processus [Slany, 96]. D'autres se sont appuyé sur la Recherche Locale avec notamment les méthodes du Recuit Simulé (« Simulated Annealing » ou SA) et la Recherche Tabou (« Tabu Search » ou TS) [Mika, 04]. Une autre approche encore consiste à utiliser les Algorithmes Evolutionnaires pour dégager une solution optimisée de l'organisation

de travail : Graphe de Pareto [Binh, 97], Algorithme Génétique (GA) [Todd, 99] [Cardon, 00]. Ces différentes méthodes sont donc à éprouver pour déterminer au final celle qui est la plus adaptée à chaque situation (facilité d'utilisation, coût limité).

Un certain nombre de travaux est issu de l'utilisation de la DSM pour évaluer un processus de développement [Carrascosa, 98]. Les travaux de [Cheung, 98] à travers ce qui est appelé « l'Optimal Scheduling », présentent plusieurs algorithmes d'optimisation afin de trouver l'organisation qui minimise à la fois l'effort de développement et la durée de réalisation. De même, Browning s'est focalisé sur la contrainte temporelle ainsi que sur le coût d'un processus de conception. Ces approches sont en fait dérivées d'un modèle matriciel numérique (« Numerical DSM » [Yassine, 01]) développé par [Smith, 97a]. Ce modèle appelé « Work Transformation Matrix » (WTM) permet à la fois de déterminer les délais et les charges d'un processus coopératif. La WTM utilise la probabilité de refaire une partie du travail d'une activité en fonction d'autres dont elle dépend. C'est à partir de cette méthodologie qu'est construit le modèle de calcul des performances intégré dans la démarche d'organisation proposée (Chapitre 3). Les travaux récents de [Chen, 02] permettent de généraliser ce modèle matriciel en proposant non plus un taux strict de reprise mais un intervalle de probabilité. Une ébauche de gestion des ressources est également proposée, puisque le modèle impose un nombre limité d'activités pouvant être réalisées en même temps.

Basés pour la plupart sur une approche processus, les travaux que nous avons recensés dans la littérature scientifique permettent pour certains de modéliser, pour d'autres d'organiser, et enfin pour d'autres encore d'évaluer les processus de travail coopératif. Les chapitres suivants proposent un cadre d'évolution de l'organisation qui couvre et intègre ces trois aspects. Un certain nombre de modèles et de méthodes, employés dans notre démarche, seront alors plus finement développés.

CHAPITRE III

Définition et organisation du travail coopératif

Le premier paragraphe (§ 3.1) de ce chapitre décrit la démarche stratégique de mise en œuvre du modèle d'évolution des capacités d'un processus coopératif. L'objectif est la définition des activités du travail coopératif et de leurs relations, et l'organisation de ces activités, ce qui correspond à atteindre le troisième niveau de maturité tel qu'il est défini dans le modèle CMM. Les paragraphes suivants (§ 3.2 et § 3.3) constituent des propositions relatives à l'évolution progressive entre chacun des niveaux de maturité (passage du niveau 1 au niveau 3).

3.1 Démarche d'organisation des processus coopératifs

Le cadre d'évolution retenu est le CMM présenté dans le §1.3.2. La figure 3.1 permet d'appréhender la vision externe que l'on peut avoir du processus en fonction de son niveau de maturité pour les trois premiers paliers du modèle. On repère également les principaux secteurs clés permettant de franchir les paliers d'évolution pour un processus coopératif. Le niveau initial (1) traduit une connaissance limitée aux seuls moyens et objectifs du processus. Dans le niveau (2), le processus est décomposé et planifié selon les grandes étapes du développement, ce qui permet l'établissement de composants reproductibles. A un niveau défini (3), le processus est totalement organisé. Les rôles et responsabilités ainsi que les indicateurs de performance à évaluer sont clairement identifiés.

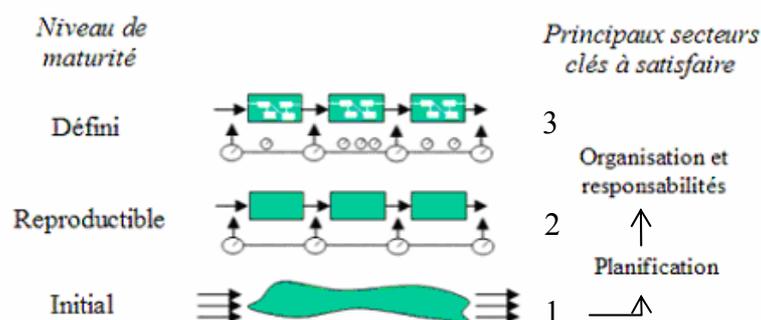


Figure 3.1 : Vue externe sur les trois premiers niveaux de maturité de l'organisation

Les paragraphes suivants vont permettre d'exposer nos propositions pour le franchissement des niveaux de maturité. La *modélisation* est la première phase pour définir une organisation de travail. Aussi la section 3.2 présente un ensemble de méthodes ou d'outils complémentaires entre eux pour l'*analyse* et la *planification* des activités qui permettent d'atteindre le second niveau de maturité.

Dans la section 3.3, nous proposons un algorithme pour la *décomposition* des tâches interdépendantes puis une méthode pour *l'identification des responsabilités*. Ces méthodes sont nécessaires pour atteindre le troisième niveau de maturité.

3.2 Atteindre les objectifs du niveau de maturité 2

Les secteurs clés correspondants à ce niveau sont des actions :

- de *modélisation* du processus coopératif, qui contribue à définir et représenter précisément la cartographie des activités,
- d'*analyse* du processus coopératif, qui permet d'identifier les liens de dépendances entre activités,
- de *planification* du processus coopératif, qui permet de grouper et d'organiser dans le temps les activités.

3.2.1 Modèles et théorie utilisés

Le modèle retenu pour réaliser les objectifs liés à ces secteurs clés est une matrice d'échanges ou DSM (voir § 2.2.3). Nous nous basons également sur la théorie des graphes notamment pour identifier les activités interdépendantes.

Design Structure Matrix (DSM)

La DSM est une matrice carrée où chaque activité est représentée par une ligne et une colonne labellées de façon identique. La matrice mentionne sur les colonnes les acteurs producteurs d'informations et sur les lignes, les acteurs consommateurs de ces informations. On peut exprimer la formation de la matrice à l'aide de l'expression suivante :

$$\text{DSM} = [a_{ij}] \text{ avec } \begin{cases} a_{ij} = 1 \text{ si } a_i \mathcal{R} a_j \\ a_{ij} = 0 \text{ sinon} \end{cases}$$

Un élément "1" dans une ligne i indique quelles activités doivent contribuer à fournir des informations pour la réalisation de l'activité i . Ainsi, la matrice de la figure 3.2 représente les échanges d'informations entre 9 acteurs. Par exemple, l'acteur 5 a besoin des informations produites par les acteurs 2 et 4. L'ordre des acteurs indique la chronologie des activités.

Initialement, la matrice est non structurée (chronologie quelconque) et ne montre aucune propriété de concurrence.

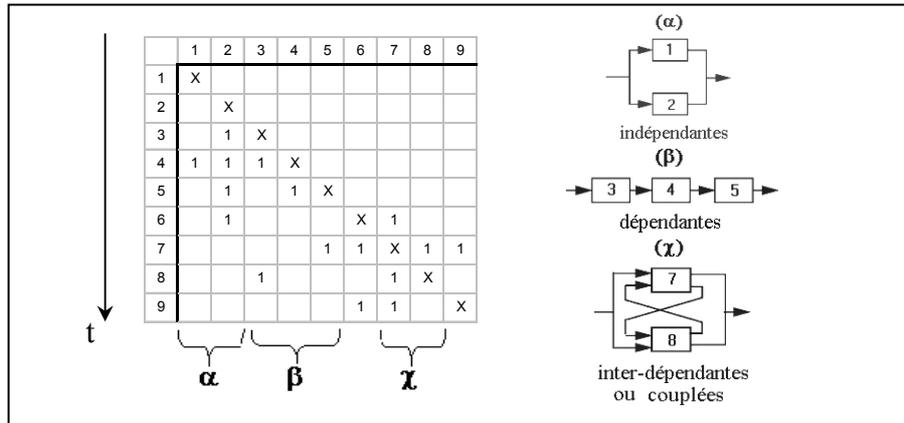


Figure 3.2 : Relations caractérisées par la matrice d'échange

On observe à l'aide de cette matrice les différents types de coopération qui caractérise le travail et les échanges entre activités. Pour un couple d'activités, on retrouve ainsi les trois types de relation : indépendance, dépendance et interdépendance. Ce dernier type de relation implique des besoins collatéraux et une gestion particulière de la coopération.

Théorie des graphes

Pour ne pas confondre les termes proches sémantiquement, la théorie des graphes propose les définitions suivantes que nous illustrerons à l'aide de la figure 3.3.

Une *chaîne* est une suite d'arcs telle que chaque arc de la suite a une extrémité en commun avec l'arc précédent. La direction n'a pas d'importance.

Par exemple, la séquence d'arcs reliant les sommets 1, 2, 4 et 5 est une chaîne.

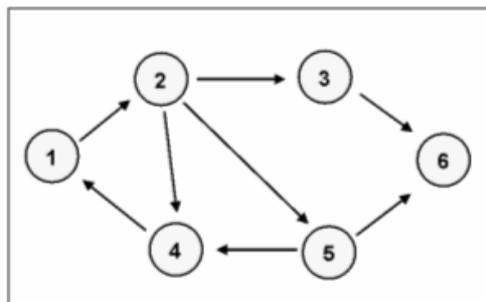


Figure 3.3 : Exemple de chaîne, cycle et circuit d'un graphe

Un *cycle* est une chaîne dont le sommet initial et terminal coïncide et qui n'emprunte pas le même arc.

Un *circuit* est un chemin fini et fermé dont l'extrémité terminale du dernier arc coïncide avec l'extrémité initiale du premier. C'est un cycle dont tous les arcs sont parcourus dans le même sens.

Un circuit est toujours un cycle mais un cycle n'est pas toujours un circuit. Ainsi, sur le graphe de l'exemple, la suite décrite par les sommets (1, 2, 3, 6, 5, 4) est un cycle et non un circuit. En revanche, (1, 2, 4) est à la fois un cycle et un circuit.

3.2.2 Décomposition du processus : macro-organisation

La recherche de circuit dans un graphe ou dans une matrice est une des méthodes permettant d'identifier les composantes fortement connexes d'un processus coopératif. Nous avons observé ces techniques de décomposition dans le § 2.3.2.

Formalisation de la complexité

Pour évaluer le niveau d'interdépendance des activités, nous utilisons les propriétés des graphes. Pour un graphe orienté G d'ordre n (représentant le nombre de nœuds) et composés de l liens, il existe deux cas extrêmes pour l'ensemble de ses arêtes : soit le graphe n'a aucune arête, soit toutes les arêtes possibles pouvant relier les sommets deux à deux sont présentes. Le premier cas ne nous intéresse pas ici car une absence de lien ($l = 0$) va à l'encontre du caractère coopératif. Dans le deuxième cas par contre, le graphe est dit *complet* et le nombre de liens est égal à $l=n.(n-1)$. Entre ces deux extrêmes, nous pouvons également dégager une caractéristique particulière : la connexité.

Un graphe orienté G est dit *fortement connexe* si pour toute paire ordonnée de sommets distincts (u,v) , il existe un chemin de u vers v et un chemin de v vers u .

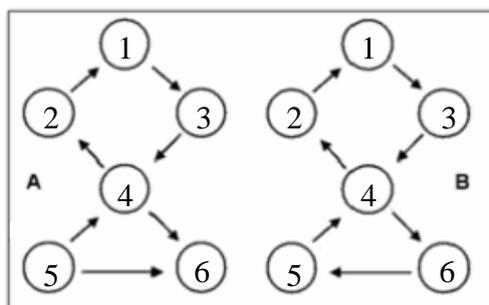


Figure 3.4 : Graphe non fortement connexe (A) et Graphe fortement connexe (B)

La notion de connexité est ainsi liée à l'existence de chemins dans un graphe : depuis un sommet, existe-t-il un chemin pour atteindre tout autre sommet? Si un graphe orienté est connexe alors il contient au minimum n arcs (liens). Mais la réciproque n'est absolument pas vraie : il ne suffit pas qu'un graphe compte n liens pour qu'il soit connexe. Ainsi sur l'exemple de la figure 3.4, les deux graphes A et B possèdent un nombre égal d'arcs et pourtant l'un est connexe et l'autre non. Il est en effet impossible sur le graphe A d'atteindre le nœud 5 ou pour le nœud 6 d'atteindre un autre sommet. Les graphes connexes correspondent à la représentation naturelle que l'on se fait d'un graphe. Les graphes non connexes apparaissent comme la juxtaposition d'un ensemble de sous-graphes : ses *composantes fortement connexes* (figure 3.5).

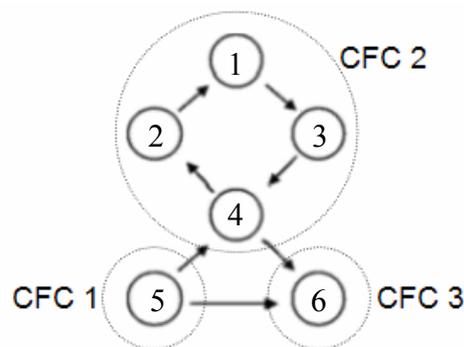


Figure 3.5 : Composantes Fortement Connexes (CFC) du graphe A

Un sous-graphe de G est une composante fortement connexe si il est fortement connexe et maximal (c'est-à-dire non contenu dans un autre sous-graphe fortement connexe).

Ces notions seront utiles pour décomposer un processus coopératif en sous-processus. Mais elles ne permettent pas d'envisager tous les cas intermédiaires entre ces états particuliers d'un graphe orienté. Pour ce faire, une définition mathématique de la complexité d'un graphe G composés de n sommets et de l liens est proposée :

$$\text{Complexité de } G = \frac{\text{Nombre de liens utilisés}}{\text{Nombre de liens possibles}} = \frac{l}{n.(n-1)}$$

La complexité ainsi formulée est une valeur comprise dans l'intervalle $[0, 1]$ qui permet d'appréhender le niveau d'interconnexion des éléments d'un processus coopératif. Ainsi, plus cette valeur est proche de 0 et plus les entités sont indépendantes. Au contraire, une valeur proche de 1 signifie que les activités sont fortement liées.

Le partitionnement

Comme observé dans le chapitre précédent (§ 2.3.2), il existe un grand nombre d’algorithmes pour réaliser le partitionnement du processus. Nous présentons ici deux méthodes particulières que nous illustrons chacune par un exemple simple : l’une qui permet l’ordonnancement direct des groupes de travail (méthode de la matrice d’atteignabilité) et l’autre qui n’a pas cette faculté (algorithme de recherche de circuit).

Algorithme de recherche de circuit :

Etape 1 : Identifier une activité pouvant travailler sans informations provenant d’autres activités (ligne vide). Placer les éléments correspondants à cette activité en haut de la matrice et les retirer (activité planifiée en début de processus). Répéter l’étape 1 jusqu’à ce qu’il n’y ait plus de ligne vide.

Etape 2 : Identifier une activité qui ne délivre pas d’information aux autres activités (colonne vide). Placer les éléments correspondant à cette activité en bas de matrice et retirer ces éléments (activité planifiée en fin de processus). Répéter l’étape 2 jusqu’à ce qu’il n’y ait plus de colonne vide.

Etape 3 : S’il ne reste plus d’éléments dans la matrice, alors elle est partitionnée (fin de l’algorithme). Sinon, le reste contient des circuits (au moins un).

Etape 4 : Détermination des circuits de la matrice : par exemple, avec la méthode des puissances de la matrice d’adjacence (voir figure 3.6).

Etape 5 : Rassembler les éléments d’un circuit dans un groupe de travail et retirer ces éléments de la matrice. S’il reste des éléments, reprendre à l’étape 1.

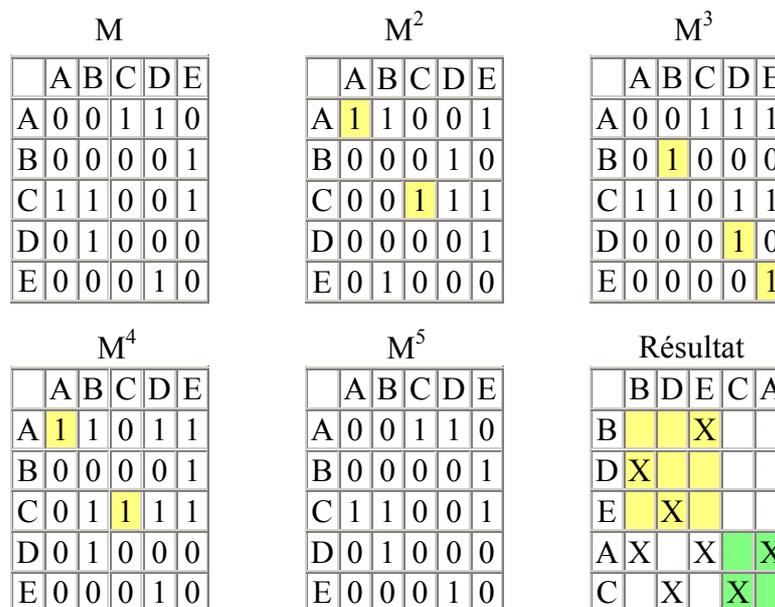


Figure 3.6 : Méthode des puissances de la matrice d’adjacence

Exemple : application de la recherche de circuit sur la matrice M de la figure 3.6

La matrice M ne laisse apparaître aucune ligne et aucune colonne vide. Elle contient donc au moins un circuit et l'on passe directement à l'étape 4 de l'algorithme. L'identification des circuits est réalisée à l'aide des puissances successives de la matrice d'adjacence. L'apparition d'un élément non nul sur la diagonale lorsque l'on élève la matrice à la puissance n , signifie que l'activité correspondante peut être atteinte depuis elle-même en n étapes.

Ainsi sur l'exemple, l'élévation au carré révèle que les activités A et C sont impliquées dans un circuit en deux étapes. De même, M^3 indique que les activités B, D et E sont engagés dans un cycle en trois étapes. Les puissances supérieures de M ne montrent pas de circuits supplémentaires. La matrice peut donc être partitionnée en deux groupes [AC] et [BDE]. Il reste alors à ordonnancer le travail de ces groupes. Ici, le groupe [AC] a besoin d'informations en provenance du groupe [BDE], c'est donc ce dernier qui commencera à travailler.

Méthode de la matrice d'atteignabilité : [Warfield, 73]

Etape 1 : Construire un tableau à 4 colonnes avec,

- a) 1^{ère} colonne : lister tous les éléments de la matrice.
- b) 2^{ème} colonne : lister l'ensemble des éléments d'entrée pour chaque ligne du tableau, l'activité concernée y compris. (observer les « 1 » dans la ligne correspondante de la matrice)
- c) 3^{ème} colonne : lister l'ensemble des éléments de sortie pour chaque ligne du tableau, l'activité concernée y compris. (observer les « 1 » dans la colonne correspondante de la matrice)
- d) 4^{ème} colonne : lister l'intersection de l'ensemble des entrées et de l'ensemble des sorties pour chaque ligne.

Etape 2 : Identifier les éléments de niveau supérieur et retirer les de la matrice. Les éléments sont d'un niveau hiérarchique supérieur dans la matrice si l'ensemble des entrées est le même que celui de l'intersection.

Etape 3 : Retour à l'étape 1.

Exemple : application de la méthode de la matrice d'atteignabilité à la matrice originelle de la figure 3.7.

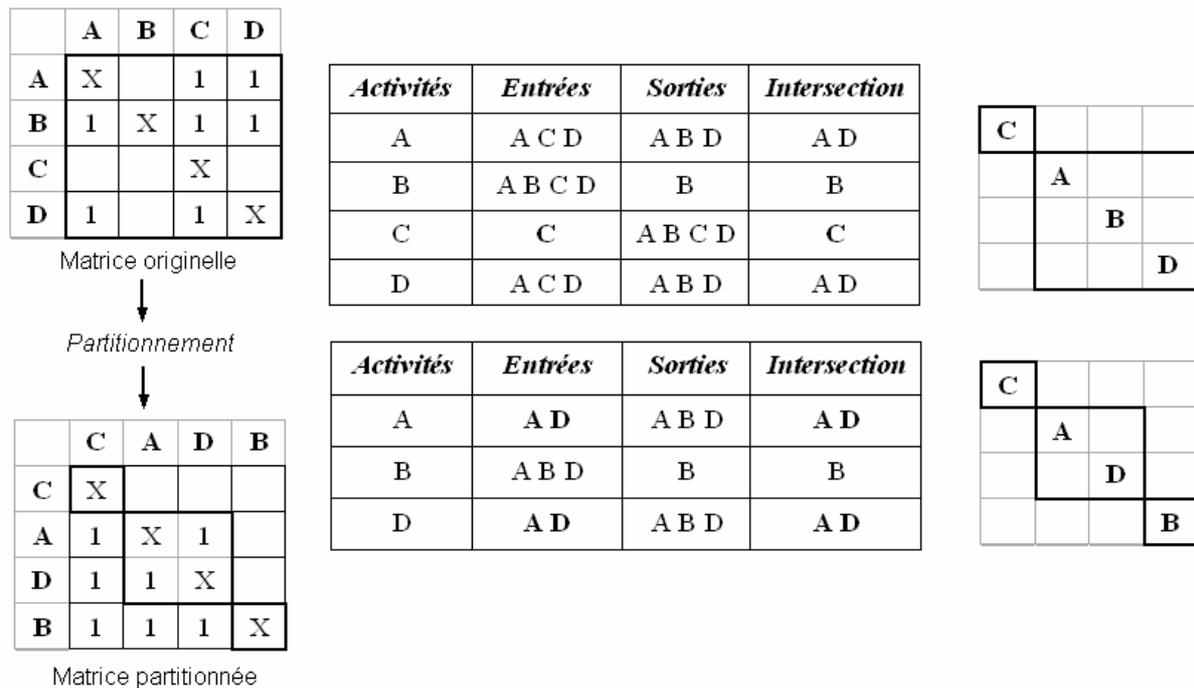


Figure 3.7 : Illustration de la méthode de la matrice d'atteignabilité

On obtient une matrice composée de 3 groupes. L'avantage de cet algorithme par rapport au précédent est que les groupes sont directement ordonnancés : ici, on réalise en série [C] puis [AD] et enfin [B].

Vue sur la macro-organisation

L'intérêt majeur de définir des groupes de travail par une phase de partitionnement de la matrice DSM est de permettre d'ordonnancer les tâches à effectuer et de définir ainsi des jalons pour valider progressivement le processus de travail coopératif. Cependant, la décomposition du travail coopératif par cette méthode ne permet pas de maîtriser la taille des groupes c'est-à-dire le nombre d'activités impliquées. Ainsi, l'application de la méthode à un processus peut aboutir aussi bien à la constitution de groupes de très petite taille comme à celle de groupes de taille importante [Smith, 97a]. Un groupe de taille importante peut être difficile à gérer. Il consiste à faire coopérer en même temps, un nombre important d'acteurs, ce qui peut contribuer à ralentir très fortement la performance globale du groupe compte tenu du nombre d'interactions que le travail coopératif peut engendrer. En revanche, l'innovation et la créativité y sont favorisées. A l'inverse, un groupe de petite taille converge plus facilement vers une solution aux dépens de sa qualité ou de son ingéniosité. Il importe donc de pouvoir gérer la taille des groupes de travail et de trouver un compromis qui favorise les temps et coûts de développement sans pénaliser la qualité du produit.

Quelque soit l'algorithme appliqué, la matrice d'échanges DSM et la méthode de partitionnement associée permettent d'organiser les groupes de travail et de les ordonnancer en fonction de leurs dépendances. Cependant, dans le cas d'un processus coopératif mettant en jeu beaucoup de relations bilatérales et des activités fortement connexes, la méthode de décomposition peut rester inefficace. On obtient alors des tâches couplées qui peuvent être aussi difficile à gérer que le processus avant décomposition. Dans le pire des cas, on obtient un seul groupe de travail composé de toutes les activités! De plus, cette méthode ne permet pas d'évaluer la performance intrinsèque de l'organisation obtenue. En effet, sa faiblesse est de ne s'attacher à trouver ni la durée globale du projet, ni la durée et charge de chaque tâche, ni aucun autre critère d'évaluation d'ailleurs. La DSM associée au processus de partitionnement permet uniquement de satisfaire aux contraintes de dépendances entre activités. L'organisation que l'on obtient est alors purement qualitative. Il est donc nécessaire de pouvoir étudier et décomposer les groupes de travail plus finement. C'est ce que nous présentons dans le paragraphe suivant sous le terme de micro-organisation.

3.2.3 Décomposition des tâches couplées : micro-organisation

Critères de décomposition

L'objectif est de définir à l'intérieur d'un groupe de travail, des sous-groupes qui puissent travailler de façon indépendante. Pour que la réunion des sous-groupes identifiés entraîne peu de remises en cause et donc de réitérations, il faut qu'ils soient relativement indépendants les uns des autres et que leurs charges de travail respectives soient à peu près équivalentes afin de ne pas favoriser les temps de développement d'un groupe au détriment de l'autre. Nous considérons que la charge de travail d'un groupe dépend essentiellement du nombre d'activités dans le groupe ou plus précisément qu'à chaque activité est affecté un acteur. C'est en cela que l'on parle indifféremment d'activité ou d'acteur dans un groupe. Cette hypothèse se conçoit très bien si on admet qu'une tâche donnée peut être décomposée en un ensemble d'activité élémentaires réalisables chacune par une ressource et donc par un acteur.

Deux critères doivent donc être considérés pour décomposer un groupe en deux sous-groupes pouvant travailler en parallèle :

- le nombre d'échanges entre les sous-groupes doit être minimal,
- le nombre moyen d'acteurs dans chaque sous-groupe doit être équivalent.

Le premier critère permet de rechercher la meilleure disjonction entre les sous-groupes. Le deuxième critère est important pour gérer la politique générale du processus. Son application permet d'assurer un équilibrage global de la charge de travail entre chaque sous-groupe. La prise en compte de ces deux critères correspond à la même problématique que celle posée dans les recherches sur la distribution d'applications informatiques. L'objectif est d'équilibrer les charges de traitement logiciel sur différents processeurs. Appliqué à un groupe de travail, cette problématique revient à décomposer le groupe en sous-groupes tel que :

- le nombre de liaisons entre les sous-groupes soit minimal (flux inter-groupes réduit);
- le nombre d'acteurs au sein de chaque sous-groupe soit sensiblement le même (équilibrage de charge entre les groupes).

Algorithme spectral

Parmi les algorithmes pour la décomposition des tâches couplées (voir § 2.3.3), un seul permet de respecter l'équilibrage de charge que l'on souhaite imposer aux sous groupes de travail, c'est l'algorithme spectral [Fielder, 75]. L'adaptation de cet algorithme à notre problématique consiste à :

- Construire la matrice Laplacienne L du graphe, $L=D-A$
où A est la matrice telle que $A=[a_{ij}]$ et,

$$a_{ij} = \begin{cases} w(v_i, v_j) & \text{si } (v_i, v_j) \in E \text{ (} w \text{ représentant le poids de chaque lien)} \\ 0 & \text{sinon} \end{cases}$$

D est la matrice diagonale telle que $D=[d_{ij}]$ et

$$d_{ij} = \begin{cases} \sum w(v_i, v_j) & \text{si } i=j \\ 0 & \text{sinon} \end{cases}$$

- Calculer les valeurs propres de la matrice Laplacienne L ;
- Identifier la seconde plus petite valeur propre λ_i et trouver le vecteur propre correspondant ;
- Calculer la moyenne M des composantes y_i du vecteur propre ;
- Diviser l'ensemble des nœuds V en deux sous-ensembles P_1 et P_2 avec les critères suivants :
 - si y_i est supérieur ou égal à M alors $V_i \in P_1$
 - si y_i est inférieur à M alors $V_i \in P_2$

Cette procédure peut être réitérée tant que la granularité des différents groupes reste supérieure à un niveau désiré ou requis. Il existe ainsi dans la littérature plusieurs exemples d’algorithmes récursifs ou RSB pour Recurive Spectral Bisection [Barnard, 93]. La granularité de décomposition dépend en fait fortement du domaine d’application.

Application

Par exemple, la décomposition selon les deux critères prédéfinis est appliquée au troisième groupe de travail (TC1) identifié sur le graphe de la figure 3.8.

L’application de l’algorithme spectral au graphe de coopération ne peut pas être directe. En effet, cet algorithme est appliqué aux graphes non-orientés tandis que les graphes de coopération que nous étudions correspondent à des graphes orientés. Il est ainsi nécessaire d’appliquer une phase intermédiaire de symétrisation du graphe :

- **Etape 1** : dans le cas d’un arc simple entre deux nœuds, ajouter un arc artificiel qui a la direction opposée à l’arc déjà existant, et mettre le poids du nouvel arc à zéro ;
- **Etape 2** : remplacer chaque paire d’arcs entre deux nœuds par un lien tel que le poids de ce lien soit la somme des deux arcs.

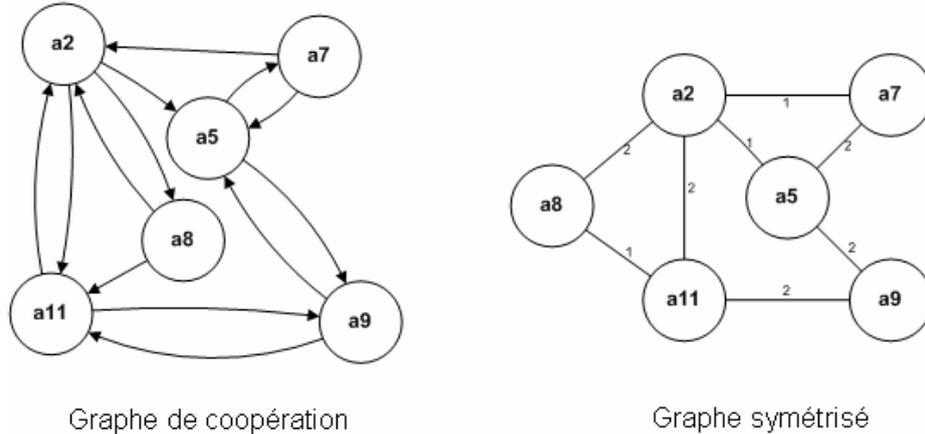


Figure 3.8 : Symétrisation du graphe de coopération

La laplacienne du graphe symétrisé est : $L = \begin{bmatrix} 6 & -1 & -1 & -2 & 0 & -2 \\ -1 & 5 & -2 & 0 & -2 & 0 \\ -1 & -2 & 3 & 0 & 0 & 0 \\ -2 & 0 & 0 & 3 & 0 & -1 \\ 0 & -2 & 0 & 0 & 4 & -2 \\ -2 & 0 & 0 & -1 & -2 & 5 \end{bmatrix}$

Ses valeurs propres λ_i sont :

λ_2	λ_5	λ_7	λ_8	λ_9	λ_{11}
-0.000	1.9619	2.8985	5.5910	6.8767	8.6718

La deuxième plus petite valeur propre de la matrice laplacienne L est λ_5 . On utilise donc pour définir les sous-groupes le vecteur propre correspondant qui est :

	<i>a2</i>	<i>a5</i>	<i>a7</i>	<i>a8</i>	<i>a9</i>	<i>a11</i>
<i>vp5</i>	0.2039	-0.3935	-0.5617	0.6364	-0.1380	0.2529

On groupe les activités selon les valeurs des composantes du vecteur propre, les 3 valeurs les plus grandes dans un groupe et les 3 plus petites dans l'autre. Ainsi, la décomposition de la tâche couplée initiale par application de l'algorithme spectral donne une organisation en deux sous-groupes (figure 3.9) :

- un premier sous-groupe formé par les activités {a2, a8, a11},
- un deuxième sous-groupe formé par les activités {a5, a7, a9}.

L'analyse de cette décomposition fait apparaître que cette organisation correspond à une solution optimale selon tous les critères :

- répartition égale du nombre d'activités dans les deux groupes, soit 3 par groupe,
- interaction inter-groupe minimale, soit 4 échanges,

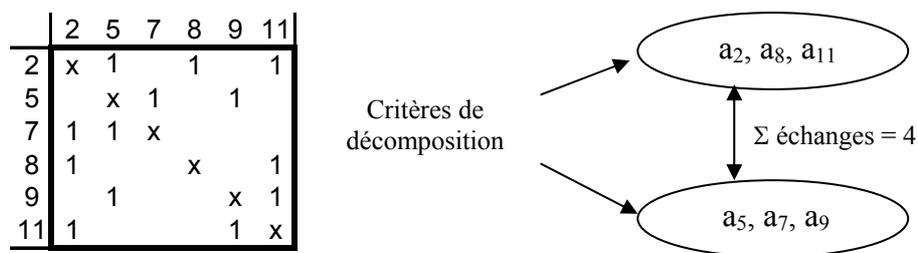


Figure 3.9 : Décomposition d'un groupe par application de critères d'équilibrage de charge.

Ces résultats montrent bien que l'application des deux critères pour la décomposition d'un groupe de travail permet de minimiser le flux d'informations entre les deux sous-groupes obtenus. Ces derniers ayant très peu d'interactions peuvent ainsi travailler de façon séparée en faisant le moins de suppositions possibles sur les informations de l'autre groupe. Il y a donc moins de retour sur le travail effectué (moins d'itérations), la structuration du processus est optimisée en même temps que sa durée minimisée.

3.2.4 Planification des groupes de travail

Dans le cas de l'utilisation d'un algorithme ne permettant d'obtenir que la composition des groupes de travail ou dans le cas où cette composition est imposée, il faut établir une méthode pour ordonnancer les tâches couplées. On étudie ce propos dans ce paragraphe.

Procédure d'ordonnancement

Soit TC la matrice d'échange réduite aux groupes de travail. La procédure d'ordonnancement est alors la suivante :

Début de procédure $i = 1$.

1- Choisir une ligne j de TC dont tous les éléments sont nuls

2- Intervertir cette ligne et la colonne correspondante avec celles du groupe i de la matrice TC réorganisée

3- Eliminer cette ligne et la colonne correspondante de la matrice TC

4- $i=i+1$

Si toutes les colonnes et lignes de TC ne sont pas éliminées, **Aller** en 1
sinon transposer la matrice réorganisée

Fin de procédure

Illustration

Un processus composé de 11 activités a été partitionné suivant les 3 tâches couplées suivantes : TC1 = [2 5 7 8 9 11]; TC2 = [1 3 6] et TC3 = [4 10]. La procédure d'ordonnancement de la matrice TC représentant les relations entre les groupes est représentée sur la figure 3.10.

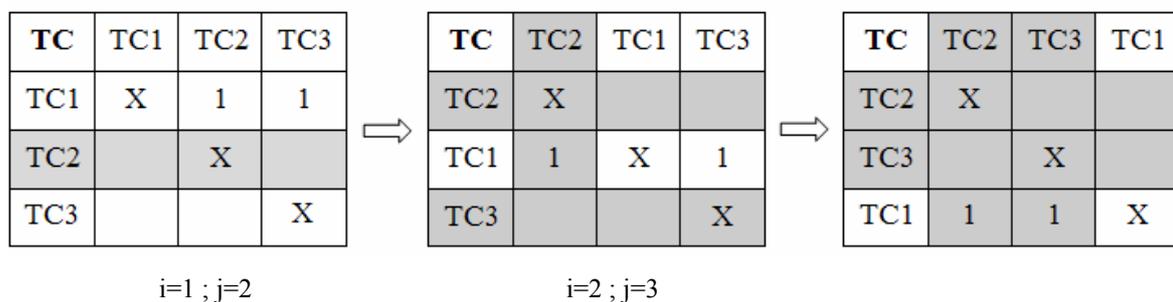


Figure 3.10 : Procédure d'ordonnancement des tâches couplées

La planification des tâches couplées de cet exemple selon la procédure prédéfinie débouche sur l'ordonnancement suivant : [TC2] [TC3] [TC1]. La figure 3.11 représente le processus coopératif originel et sa forme partitionnée et ordonnancée.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	x		1			1					
2		x			1			1			1
3	1		x			1					
4				x							1
5					x	1	1		1		
6	1		1			x					
7		1	1		1		x			1	
8		1		1		1		x			1
9			1		1				x	1	1
10				1						x	
11		1							1		x

Matrice originelle

	6	3	1	10	4	2	5	7	8	9	11
6	x	1	1								
3	1	x	1								
1	1	1	x								
10				x	1						
4				1	x						
2						x	1	1	1	1	
5							x	1	1	1	
7						1	1	x			
8						1			x		1
9							1			x	1
11								1		1	x

Matrice partitionnée et ordonnancée

Figure 3.11 : Partitionnement et ordonnancement d'une matrice

Nous observons sur la matrice partitionnée que TC2 et TC3 n'ont aucun lien entre elles : les deux groupes peuvent donc travailler en simultané (ou tout du moins avec recouvrement si leurs durées estimées respectives sont disparates). Ceci correspond à la définition d'un premier jalon dans la planification du travail, ce qui permet de valider les informations issues de ces 2 premiers groupes. A l'inverse, TC1 a besoin d'informations en provenance des deux autres tâches couplées : cet ensemble d'activités sera donc réalisé, sur la base d'informations disponibles et validées, après l'exécution des deux premiers groupes de travail (TC2 et TC3).

3.3 Atteindre les objectifs du niveau de maturité 3

Une fois que l'on dispose des moyens de définir et planifier des groupes de travail, l'objectif est ensuite d'analyser les coopérations au sein des différents groupes et entre les groupes de façon à évaluer la cohérence globale de l'organisation définie. Nous nous appuyons sur la théorie des graphes et plus précisément sur les graphes de coopération pour étudier les processus coopératifs mis en œuvre et en déduire un ensemble de principes d'organisation relatifs aux rôles au sein de chaque groupe ainsi qu'aux points d'articulation entre chaque groupe de travail. Ces principes sont déduits de l'analyse des coopérations entre activités. Un premier ensemble de principes d'organisation est défini par l'analyse des coopérations au sein des différents groupes pour déterminer la composition de chaque groupe. Un deuxième ensemble de principes est défini par l'analyse des coopérations entre les différents groupes. Ils permettent de déterminer les points d'articulation entre chaque groupe de travail, nécessaires à la gestion de la cohérence des informations échangées entre les groupes de travail.

3.3.1 Graphe de coopération

Représentation de la coopération [Diaz, 92]

Soit A un ensemble d'activités, $A = \{a_i, i=1, \dots, n\}$. Chaque activité a_i maintient un ensemble de valeurs d'information ou de prédicats. Ces informations locales pourront être exportées. Les informations exportées par une activité donnée a_i peuvent ainsi être potentiellement connues en dehors de a_i quand celle-ci accepte de coopérer.

Diaz définit que : a_i est en coopération (coopère) avec a_j lorsque a_i permet à a_j d'accéder aux valeurs de certains de ses prédicats, les prédicats exportés. Ces prédicats deviennent connus de a_i .

Au sens de la définition de [Diaz, 92] une coopération entre deux activités quelconques a_i et a_j peut être représentée par une relation binaire R définie sur l'ensemble des acteurs :

L'acteur a_i est en coopération (relation) avec l'acteur a_j si l'acteur a_j a besoin d'informations de a_i . En d'autres termes, $a_i R a_j \Leftrightarrow$ l'acteur a_j envoie des messages (informations) à a_i .

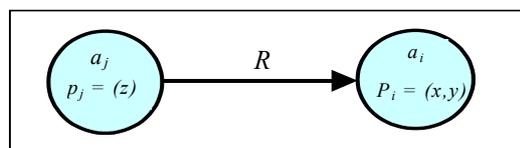


Figure 3.12 : Coopération entre deux acteurs a_i et a_j

La coopération ($a_i R a_j$) est représentée à l'aide d'un graphe orienté appelé « graphe de coopération » dont l'ensemble des sommets correspond à l'ensemble des acteurs ou des activités, et dont l'ensemble des arcs est l'ensemble des coopérations. La figure 3.12 montre que l'acteur a_i coopère avec l'acteur a_j et donc que a_j peut lire les valeurs « x » et « y » que a_i possède et exporte. Par contre l'acteur a_i ne peut pas lire le prédicat « z » de a_j .

Caractérisation de la relation R [Diaz, 96]

Dans le cas général la relation R est antiréflexive : une activité ou un acteur n'importe pas les prédicats qu'il possède déjà. En effet, il est évident qu'un acteur ne s'envoie pas à lui-même des informations qu'il possède. Dans le cas général, R n'est ni symétrique ni transitive.

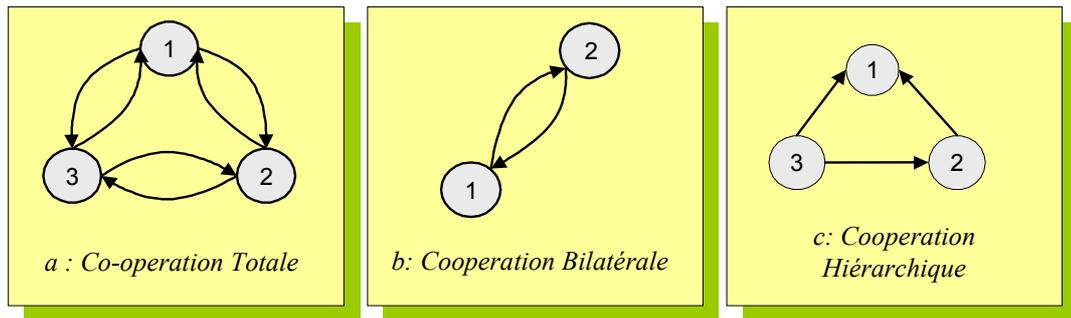


Figure 3.13 : Types de coopérations

Par l'intermédiaire de ces graphes de coopération et selon la caractérisation de la relation R , plusieurs types de coopération sont identifiés [Diaz 96] :

- Si la relation R est à la fois symétrique et transitive alors la coopération est dite *totale* ou parfaite (figure 3.13 a),
- Si la relation R est symétrique alors la coopération est dite *bilatérale* ou symétrique (figure 3.13 b),
- Si la relation R est transitive Alors la coopération est dite *hiérarchique* (figure 3.13 c).

Elaboration des graphes de coopération

Dans le cas général, étant donné un ensemble d'acteurs $A = \{ a_1, a_2 \text{ et } a_3, a_4, a_5 \text{ et } a_6 \}$, la structure de la coopération entre les membres de A donne le graphe de coopération, qui a autant de sommets que d'éléments dans A et dont les arcs entre les différents sommets représentent l'ensemble des coopérations entre ces acteurs.

La figure 3.14 illustre un processus de six activités, où les trois types de coopérations définis précédemment sont représentés :

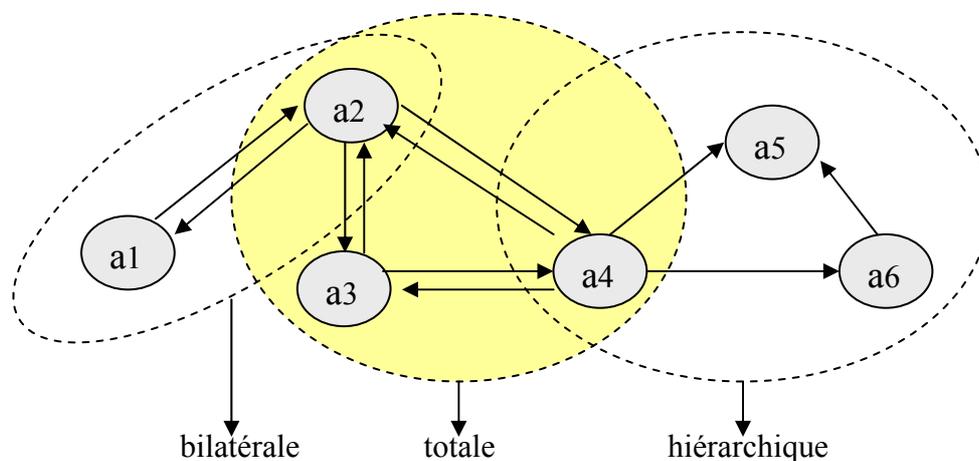


Figure 3.14 : Un exemple de Graphe de Coopération

- Si l'on considère les nœuds a_1 et a_2 et les arcs les connectant, ces activités sont en coopération bilatérale car R est symétrique.
- Si l'on considère les nœuds a_2 , a_3 et a_4 et les arcs les connectant, ces activités sont en coopération totale ou parfaite car R est symétrique et transitive,
- Si l'on considère les nœuds a_4 , a_5 et a_6 et les arcs les connectant, ces activités sont en coopération hiérarchique car R est transitive.

3.3.2 Identification des rôles au sein d'un groupe de travail

Pour déterminer les rôles au sein d'un groupe de travail, nous proposons d'appliquer deux principes dérivés de l'étude des graphes de coopération [Idelmerfaa, 04]. Le premier principe permet d'identifier les responsabilités pour la validation des données d'entrées et de sorties d'un processus de travail. Ces responsabilités sont assurées par des participants appelés *membres validant* d'un groupe de travail. Les membres validant doivent être capables de réagir à toute proposition formulée par un autre acteur et donc avoir un lien direct ou non avec cet acteur. Cela signifie que les types d'interactions pour des membres validant sont soit :

- des coopérations bilatérales,
- des coopérations totales,
- ou des coopérations qui regroupent des acteurs impliqués dans un circuit mais pas dans une coopération hiérarchique.

De façon générale, l'identification d'un membre validant dans un groupe de travail consiste à vérifier l'existence de circuits dans le graphe de coopération. Dans la théorie des graphes, la recherche de circuits se fait par la recherche de composantes fortement connexes (principe 1).

Principe 1 : « Un groupe de travail doit rassembler des membres validant constitués par l'ensemble des acteurs impliqués dans une composante fortement connexe du graphe de coopération correspondant ».

Sur l'exemple du troisième groupe de travail identifié sur la figure 5, les six acteurs du groupe $\{a_2, a_5, a_7, a_8, a_9, a_{11}\}$ sont membres validant puisqu'ils forment une composante fortement connexe.

Le deuxième principe sert à identifier le *responsable de tâche* au sein d'un groupe de travail. Un responsable de tâche a une position prépondérante vis-à-vis des autres. Il est indispensables dans une coopération, et doit être capable d'observer l'ensemble des activités de réagir immédiatement en envoyant de nouveaux ordres ou en mettant à jour des informations pour chaque activité. Un responsable de tâche a donc une position centrale dans un groupe de travail. Il doit avoir des liens avec tous les autres acteurs du groupe de travail qui font intervenir le moins d'intermédiaires possibles. L'identification du responsable de tâche consiste à étudier les distances respectives d'un acteur avec tous les autres acteurs de la coopération et à rechercher le chemin le plus court qui le sépare de chaque autre acteur. Parmi ces chemins les plus courts, on recherche pour chaque acteur, l'acteur qui lui est le plus éloigné (ou le plus excentré) c'est-à-dire celui pour lequel il a besoin du plus d'intermédiaires pour coopérer. Le responsable de tâche est l'acteur qui a la capacité de coopérer avec n'importe quel autre acteur avec le minimum d'intermédiaires dans les deux sens de la coopération c'est-à-dire pour récupérer comme pour fournir des informations auprès des autres acteurs. Dans la théorie des graphes, les notions d'excentricité et d'anti-excentricité permettent aisément de calculer la distance la plus longue parmi les chemins les plus courts depuis un sommet i à tout autre sommet j (valeur d'excentricité) ou depuis tout sommet j au sommet i (valeur d'anti-excentricité).

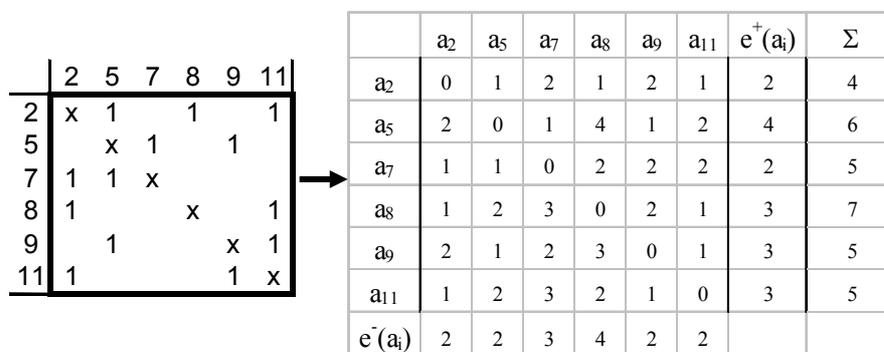


Figure 3.15 : Calcul des valeurs d'excentricités et d'anti-excentricité pour la recherche du responsable de tâche dans un groupe de travail

L'excentricité représente la capacité d'un acteur à récupérer une information auprès d'un autre acteur du groupe de travail, avec le minimum d'intermédiaires. L'anti-excentricité représente la capacité d'un acteur à fournir une information à un autre acteur du groupe de travail, avec le minimum d'intermédiaires. Le responsable de tâche dans un groupe de travail est l'acteur qui minimise l'excentricité et l'anti-excentricité c'est-à-dire la somme des deux valeurs.

Principe 2 : « Un groupe de travail doit comporter un responsable de tâche identifié par l'acteur dans un graphe de coopération dont la somme de la valeur d'excentricité et de la valeur de l'anti-excentricité est minimale ».

Par exemple, la figure 3.15 présente le tableau pour le calcul des valeurs des excentricités $e^+(a_i)$, anti-excentricités $e^-(a_i)$ et la somme des 2 valeurs (Σ) pour le groupe de travail formé des acteurs $\{a_2, a_5, a_7, a_8, a_9, a_{11}\}$. Pour ce groupe, l'acteur a_2 est celui qui minimise la somme des 2 valeurs soit $2 + 2$, il est donc le responsable de tâche.

Dans chaque groupe de travail, il ne peut y avoir qu'un seul responsable de tâche. Dans le cas où plusieurs acteurs possèdent la même valeur minimale, le responsable de tâche est celui parmi ces acteurs qui coopère le plus avec les autres, c'est-à-dire qui possède le moins d'éléments excentrés. L'identification du responsable de tâche dans un groupe de travail est importante car c'est cet acteur qui permet de faciliter les flux d'informations et éviter les pertes sémantiques d'informations en limitant les intermédiaires dans les échanges d'informations au sein du groupe ;

3.3.3 Identification des rôles entre les groupes de travail (Interfaces)

Ce qui est préconisé dans la section précédente en terme de gestion de la cohérence des informations au sein des groupes de travail, doit être à fortiori préconisé pour les échanges d'informations entre les groupes de travail. L'objectif est d'identifier les acteurs susceptibles d'assurer la cohérence des informations entre les différents groupes de travail en optimisant le transfert des informations entre les groupes c'est-à-dire en réduisant les intermédiaires et donc les pertes sémantiques qui peuvent se produire à chaque intermédiaire.

Il s'agit comme pour le principe 2 de minimiser la distance globale entre le producteur et le consommateur d'une information, à la différence que le producteur et le consommateur appartiennent à deux groupes de travail distincts. La gestion de la cohérence des informations échangées entre deux groupes de travail devra donc être assurée par un couple d'acteurs appelés *membres clés*, avec un membre clé par groupe. Les membres clés entre deux groupes de travail impliquent deux acteurs. Chacun est responsable de la cohérence des informations au sein de son groupe et du transfert des informations vers l'autre groupe. Ils représentent les points d'articulation entre les groupes de travail. Leur identification est déduite du principe 2 étendu à deux groupes de travail (principe 3).

Principe 3 : « L'interface entre deux groupes de travail doit être gérée par un couple d'acteurs, chacun appartenant à un groupe; il sont appelés membres clés et identifiés par application du principe 2 (identification d'un responsable de tâche au sein d'un groupe) à l'ensemble des deux groupes qui doivent coopérer ».

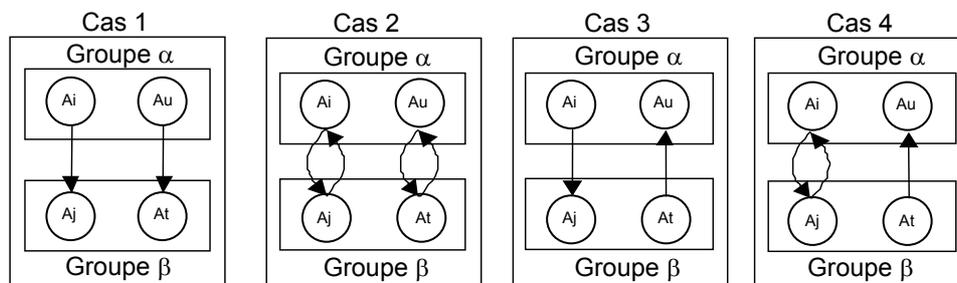


Figure 3.16 : Quatre configurations pour l'interface entre 2 groupes de travail.

Dans l'application de ce principe, quatre cas peuvent se présenter (figure 8) :

- Cas 1* : Les deux groupes sont impliqués dans une coopération hiérarchique. Dans ce cas, l'objectif est de déterminer un seul couple d'acteurs pour gérer l'interface entre les groupes. Soient 2 groupes α et β , le sens de circulation des informations étant de α vers β , il faut alors pour chaque couple d'acteurs (a_i, a_j) , avec a_i appartenant au groupe α et a_j appartenant au groupe β , déterminer dans α l'acteur a_i qui a la capacité à récupérer une information dans son groupe avec un minimum d'intermédiaires et dans β l'acteur a_j qui a la capacité à diffuser cette information dans son groupe avec un minimum d'intermédiaires. Les membres clés de ce type de coopération sont donc constitués par le couple d'acteurs (a_i, a_j) pour lequel la somme de la valeur de l'excentricité dans le groupe α et de la valeur de l'anti-excentricité dans le groupe β est minimale :

$$\text{Min } \{ (e^+(a_i) + e^-(a_j)) : a_i \in V(\alpha), a_j \in V(\beta) \}$$

- Cas 2* : Les deux groupes sont impliqués dans une coopération bilatérale. Cela signifie que l'on doit considérer la possibilité pour les acteurs de transférer des informations dans les deux directions. Dans ce cas, on identifie un couple d'acteurs responsable de la gestion des échanges entre deux groupes en appliquant les principes définis dans le cas 1, dans les deux directions :

$$\text{Min } \{ (e^+(a_i) + e^-(a_i) + e^+(a_j) + e^-(a_j)) : a_i \in V(\alpha), a_j \in V(\beta) \}$$

- *Cas 3* : Les deux groupes sont impliqués dans une coopération hiérarchique, mais au moins un couple d'acteurs transfère des informations seulement dans une direction, et au moins un autre couple d'acteurs transfère des informations dans l'autre direction. Cela signifie que l'on doit considérer deux couples d'acteurs responsables de la gestion des échanges entre les deux groupes. Nous appliquons pour cela les principes définis dans le cas 1 deux fois : d'une part pour identifier le couple d'acteurs responsables du transfert d'informations du groupe α vers le groupe β , d'autre part pour identifier le couple d'acteurs responsables du transfert d'informations du groupe β vers le groupe α .
- *Cas 4* : Ce cas est une solution hybride entre le cas 2 et le cas 3 : certains couples d'acteurs sont impliqués dans une coopération bilatérale, d'autres dans une coopération hiérarchique. Dans ce cas, seuls les couples impliqués dans une coopération hiérarchique sont considérés et par conséquent les principes définis dans le cas 2 sont appliqués. Ce choix se justifie par le fait que l'on considère qu'il vaut mieux n'avoir qu'un seul couple en coopération bilatérale, qui gère les communications dans les deux sens entre les deux groupes, plutôt que deux couples distincts en coopération hiérarchique, chacun étant responsable des communications dans un sens.

Remarque : Quand deux ou plusieurs couples d'acteurs ont la même position en coopération, nous appliquons la définition 2 décrite dans la section précédente. L'objectif est de se décider entre l'ensemble des couples possibles. Pour cela, soit a_i appartenant au groupe α et a_j appartenant au groupe β , l'expression à évaluer pour chaque couple est soit \mathcal{E} (cas 1 et 3), soit \mathcal{E}' (cas 2 et 4) :

$$\min | \{ \max \{ d(a_i, a) \} \cup \{ \max \{ d(a, a_j) \} \} | \quad (\mathcal{E})$$

$$\min | \{ \max \{ d(a_i, a) \} \cup \{ \max \{ d(a, a_j) \} \cup \{ \max \{ d(a_j, a) \} \} \cup \{ \max \{ d(a, a_j) \} \} | \quad (\mathcal{E}')$$

La figure 3.17 présente un exemple d'identification des membres clés entre le groupe α constitué de $\{a_{10}, a_4\}$ et le groupe β constitué de $\{a_2, a_5, a_7, a_8, a_9, a_{11}\}$. Ces 2 groupes sont impliqués dans une coopération hiérarchique, ce qui correspond au cas 1 du principe 3. L'identification des membres clés revient alors à rechercher pour chaque couple concerné celui qui minimise la valeur d'excentricité dans le groupe α et la valeur d'anti-excentricité dans le groupe β c'est-à-dire que l'on recherche le couple d'acteurs capable de récupérer dans α les informations avec le minimum d'intermédiaires et de diffuser dans β ces informations avec le minimum d'intermédiaires, soit sur l'exemple le couple (a_{10}, a_9) .

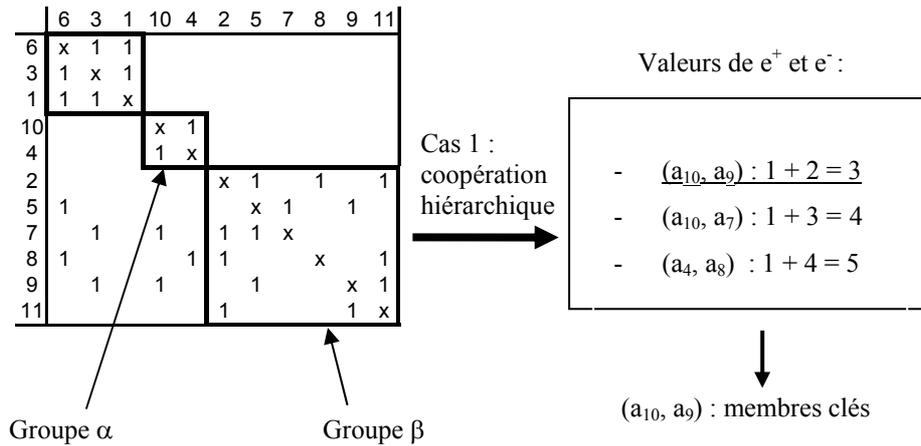


Figure 3.17 : Identification des membres clés entre 2 groupes de travail

L'application des principes d'organisation définis permet d'identifier facilement les rôles clés au sein d'une organisation de travail coopératif. Ce positionnement des acteurs dans une organisation est un point important que les normes qualité [ISO/FDIS 9001, 00] ou ISO SPICE [ISO/IEC TR 15504, 98] recommandent d'intégrer pour gérer efficacement l'évolution et la réalisation d'un processus coopératif. Il correspond également à une demande tant au niveau des responsables de projet que des acteurs du travail coopératif.

Conclusion

Nous avons proposé pour représenter un processus coopératif d'utiliser le modèle DSM. Pour une première décomposition des activités (macro-organisation), nous avons utilisé la théorie des graphes afin de définir les grandes étapes du processus. Afin d'affiner cette organisation, nous avons proposé l'utilisation d'un algorithme spectral permettant de former des groupes de travail qui soient le plus indépendants possible. Une procédure d'ordonnancement des groupes de travail est également définie ainsi que les principes d'identification des responsabilités des acteurs de la coopération. Une fois les groupes de travail formés, ordonnancés et les différents responsables identifiés, l'organisation d'un processus coopératif est alors totalement définie (niveau 3 du CMM). Sur cette structure, vient ensuite se greffer la problématique de l'évaluation et de l'amélioration de l'organisation de travail. Ce qui fait l'objet du chapitre suivant.

CHAPITRE IV

Evaluation et amélioration de l'organisation du travail coopératif

Les objectifs à atteindre, une fois le processus coopératif défini et organisé (niveau de maturité 3), sont d'estimer les performances de l'organisation obtenue puis d'optimiser cette dernière (niveaux de maturité 4 et 5). Ce chapitre permet de formuler nos propositions pour effectivement réaliser ces objectifs.

4.1 Evaluation et amélioration au regard du CMM

Le niveau maîtrisé (4) traduit la mise en place effective d'indicateurs pour l'évaluation de processus. Le dernier niveau (5) permet d'optimiser le processus en définissant différentes stratégies d'exécution et d'organisation : les activités peuvent être exécutées en parallèle, en concurrence ou en série, elles peuvent être rassemblées dans un seul groupe de travail ou au contraire être réparties dans des groupes distincts. Par le contrôle de la performance et la recherche d'une optimisation continue, ces niveaux peuvent être vu comme l'évaluation et la mise en œuvre de changements dans la structure organisationnelle d'un processus coopératif.

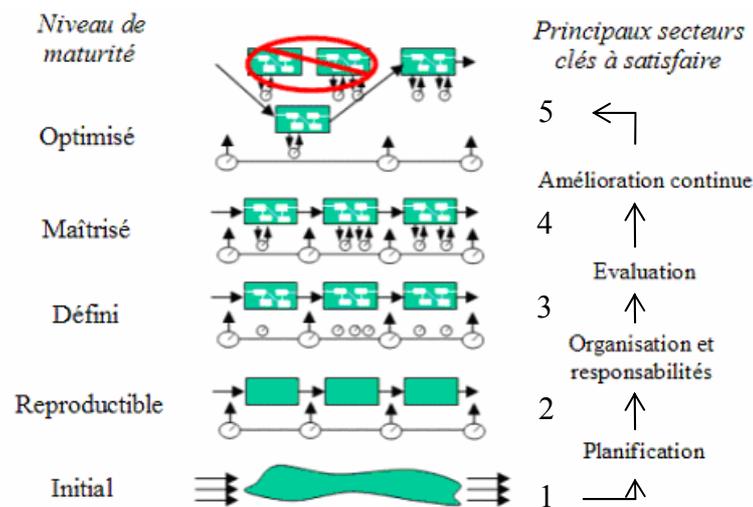


Figure 4.1 : Vue externe sur les cinq niveaux de maturité de l'organisation

La section 4.2 présente un ensemble de méthodes pour introduire des *mesures quantifiables* du processus, conditions nécessaires pour atteindre le niveau 4 de maturité.

Enfin dans la section 4.3, nous présentons des modèles pour l'évaluation et la comparaison de différentes organisations de processus dans un objectif d'*optimisation* continue requis pour aborder le dernier palier de maturité et atteindre le niveau 5.

4.2 Atteindre les objectifs du niveau de maturité 4

Le principal secteur clé requis pour atteindre ce niveau est la mesure quantitative du processus coopératif. Pour cela nous définissons les éléments qui représentent un modèle d'interaction. Ces éléments associés à la méthodologie WTM permettent de définir un modèle de calcul des critères de performance pour une tâche couplée.

4.2.1 Eléments du modèle d'interaction

Dans un contexte coopératif, les relations entre des acteurs sont caractérisées par un phénomène itératif. Le processus peut être modélisé en suivant l'information qui est échangée entre les différentes activités. Cette approche de modélisation inclut deux types d'éléments, à savoir des activités et des taux de reprise. Les caractéristiques des éléments du modèle évoluent avec le nombre d'itérations.

L'élément Activité

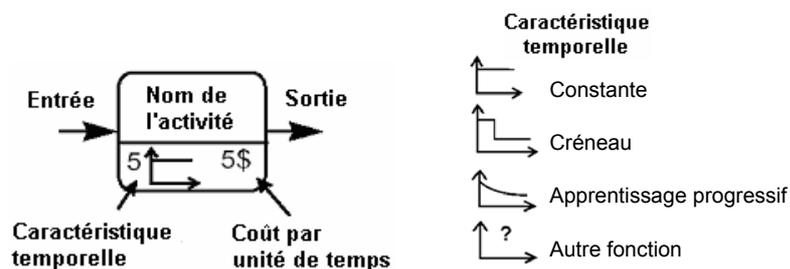


Figure 4.2 : Élément « activité » du modèle d'interaction

Les caractéristiques de durée et de coût par unité de temps de chaque activité coopérative sont décrites par l'élément « activité » de la figure 4.2. Pour créer un modèle flexible et précis, on permet aux caractéristiques de varier en fonction du nombre d'itérations réalisées. Considérons par exemple un processus de conception comportant une activité de modélisation CAO. Dans la première itération, les modèles CAO doivent être créés, mais dans la deuxième itération ils doivent seulement être modifiés, ce qui est moins consommateur en terme de durée. Cet exemple correspond à une réduction en créneau de la durée de l'activité. Une activité dans laquelle le temps d'exécution décroît petit à petit avec l'itération pourra être modélisée par une caractéristique " apprentissage progressif ". Dans le cas d'un niveau avancé de connaissance du processus, la caractéristique temporelle pourra être définie à partir de la fonction la plus appropriée.

L'élément Taux de reprise

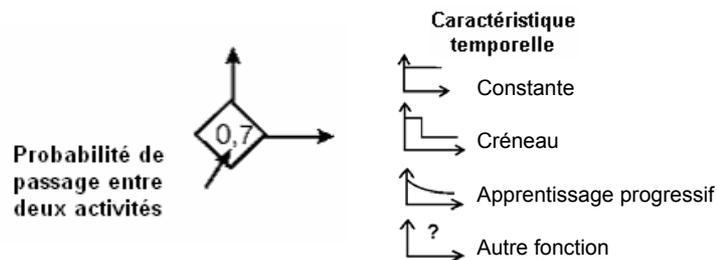


Figure 4.3 : Élément « taux de reprise » du modèle

Le taux de reprise modélise la probabilité de transfert de travail supplémentaire qu'une activité peut engendrer pour une autre (figure 4.3). Si les informations d'une activité sont transmises à une autre activité ayant déjà réalisé sa tâche une première fois, cette dernière doit refaire au moins une partie de son travail. Cette probabilité marque donc l'influence ou la dépendance des activités coopératives entre elles. La caractéristique d'évolution des taux de reprise est également fonction du nombre d'itérations réalisées.

Les acteurs impliqués dans un processus coopératif ont généralement une bonne idée des besoins en informations des activités avec lesquelles ils travaillent. C'est aussi vrai en ce qui concerne les données sur les durées des processus. Nous ne nous attachons pas ici à la récupération de ces informations. Il est bon de rappeler que la méthode proposée va de pair avec une politique de gestion des connaissances. Ainsi, à part pour les processus totalement innovants, l'entreprise, à travers des experts ou des analyses de processus similaires, est capable de dégager les caractéristiques (et aléas) liées à un processus. En ce qui concerne les caractéristiques temporelles, les hypothèses suivantes sont posées afin de déterminer les paramètres du modèle de calcul :

- toutes les activités sont exécutées à chaque itération ;
- pour chaque couple d'activité, le taux de reprise est constant ;
- les durées de base des activités (isolées) sont constantes.

4.2.2 Le Modèle Work Transformation Matrix

Pour évaluer la durée et la charge d'un processus et donc la durée globale d'un projet, Smith et Eppinger [Smith, 97a] ont développé le modèle WTM. Il s'agit d'une extension de la DSM qui intègre une évaluation des activités en termes de temps estimé de chaque activité et d'interdépendances entre activités, exprimées par non plus une relation binaire mais par un

pourcentage représentant la force du lien ou l'importance relative d'une activité par rapport à une autre.

DSM								WTM			
	4	8	2	3	6	1	5	7		1	5
4	x									1	5
8	1	x								0,2	
2	1	1	x	1	1						
3	1		1	x							
6			1	1	x						
1	1		1	1		x	1				
5	1		1	1		1	x				
7			1		1			x			

	1	5
1	4	0,2
5	0,4	7

Figure 4.4 : Le modèle Work Transformation Matrix (WTM)

La matrice WTM est donc constituée de deux types d'informations. Sur la diagonale est représentée la durée estimée des différentes activités considérées de façon isolée les unes des autres. Les éléments hors diagonale représentent les pourcentages de reprise de chaque activité en fonction des résultats des activités dont elle dépend. Concrètement, sur l'exemple de la figure 4.4, l'activité 1 a une durée estimée de 4 unités de temps et l'activité 3 est sensée durer, si elle est exécutée seule, 7 unités de temps. L'élément ".2" sur la première ligne signifie que 20 % de l'activité 1 doivent être repris après la réalisation de l'activité 3. Enfin l'élément ".4" sur la deuxième ligne signifie, d'après l'expérience que l'on en a, que 40 % de l'activité 3 doivent être travaillé à nouveau après chaque réalisation de l'activité 1.

4.2.3 Modèle de calcul des performances d'une tâche couplée

Les différentes variables

Pour les besoins du calcul, la WTM se décompose en deux matrices : une matrice des temps W (matrice diagonale) et une matrice de reprise A . La notation C_i représente le coût de l'activité i par unité de temps. Nous définissons plusieurs variables pour le calcul des critères de performance d'une tâche couplée :

- Soit u_t le *vecteur de quantité de travail* : le vecteur u_t indique quelle quantité de chaque activité il reste à accomplir à chaque itération. Initialement, il n'est composé que de 1 puisque la totalité de chaque activité reste à effectuer. Ensuite, à chaque itération, le vecteur de travail est pondéré par la matrice de reprise jusqu'à ce que toutes les activités

soient à zéro, c'est-à-dire aient été entièrement exécutées. Ces propriétés sont résumées dans les équations suivantes :

- $u_0 = (1, 1, \dots, 1)^T$, avec T : nombre d'activités du processus.
- $u_{t+1} = A.u_t$, donc $u_t = A^t.u_0$.

Ainsi on définit :

$$U = \sum_{t=0}^{\infty} u_t = \left(\sum_{t=0}^{\infty} A^t \right) . u_0$$

U représentant la somme totale de travail durant le processus itératif.

- Soit R le vecteur des temps de travail représentant la charge de chaque activité en unité de temps. R se calcule en multipliant la matrice des temps par le vecteur total de travail :

$$R = WU = W \cdot \left(\sum_{t=0}^{\infty} A^t \right) . u_0$$

Ainsi, en approximant à la limite (la valeur propre maximale de A étant inférieure à 1) avec I étant la matrice identité,

$$R = W(I - A)^{-1} . u_0 \quad (\$)$$

Estimation des critères

- Soit E la charge totale d'une tâche couplée représentant la quantité de travail en terme de durée de l'ensemble des activités. E est donc la somme de toutes les composantes du vecteur des temps de travail :

$$E = \sum_{i=0}^n R^{(i)} \quad \left\{ \begin{array}{l} [-]^{(i)} : i^{\text{ème}} \text{ élément du vecteur } [-] \\ n : \text{ordre de } R \end{array} \right.$$

- Soit C le coût total d'un ensemble d'activités interdépendantes. Le coût d'une activité est égal à sa charge individuelle multipliée par son coût par unité de temps :

$$C = \sum_{i=0}^n C_i . R^{(i)}$$

- Soit T la durée totale d'un processus coopératif, représentant le temps estimé pour mener l'ensemble des activités à leur terme. T est la somme des temps à chaque itération de l'activité la plus longue :

$$T = \sum_{t=0}^{\infty} \max[W.u_t]^{(i)}$$

Illustration

Prenons comme exemple une tâche couplée contenant trois activités interdépendantes. Les coûts des activités A, B et C sont respectivement 800, 600 et 1050 euros par mois. Le modèle WTM de ce groupe de travail est le suivant :

$$\text{WTM} \quad \begin{array}{c|ccc} & \mathbf{A} & \mathbf{B} & \mathbf{C} \\ \hline \mathbf{A} & 4 & .2 & \\ \mathbf{B} & .4 & 7 & .5 \\ \mathbf{C} & .3 & .1 & 6 \end{array} \quad \mathbf{W} = \quad \begin{array}{c|ccc} & \mathbf{A} & \mathbf{B} & \mathbf{C} \\ \hline \mathbf{A} & 4 & & \\ \mathbf{B} & & 7 & \\ \mathbf{C} & & & 6 \end{array} \quad \mathbf{A} = \quad \begin{array}{c|ccc} & \mathbf{A} & \mathbf{B} & \mathbf{C} \\ \hline \mathbf{A} & 0 & .2 & \\ \mathbf{B} & .4 & 0 & .5 \\ \mathbf{C} & .3 & .1 & 0 \end{array}$$

A l'initialisation du processus, toutes les activités sont initialisées et ont l'intégralité de leur travail à effectuer donc :

$$u_0 = [1, 1, 1]$$

Après la première itération :

$$u_1 = \mathbf{A} \cdot u_0 = \begin{bmatrix} 0 & 0.2 & \\ 0.4 & 0 & 0.5 \\ 0.3 & 0.1 & 0 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.2 \\ 0.9 \\ 0.4 \end{bmatrix}$$

Après un second cycle :

$$u_2 = \mathbf{A}^2 \cdot u_0 = [0.18, 0.28, 0.15]$$

...

$$u_3 = [0.056, 0.147, 0.082]$$

...

$$u_4 = [0.0294, 0.0634, 0.0315]$$

Et le calcul des quantités de travail restant à chaque itération se poursuit ainsi de suite, jusqu'à ce que le pourcentage de travail pour toutes les activités devienne négligeable (on peut prendre par exemple une limite de 5%). On considère alors que les acteurs en coopération peuvent réaliser un compromis afin de satisfaire toutes les activités.

On calcule la charge de travail de chaque activité avec $R = \mathbf{W}(\mathbf{I} - \mathbf{A})^{-1} \cdot u_0$

$$R = (5.9524, 17.0833, 10.1429)$$

Soit si l'on considère la charge individuelle pour :

- l'activité A, $R_A = 5.95$ mois,
- l'activité B, $R_B = 17.08$ mois,
- l'activité C, $R_C = 10.14$ mois.

On calcule le coût estimé du travail de l'ensemble de la tâche couplée avec $C = \sum_{i=0}^n C_i \cdot R^{(i)}$

$$C = R_A \cdot C_A + R_B \cdot C_B + R_C \cdot C_C = 25.655 \text{ kilo euros}$$

On aboutit à la durée de la tâche couplée à l'aide de l'équation $T = \sum_{i=0}^{\infty} \max[\mathbf{W} \cdot u_i]^{(i)}$

$$T = \max[\mathbf{W} \cdot u_0]^{(0)} + \max[\mathbf{W} \cdot u_1]^{(1)} + \dots + \max[\mathbf{W} \cdot u_n]^{(n)} + \dots$$

$$\begin{aligned}
&= \max \begin{bmatrix} 4 \\ 7 \\ 6 \end{bmatrix}^{(i)} + \max \begin{bmatrix} 0.8 \\ 6.3 \\ 2.4 \end{bmatrix}^{(i)} + \max \begin{bmatrix} 0.72 \\ 1.96 \\ 0.9 \end{bmatrix}^{(i)} + \dots \\
&= 17.08 \text{ mois}
\end{aligned}$$

Dans l'exemple, c'est toujours l'activité B qui reste la plus pénalisante en terme de durée tout au long du développement. Il sera donc simple ici de se focaliser sur cette activité afin d'avoir des répercussions visibles sur la performance du processus. Dans le paragraphe suivant (§ 4.2.4), nous verrons plus précisément comment interpréter le modèle dans des cas plus complexes, ceci en vue du contrôle dynamique d'un processus au cours de son développement.

4.2.4 Interprétation du modèle de calcul des performances

La stratégie proposée pour les tâches couplées est un mode itératif de gestion. Le travail s'effectue ainsi par vagues successives jusqu'à la réalisation de l'ensemble des activités. A partir du comportement décrit par le modèle de calcul de deux activités en interaction, nous dégageons plusieurs éléments pour leur gestion et leur contrôle, avant de généraliser ces principes à tout type de tâche couplée quelque soit le nombre d'activités qu'elle implique.

Formalisation d'une interaction entre deux activités

La figure suivante (figure 4.5) représente la coopération entre deux éléments A et B interdépendants caractérisée à l'aide du modèle WTM et dont l'activité (position de travail, d'attente ou de reprise) est décrite par un Réseau de Pétri. Nous utilisons les propriétés temporelles des Rdp à travers un réseau T-temporisé pour étudier le comportement de cette interaction telle que la décrit le modèle de calcul.

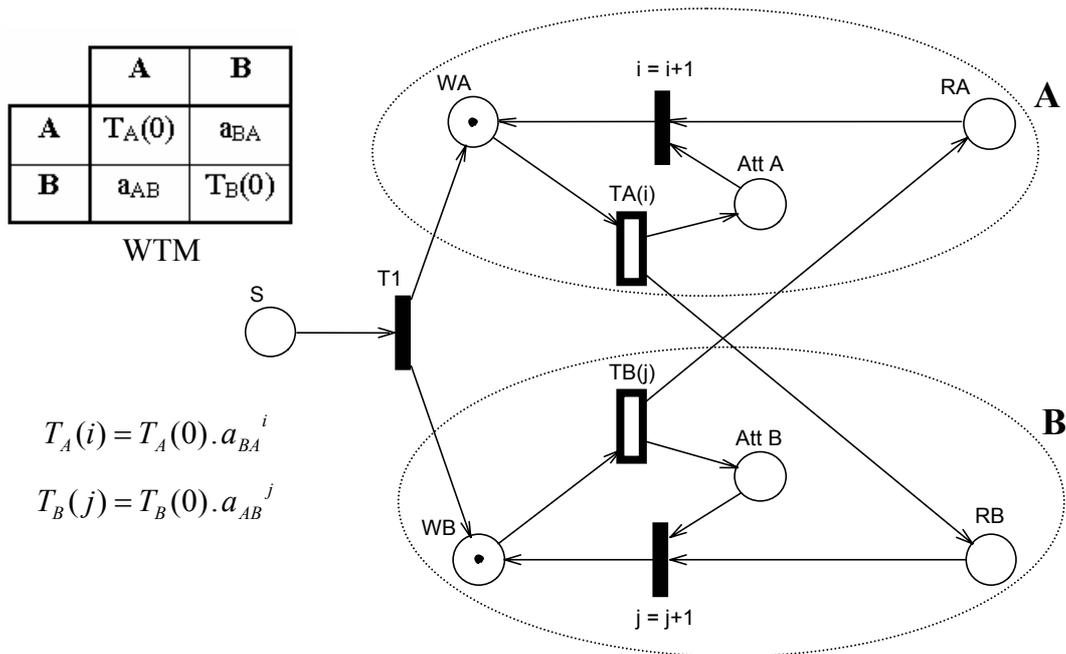


Figure 4.5 : Réseau de Pétri temporisé de l'interaction entre A et B

Les places WA et WB représentent l'état de travail respectivement de l'activité A et de l'activité B. Les places Att A et Att B représentent l'état d'attente respectivement de l'activité A et de l'activité B. Les places RA et RB représentent l'attribution d'un travail supplémentaire (Re-travail) respectivement à l'activité A et à l'activité B.

Les transitions T1, i et j sont des transitions immédiates et T1 indique le démarrage de la coopération entre A et B. i et j représentent le nombre d'itération en cours respectivement pour A et pour B (Au départ, $i = j = 0$)

Les transitions $T_A(i)$ et $T_B(j)$ sont des transitions temporisées représentant la durée de travail d'une activité en fonction du numéro de l'itération en cours. Ces durées peuvent être assimilées à un taux de rafraîchissement ou à une mise à jour des informations. Nous cherchons ici à exprimer le délai maximal de réalisation de l'interaction A-B. Nous nous plaçons ainsi dans le cas d'un transfert de travail supplémentaire en fin de tâche (planification au plus tard), et on peut exprimer :

$$T_A(i) = T_A(0) \cdot a_{BA}^i$$

$$T_B(j) = T_B(0) \cdot a_{AB}^j$$

Le modèle de calcul se comporte comme s'il y avait une transition simultanée de i et j et donc une synchronisation du travail des activités à chaque nouvelle itération.

Notion de Criticité Virtuelle

Pour déterminer la durée totale d'un processus coopératif, on peut faire l'analogie avec la recherche du chemin critique (ou Critical Path Method) utilisée en gestion de projet. Le but est de surveiller plus attentivement et de réduire les activités les plus contraignantes pour le délai de réalisation (c'est-à-dire les activités critiques). Ici on introduit un nouveau concept, celui de *Chemin Critique Virtuel*. En effet, le fait de prendre en compte le travail de reprise des activités peut être assimilé à des étapes supplémentaires pour le processus. Il nous faut ainsi considérer la durée de chaque itération. La durée d'une phase d'itération découle directement de l'activité la plus longue au cours de cette phase.

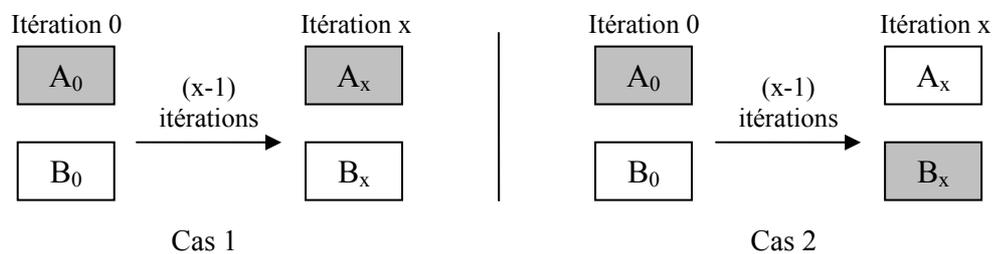


Figure 4.6 : Evolutions possibles de la criticité au cours des itérations

Il existe deux cas de figure pour la réalisation d'un développement entre deux activités interdépendantes (figure 4.6) :

1. soit l'activité qui est la plus longue au départ reste la plus contraignante (en grisé sur la figure) en terme de durée tout au long de l'interaction,
2. soit c'est l'autre activité qui devient la plus contraignante au cours de la réalisation

Ce sont les paramètres de durées initiales et de taux de reprise qui permettent d'identifier à la fois dans quel cas nous nous situons et, si le cas 2 est envisagé, à quel moment (quelle itération) le changement intervient.

Nous partons de l'hypothèse que l'activité A a une durée initiale supérieure à l'activité B. Nous étudions la différence entre les durées respectives de A et B au cours du temps. Cette différence est exprimée sous la forme de la fonction $f(x)$:

$$f(x) = T_A \cdot A_{BA}^x - T_B \cdot A_{AB}^x$$

Le signe de $f(x)$ détermine dans quel cas l'interaction se situe. Si $f(x)$ est positif quelque soit x , alors l'activité A reste la plus contraignante (cas 1). Au contraire si $f(x)$ devient négatif,

alors l'activité B supporte, à un moment et jusqu'au terme de la relation, la durée principale de l'interaction. A $x = 0$, $f(x)$ est toujours positif puisque T_A est supérieure à T_B . Nous cherchons le moment où $f(x)$ s'annule, donc :

$$T_A \cdot A_{BA}^x - T_B \cdot A_{AB}^x = 0$$

$$T_A \cdot A_{BA}^x = T_B \cdot A_{AB}^x$$

$$\frac{A_{BA}^x}{A_{AB}^x} = \frac{T_B}{T_A}$$

On obtient ainsi le paramètre de *criticité* x de la coopération entre deux activités A et B :

$$x_{AB} = \frac{\ln\left(\frac{T_B}{T_A}\right)}{\ln\left(\frac{A_{BA}}{A_{AB}}\right)} \quad (\text{£})$$

Si $x < 0$, alors A reste l'activité critique tout au long du développement (cas 1)

Si $x > 0$, alors B devient l'activité critique à la $(ent(x) + 1)^{\text{ème}}$ itération (cas 2)

Cas particuliers :

- $A_{BA} = A_{AB}$: les taux de reprise étant équivalents, on ne peut pas calculer x . C'est l'activité ayant la durée initiale la plus longue qui constitue le chemin critique virtuel.
- $T_A = T_B$: les durées initiales étant égales, $x = 0$ quelque soient les valeurs des taux de reprise. C'est l'activité ayant le taux de reprise le plus élevé qui est critique.
- $x = 1$ si et seulement si $T_A \cdot A_{BA} = T_B \cdot A_{AB}$

Etude de cas :

	A	B
A	10	0.35
B	0.3	8

$$x_{AB} = \frac{\ln\left(\frac{8}{10}\right)}{\ln\left(\frac{0.35}{0.3}\right)} = -1,4476$$

La durée et le taux de reprise de l'activité A étant supérieur aux valeurs respectives de l'activité B, nous sommes dans le cas 1 et x est négatif.

	A	B
A	10	0.25
B	0.3	8

$$x_{AB} = \frac{\ln\left(\frac{8}{10}\right)}{\ln\left(\frac{0.25}{0.3}\right)} = 1,2239$$

L'activité A sera la plus longue sur les 2 premières itérations et ensuite c'est l'activité B qui deviendra prépondérante (ou critique).

L'étude de la criticité virtuelle montre l'impact que les paramètres du modèle peuvent avoir sur la signification temporelle d'une interaction. Une faible variation d'un taux de reprise peut en effet déporter la criticité des performances d'une activité à l'autre. Si le processus est mature (estimé par l'indicateur de qualité), les responsables sont présumés avoir une bonne connaissance de son comportement. Pour traduire un comportement connu, il est donc important de privilégier un aspect relatif plutôt que quantitatif pour la définition des paramètres.

D'une manière générale, les indicateurs de performance calculés avant le commencement d'un processus sont surestimés. En effet, les activités ont toute liberté de communication au cours du développement et pas seulement au terme d'une itération. Donc les résultats intermédiaires, qui entraînent du travail supplémentaire, sont en réalité assimilés à tout moment. Et les périodes d'attente pour une activité sont en fait fortement limitées. En effet, les périodes d'inactivité sont généralement inexistantes (pour les responsables !), ou tout du moins, faibles (dans la pratique) car elles sont compensées par les aléas qui subsistent irrémédiablement dans tout travail coopératif et par le fait que les acteurs puissent être engagés dans plusieurs processus dans une même période. Ainsi, le modèle d'évaluation ne reflète pas rigoureusement les résultats d'un processus coopératif mais il en fournit une bonne approximation en majorant ses performances. Les critères évalués sont en quelque sorte révélateurs du pire des cas. En particulier, les durées estimées doivent être considérées comme des délais maxima de réalisation.

Conclusion

Le modèle de calcul permet d'estimer un ensemble de critères pour la réalisation d'un processus mettant en jeu des activités interdépendantes. Nous avons défini un mode de gestion itératif pour le travail coopératif. De plus, l'interprétation du modèle permet de déceler les activités qui vont être les plus critiques. Ces propositions permettent d'atteindre le dernier palier de maturité, dans lequel on s'attache à améliorer continuellement l'organisation de travail.

4.3 Développer les objectifs du niveau de maturité 5

Le principal objectif de ce niveau de maturité est l'optimisation du processus coopératif. L'optimisation va souvent de pair avec la notion de changements, qu'ils soient structurels (modification de la répartition des ressources, modification de la stratégie d'organisation) ou qu'ils soient technologiques. Il s'agit de pouvoir anticiper et évaluer les effets de ces changements afin de déterminer s'ils ont lieu d'être effectués ou non. L'utilisation du calcul réseau permet de recentrer la gestion sur un aspect jusqu'ici négligé dans notre approche : la répartition des compétences et ressources. Enfin, afin de capitaliser les « bonnes pratiques » d'organisation, un indicateur du niveau de qualité d'une organisation est proposé.

4.3.1 Garantir les délais et optimiser les ressources

La théorie du calcul réseau, initiée par [Cruz, 91], est utilisée dans le domaine des réseaux informatiques pour évaluer le délai maximum (pire des cas) de transmission de bout en bout d'un réseau informatique. L'approche formule le niveau de congestion en fonction des débits des éléments du réseau et des arrivées de flux d'informations.

L'adaptation de la théorie du calcul réseau

Employée à l'origine pour valider la faisabilité d'une architecture informatique, nous dérivons cette approche pour valider la faisabilité d'une structure organisationnelle coopérative. Nous adaptons donc cette théorie pour permettre d'évaluer le délai global maximal d'un processus coopératif.

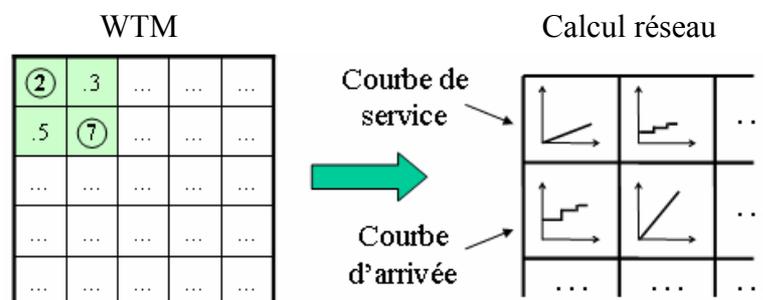


Figure 4.7 : Adaptation du calcul réseau pour le travail coopératif

Les éléments du réseau sont alors les activités coopératives et les arrivées de flux d'informations sont déduites des taux de dépendances entre activités. Les données informatiques à traiter sont remplacées par les quantités de travail à accomplir. Les éléments de la WTM peuvent être ainsi utilisés pour caractériser les courbes d'arrivée et de service d'un réseau coopératif (voir figure 4.7).

La technique nécessite de définir pour chaque équipement du réseau une *courbe de service*, qui caractérise sa capacité de traitement. Dans notre contexte, cette courbe de service est la capacité des ressources attribuées à une activité à traiter son travail. Ceci correspond à la notion de compétences des acteurs. L'approche permet en effet de répartir les ressources afin d'équilibrer les charges de travail. Pour cela il existe deux leviers pour modifier l'allocation des ressources à une activité :

- le nombre de personnes (ou plus généralement les moyens entrepris),
- le niveau de compétences des individus.

Pour certaines activités (surtout les activités de création ou de conception), le nombre d'individus impliqués n'entraînent pas obligatoirement une meilleure capacité de traitement. La connaissance à repérer, emmagasiner, puis gérer est la compétence globale d'un ensemble de ressources pour une activité donnée (en terme de capacité de traitement par unité de temps). Une fois les ressources attribuées, on considère le service comme constant et sa capacité correspond à la pente de la courbe. Pour que les activités finissent dans des temps similaires, on peut attribuer des courbes de service moindre aux activités les plus courtes. A l'inverse, on affectera une capacité de traitement plus conséquente aux plus longues. La possibilité de modifier les ressources au cours du développement peut également être envisagée.

La *courbe d'arrivée* correspond à la quantité de travail qu'une activité entraîne pour une autre. La difficulté d'application de la technique du calcul réseau réside dans le fait que les activités coopératives, au contraire des équipements informatiques, réinjectent du travail supplémentaire. Cette courbe a une forme en escalier avec des marches de plus en plus petites. Chaque marche traduit le passage d'une itération à la suivante et la hauteur d'une marche correspond à la quantité de travail supplémentaire engendrée par une activité pour une autre à chaque itération. Ainsi à chaque itération, une activité reçoit virtuellement une quantité de travail en provenance des activités dont elle dépend.

Apports engendrés

Le calcul réseau permet d'évaluer la durée totale d'un processus coopératif pour une répartition donnée des ressources. Les premiers résultats font apparaître un outil rapide et efficace pour l'évaluation des délais. Mais l'avantage majeur est la finesse de configuration. Nous pouvons ainsi régler le recouvrement des activités afin d'optimiser les temps de « re » travail. En effet, on peut tester différentes configurations pour gérer au mieux les ressources.

Le calcul réseau permet d'attribuer des priorités sur les flux d'informations. Ainsi, si des acteurs participent à plusieurs processus, il est possible de les affecter prioritairement à un projet ou à un autre. L'ensemble des processus coopératifs d'une entreprise peut alors être optimisé non plus séparément mais globalement. Le réseau coopératif ainsi construit contient tous les processus ayant des ressources communes. Ceci autorise donc à introduire la notion de *gestion multi processus*.

4.3.2 Anticiper un changement dans la structure du processus

Lorsque la gestion d'un groupe de travail reste trop complexe, les responsables sont amenés à entrevoir des modifications structurelles telle la décomposition en sous groupes (voir § 3.2.3). Les sous groupes peuvent ensuite travailler de deux manières : simultanément (en parallèle) ou en série. La suite de nos travaux a pour objet de déterminer comment évaluer les performances associées à ces deux stratégies selon le modèle de calcul défini précédemment.

Sérialisation d'une tâche couplée

La décomposition séquentielle consiste à découper une tâche couplée en deux parties distinctes. Les deux sous-groupes alors formés sont mis au travail de façon séquentielle. On appelle cette approche "sérialisation d'une tâche couplée". Ainsi, sur l'exemple de la figure 4.8, la tâche couplée initiale est composée de 4 activités individuelles 1, 2, 3 et 4 impliquées dans des échanges totaux. Les nœuds ombrés symbolisent les activités qui sont initialisées au cours d'une phase donnée. La première phase de la sérialisation est entièrement composée d'activités qui vont à leur terme. Puis dans la seconde phase, on initialise les activités restantes et en fonction des résultats de celles-ci, on peut être amené à reprendre le travail dans le premier sous-groupe.

La sérialisation de la tâche peut par exemple consister à réaliser dans une première phase, un premier sous-groupe formé par les activités individuelles 1 et 2, puis dans une deuxième phase, un deuxième sous-groupe formés par les activités individuelles 3 et 4.

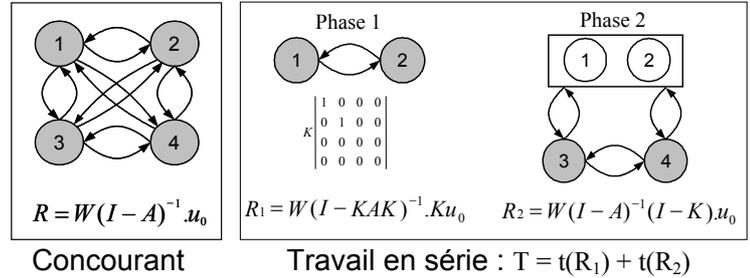


Figure 4.8 : Décomposition séquentielle d'une tâche couplée

La décomposition séquentielle propose de débiter le processus par une phase où seule la moitié des activités est exécutée et utilise uniquement les informations générées par le groupe ainsi formé. Nous faisons l'hypothèse préalable qu'il n'y a pas de variations des paramètres (durée des activités et taux de reprise) entre les deux phases. Pour le calcul de la charge R de chaque activité, on introduit un facteur K qui permet de ne prendre en compte que les activités exécutées à chaque phase. La matrice K représente en fait la matrice de découpe du processus coopératif.

$$K = [k_{ij}] \begin{cases} 1 & \text{si } i = j \text{ et si la } i^{\text{ème}} \text{ activité est dans la première phase} \\ 0 & \text{sinon} \end{cases}$$

Dans la première phase, le vecteur de travail initial n'est donc plus u_0 mais $K.u_0$ puisque seulement une partie des activités est exécutée, soit arbitrairement sur l'exemple, les activités 1 et 2. De même, les itérations ne peuvent se faire qu'entre les activités du premier groupe, ainsi on remplace la matrice de reprise A par K.A.K. On obtient donc un vecteur des temps de travail correspondant à la première phase de la décomposition séquentielle :

$$R_1 = W(I - KAK)^{-1} K.u_0$$

Il reste ensuite à faire travailler le second groupe tout en mettant en relation les deux groupes. Cette phase correspond à exécuter le tout en concurrence sans le travail interne du premier groupe. Ainsi, on remplace u_0 par $(I-K).u_0$ et on en déduit le vecteur des temps de travail correspondant à la phase 2 :

$$R_2 = W(I - A)^{-1} (I - K).u_0$$

L'effort total E est la somme des efforts de chaque phase :

$$E = \sum_{i=0}^n (R_1^{(i)} + R_2^{(i)})$$

On en déduit le coût total associé :

$$C = \sum_{i=0}^n \{C_i \cdot (R_1^{(i)} + R_2^{(i)})\}$$

De même, la durée T du processus en deux phases série est la somme des durées de chaque phase. On identifie donc au vecteur de découpe près :

$$T = \sum_{i=0}^{\infty} \max[R_1]^{(i)} + \sum_{i=0}^{\infty} \max[R_2]^{(i)}$$

En résumé, le modèle pour la décomposition séquentielle est décrit par les équations suivantes :

Modèle pour la décomposition séquentielle

Dans la première phase : $R_1 = W(I - KAK)^{-1} K.u_0$

Dans la seconde phase : $R_2 = W(I - A)^{-1}(I - K).u_0$

$$E = \sum_{i=0}^n (R_1^{(i)} + R_2^{(i)})$$

$$C = \sum_{i=0}^n \{C_i \cdot (R_1^{(i)} + R_2^{(i)})\}$$

$$T = \sum_{i=0}^{\infty} \max[W.KA^t K u_0]^{(i)} + \sum_{i=0}^{\infty} \max[W.A^t (I - K)u_0]^{(i)}$$

La décomposition d'une tâche couplée en sous-groupes réalisés en série ne s'appuie sur aucune méthode, Smith et Eppinger [Smith, 97b] proposent simplement d'appliquer deux principes pour les processus mettant en jeu deux activités. Comme pour la DSM, il faut limiter les dépendances fortes au-dessus de la diagonale :

Ainsi

3	.2
.7	3

 est préféré à

3	.7
.2	3

De même, il est recommandé de placer les activités les plus longues le plus tard possible dans le processus afin de limiter le retour sur les étapes les plus contraignantes. Par exemple :

$$\begin{array}{|c|c|} \hline 2 & .4 \\ \hline .4 & 5 \\ \hline \end{array} \text{ est préféré à } \begin{array}{|c|c|} \hline 5 & .4 \\ \hline .4 & 2 \\ \hline \end{array}$$

Nous constatons que d'une part, il n'existe pas de méthode performante pour trouver la décomposition optimale en série d'une tâche couplée (la seule possibilité étant de simuler exhaustivement les différentes organisations possibles), et que d'autre part, la sérialisation complète des activités non seulement n'optimise pas les temps de développement, mais peut aussi conduire à une phase de réitération des tâches (phase 2) tout aussi longue et complexe que le processus avant sa décomposition, dans la mesure où le découpage en sous-groupes ne prend en compte que des critères d'ordonnancement et ne prend par exemple pas en compte le nombre de liens entre sous-groupes.

Parallélisation d'une tâche couplée

La parallélisation d'une tâche couplée (figure 4.9) consiste à la décomposer en un ensemble de sous-groupes qui puissent travailler en parallèle. Instinctivement, cette approche doit amener un gain de temps sur la durée totale de développement puisque, dès la première phase, toutes les activités sont initialisées. Il reste ensuite dans une deuxième phase à mettre en relations les sous-groupes de travail.

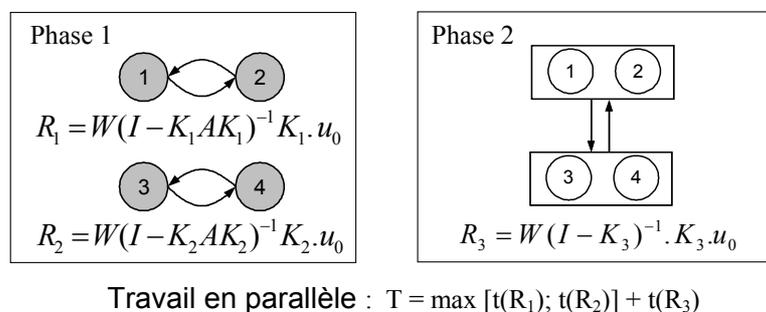


Figure 4.9 : Décomposition parallèle d'une tâche couplée

Par exemple, la tâche couplée initialement composée des 4 activités individuelles 1, 2, 3 et 4, impliquée dans des échanges totaux, peut être décomposée comme sur la figure 3.23 en deux sous-groupes formés respectivement des activités 1 et 2 et des activités 3 et 4. Au cours de la première phase, les deux sous-groupes travaillent en parallèle sans aucune interaction.

De même que dans la démarche de décomposition série, il faut représenter la décomposition parallèle sous forme matricielle. On utilise de nouveau la matrice de découpe K . Pour des raisons de commodité, on définit :

$K_1 = K$ qui représente les activités composant le premier groupe;

$K_2 = (I - K)$ qui représente les activités composant le second groupe.

Le calcul des charges de travail respectives des deux groupes de la phase 1 est similaire à celui développé dans la première phase de la décomposition séquentielle. On identifie ainsi à partir de l'équation (§) les charges de travail engendrées lors de la phase 1. Les vecteurs des groupes 1 et 2 peuvent s'exprimer par les équations suivantes :

$$R_1 = W(I - K_1AK_1)^{-1}K_1.u_0$$

$$R_2 = W(I - K_2AK_2)^{-1}K_2.u_0$$

Au cours de la seconde phase, les deux sous-groupes sont mis en relation. Il reste alors à faire travailler les relations inter-groupes. C'est une phase d'interconnexion. Le vecteur de travail initial est :

$$u'_0 = (K_1AK_2 + K_2AK_1).u_0$$

Ce qui définit le vecteur des temps de travail de la phase d'interconnexion, nécessaire pour le calcul du temps de mise en relation des deux groupes (durée de la phase 2) :

$$R_3 = W[I - (K_1AK_2 + K_2AK_1)]^{-1}(K_1AK_2 + K_2AK_1).u_0$$

Cette équation se simplifie en prenant $K_3 = K_1AK_2 + K_2AK_1$. Ainsi, on obtient :

$$R_3 = W(I - K_3)^{-1}.K_3.u_0$$

La charge totale de travail E pour une décomposition parallèle s'exprime ainsi :

$$E = \sum_{i=0}^n (R_1^{(i)} + R_2^{(i)} + R_3^{(i)})$$

De la même manière, le coût total pour le processus décomposé est :

$$C = \sum_{i=0}^n \{C_i.(R_1^{(i)} + R_2^{(i)} + R_3^{(i)})\}$$

Le calcul de la durée globale est composé de la plus grande durée entre les deux groupes (phase 1) et de la durée d'interconnexion (phase 2) et s'exprime ainsi :

$$T = \max\left(\sum_{i=0}^{\infty} \max[W.K_1A^tK_1u_0]^{(i)}; \sum_{i=0}^{\infty} \max[W.K_2A^tK_2u_0]^{(i)}\right) + \sum_{i=0}^{\infty} \max[W.K_3A^tK_3u_0]^{(i)}$$

Modèle pour la décomposition parallèle

$$\text{Dans la première phase : } R_1 = W(I - K_1 A K_1)^{-1} K_1 \cdot u_0$$

$$R_2 = W(I - K_2 A K_2)^{-1} K_2 \cdot u_0$$

$$\text{Dans la seconde phase : } R_3 = W(I - K_3)^{-1} K_3 \cdot u'_0$$

$$E = \sum_{i=0}^n (R_1^{(i)} + R_2^{(i)} + R_3^{(i)})$$

$$C = \sum_{i=0}^n \{C_i \cdot (R_1^{(i)} + R_2^{(i)} + R_3^{(i)})\}$$

$$T = \max \left(\sum_{i=0}^{\infty} \max[W \cdot K_1 A^t K_1 u_0]^{(i)} ; \sum_{i=0}^{\infty} \max[W \cdot K_2 A^t K_2 u_0]^{(i)} \right) + \sum_{i=0}^{\infty} \max[W \cdot K_3 A^t K_3 u_0]^{(i)}$$

Les deux modèles de décomposition (séquentielle et parallèle) permettent d'évaluer les éventuels gains et pertes qu'un changement structurel va pouvoir apporter. En fonction des contraintes à satisfaire, de la politique de gestion des changements, et surtout du niveau de connaissance sur le processus, les responsables pourront choisir ou non de mettre en place une nouvelle stratégie d'organisation.

Expérimentations

L'exemple proposé est un processus de conception rassemblant huit activités. Les spécifications de ce système sont issues d'une application industrielle d'assemblage de tronçons d'avion de chez Dassault (projet DSPT8). Nous présentons ici sommairement l'expérience et les principaux résultats. Les participants sont distribués géographiquement et leurs échanges sont stockés par la messagerie électronique afin d'être analysés. L'organisation est non hiérarchique, et laisse ainsi ouverte la possibilité de mise en place de liens entre les différents acteurs.

Le nombre de messages entre deux activités définit la force de dépendance entre l'activité productrice et l'activité consommatrice d'informations. Nous pouvons donc construire le modèle WTM correspondant à cette application :

	a_1	a_2	a_3	a_4	a_5	a_6	a_7	a_8
a_1	6	.02	.01	.1	.01	.05	.05	0
a_2	.02	3	.08	.01	0	0	0	.01
a_3	.02	.09	1.5	0	0	0	.01	0
a_4	.09	.02	0	2.5	.34	0	0	0
a_5	.07	.02	.01	.17	2	0	0	0
a_6	.05	0	0	0	0	1	0	0
a_7	.05	.02	.03	0	0	0	2	0
a_8	0	.01	0	0	0	0	0	0.5

Les durées (sur la diagonale) sont exprimées en semaines et les dépendances (hors diagonale) correspondent au nombre de communication entre deux activités pondéré par 1/100.

Ainsi, « .17 » à l'intersection de la 4^{ème} colonne et de la 5^{ème} ligne provient du fait que l'acteur 4 a envoyé 17 messages à destination de l'acteur 5.

Le processus est composé de huit activités interdépendantes. Nous étudions la décomposition du projet en deux groupes de travail de taille identique (dichotomie). Les essais consistent en particulier à comparer les résultats obtenus dans le cas de la sérialisation ou de la parallélisation des activités pour l'ensemble des compositions de groupes (ou organisations) possibles. Les coûts et délais sont étudiés pour toutes les organisations en concurrence, en série et en parallèle à l'aide des différents modèles de calcul que nous avons défini. Les durées respectives et correspondantes à ces approches sont représentées sur la figure 4.10. Pour comparer les différentes décompositions possibles d'une tâche couplée, des heuristiques d'énumération d'ordonnancements ont été développées. Elles forment un ensemble d'outils pour simuler avec divers choix les combinaisons possibles. Nous pouvons ainsi forcer certaines activités à faire partie du premier groupe si par exemple l'évaluation du résultat d'une activité est prioritaire.

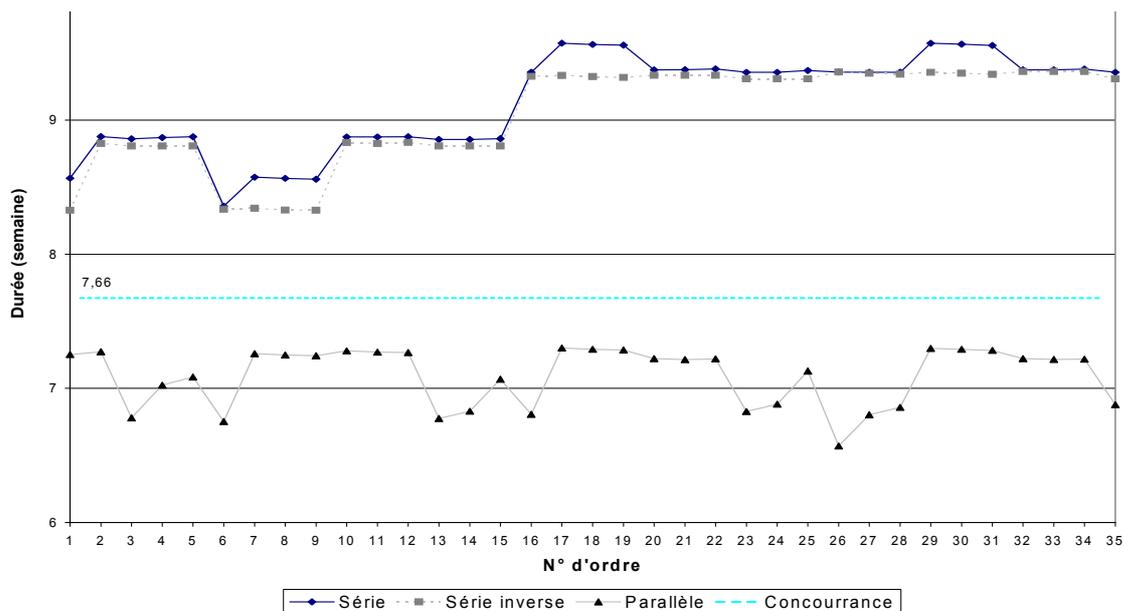


Figure 4.10 : Comparaison des délais suivant la stratégie utilisée

La décomposition en deux groupes de taille identique d'un processus de huit activités offre 35 découpes possibles. Il y a 35 combinaisons différentes pour la parallélisation et 70 pour la sérialisation (puisque'il a deux choix pour l'ordre de réalisation des sous-groupes). Chacun des numéros d'ordre correspond à une décomposition possible (l'ordre 1 correspond à la décomposition {1,2,3,4 / 5,6,7,8} et l'ordre 26 correspond à la décomposition définie par l'algorithme spectral, c'est-à-dire {2,3,7,8 / 1,4,5,6}).

Les deux principaux résultats de ces expérimentations sont les suivants :

- la décomposition parallèle à l'aide d'un algorithme spectral (équilibre de charge) donne la performance optimale,
- la durée d'interconnexion (phase 2 de la décomposition parallèle) conditionne le délai total de réalisation du processus.

Les résultats prouvent que pour ce cas d'étude, la parallélisation procure un gain de temps indéniable par rapport à la sérialisation sans pour autant engendrer une augmentation de charge très importante. L'expérience montre également que dans l'approche parallèle, c'est la durée de la seconde phase qui conditionne quasi totalement la durée totale du processus. Le critère de délai dépend donc des remises en cause que les sous-groupes peuvent générer entre eux. De plus, lorsque nous simulons toutes les découpes possibles du processus, nous observons que c'est bien l'organisation proposée par l'algorithme spectral qui donne la solution optimale. Nous pouvons ainsi valider pour la gestion de ce processus coopératif l'approche de décomposition parallèle couplée au partitionnement défini par l'algorithme spectral.

4.3.3 Propositions pour le suivi des activités

Dans le paragraphe 4.2.4, nous avons montré que le modèle d'évaluation permet de négliger les fluctuations dues au caractère incertain du travail de groupe. Les valeurs qu'il fournit forment alors une barrière au delà de laquelle on identifie un dysfonctionnement significatif. La comparaison de l'état du processus en cours de développement (mesure) avec son état prévu par le modèle au moment de la mesure permet ainsi d'identifier s'il y a un problème ou non.

Il est cependant nécessaire de définir une stratégie pour une mesure efficace des performances. Les questions à résoudre sont les suivantes : à quels moments et à quelles fréquences faut-il obtenir des indices sur les performances d'un processus ? Quelle(s) activité(s) faut-il particulièrement surveiller ? En effet, si des activités de revue ou de vérification peuvent être facilement insérées entre des groupes de travail, il est beaucoup plus difficile de mesurer et de contrôler le déroulement interne de chacun de ces groupes. Afin d'obtenir ces indicateurs, nous proposons simplement que ce soit les managers de groupe qui rapatrient les données sur l'état d'avancement de chaque activité. Nous montrons comment l'étude des criticités relatives entre activités peut guider les responsables dans l'objectif du contrôle dynamique d'un processus coopératif.

Etude de la criticité pour plus de deux activités interdépendantes

Soit un groupe de travail contenant k activités et que l'on peut représenter de la manière suivante (format WTM) en ayant pris soin de ranger les activités selon leurs durées décroissantes ($T_A > T_B > \dots > T_k$) :

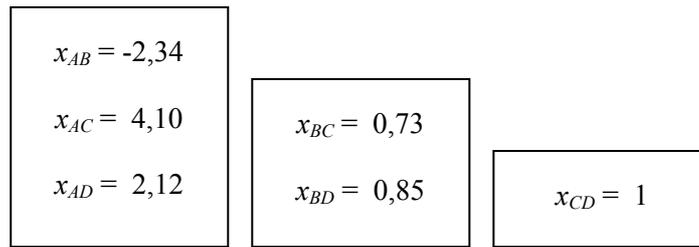
	A	B	C	D	...	...	k
A	T_A	a_{BA}	a_{CA}	a_{DA}	...	...	a_{kA}
B	a_{AB}	T_B	a_{CB}	a_{DB}	...	...	a_{kB}
C	a_{AC}	a_{BC}	T_C	a_{DC}	...	...	a_{kC}
D	a_{AD}	a_{BD}	a_{CD}	T_D	...	...	a_{kD}
...
...
k	a_{Ak}	a_{Bk}	a_{Ck}	a_{Dk}	...	...	T_k

Le taux de reprise total a_i pour l'activité i est égal à la somme des taux de reprise a_{ni} avec n allant de 1 à k . Par exemple, $a_C = a_{AC} + a_{BC} + a_{DC} + \dots + a_{kC}$. Ainsi un couple (T_i, a_i) est défini pour chaque activité i . Nous pouvons ainsi mesurer la criticité relative de toutes les activités deux à deux à l'aide de la relation (F) (page 117).

A la première itération, c'est l'activité A qui est critique puisqu'elle a la durée initiale maximale. C'est donc cette activité qu'il faudra surveiller le plus attentivement au cours du premier cycle de développement. Et c'est également avec la réduction de sa durée que l'on peut envisager une diminution globale des délais de réalisation du processus. Au travers de l'exemple suivant, nous montrons ce qu'il en est pour chaque cycle à partir des criticités relatives entre deux activités.

Exemple :

	A	B	C	D
A	10	0.25	0.2	0.1
B	0.3	8	0.2	
C	0.5	8	7	0.1
D		0.5	0.2	6



Criticités relatives des activités deux à deux

L'ordre d'importance relatif (de l'activité la plus critique à l'activité la moins critique) au début du développement (itération 0) est le suivant : $A_0 - B_0 - C_0 - D_0$

L'exploitation des criticités relatives permet de prévoir les changements qui vont intervenir au cours du temps. Ainsi $x_{AB} = -2,34$ signifie que A sera toujours plus longue que B tout au long du développement et $x_{AC} = 4,10$ veut dire que C devient plus importante que A après cinq cycles. La figure 4.11 résume l'évolution de cet ordre d'importance pour l'exemple choisi. En effet, si les criticités relatives sont parcourues selon leurs valeurs croissantes, il est aisé de construire l'ordre d'importance relative correspondant à chaque itération.

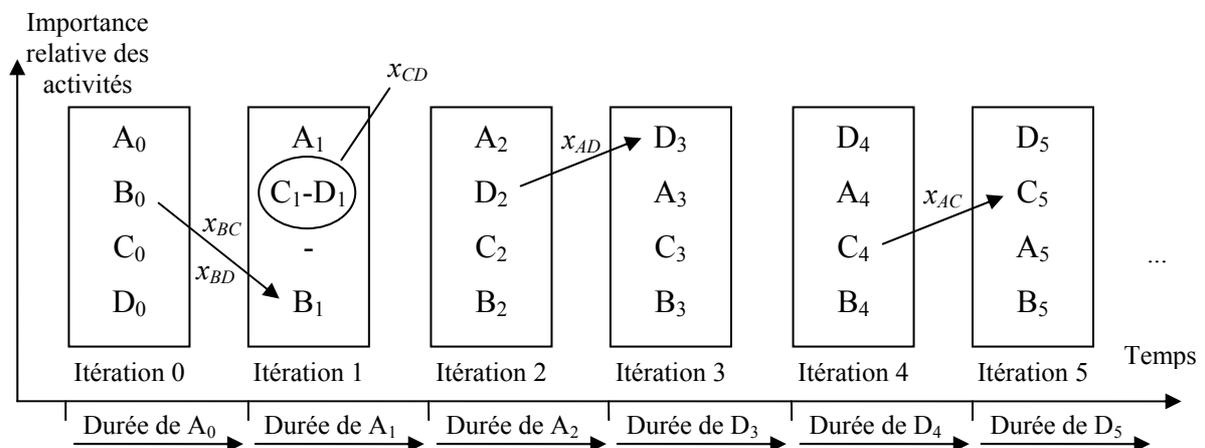


Figure 4.11 : Evolution des importances relatives des activités selon l'itération en cours

En sommant les durées de l'activité la plus importante à chaque itération, on retrouve la durée totale du processus formé par le chemin critique virtuel. Sur l'exemple, c'est l'activité A qui porte la criticité durant les trois premiers cycles (jusqu'à $t = \{ \text{somme de } i = 0 \text{ à } 2 \text{ de } (T_A * a_A^i) \} = 10 + 5,5 + 3.025 = 18,525$ unités de temps) puis c'est l'activité D qui supporte cette charge jusqu'au terme du développement.

Plus une activité est élevée dans le classement de criticité et plus elle aura un impact sur la performance globale du groupe. Au contraire, une dérive en cours d'itération d'une activité moins contraignante n'a pas obligatoirement de répercussions car elle possède une marge de manœuvre. C'est donc, à chaque itération, la performance des activités les plus critiques qu'il faut prioritairement mesurer et cela si possible plusieurs fois en cours de cycle. Concrètement, la fréquence d'échantillonnage sera guidée par la durée prévue de l'itération (plus un cycle est long et plus il faudra de point de contrôle). Sachant que cette durée décroît avec le nombre de cycles, on respecte le fait qu'il faille plus de contrôle en début de développement, là où les dérives sont les plus sensibles.

Conclusion

Les propositions de ce chapitre ont permis de traiter les aspects relatifs à l'estimation et à l'amélioration des performances d'une organisation coopérative. L'utilisation de la méthodologie WTM a permis d'obtenir un modèle de calcul des indicateurs de performance, qui peut être amélioré à l'aide de la théorie du calcul réseau.

Les modèles de sérialisation et de parallélisation apportent une option décisionnelle supplémentaire dans la stratégie de gestion d'une tâche couplée.

Afin d'améliorer le suivi du processus, la notion de criticité virtuelle a été introduite. Celle-ci permet de déterminer les activités à contrôler prioritairement tout au long de la réalisation d'un processus.

Le chapitre suivant (chapitre 5) propose une synthèse de la démarche proposée dans les chapitres 3 et 4 avant de développer un exemple complet d'application la démarche. La mise en œuvre de cette méthode, à travers un outil logiciel, permet d'entrevoir les perspectives de développement à ces travaux.

CHAPITRE V

Mise en application de la démarche

L'objet de ce chapitre est de mettre en œuvre la démarche proposée au travers de l'outil COOP'R (COncption et Organisation de Processus COOPÉratifs) que nous avons développé, et d'exploiter les résultats. Nous faisons le point sur les techniques mises en œuvre et qui ont été intégrées dans l'outil. Nous décrivons ensuite l'outil COOP'R et les fonctionnalités développées. Nous présentons une étude de cas et les expérimentations associées. Enfin, les cadres d'application actuels et prospectifs sont traités dans la dernière partie.

5.1 Synthèse des techniques mises en oeuvre

La figure 5.1 synthétise la mise en application de la démarche proposée et les techniques associées. Les techniques mises en oeuvre permettent de définir un processus donné sous la forme de groupes de travail homogènes et cohérents (niveau 1), de planifier ces groupes dans le temps (niveau 2) et d'identifier les rôles et responsabilités au sein et entre chaque groupe de travail (niveau 3). Lorsque le processus est plus mature et que les responsables disposent de suffisamment de connaissances sur les pratiques organisationnelles, ils peuvent évaluer la performance attendue de l'organisation de travail coopératif (niveau 4). Enfin, une fois le processus évalué et maîtrisé tout au long du développement, on traite son optimisation dans le cadre d'une démarche d'amélioration continue (niveau 5).

La figure 5.2 montre que toutes les techniques mises en œuvre peuvent être utilisées par application d'un ensemble d'algorithmes principalement issus de la théorie des graphes. Pour rendre le *processus structuré*, un algorithme de partitionnement associé à l'outil DSM permet une organisation macroscopique du processus. L'application de l'algorithme spectral permet de réduire la complexité des tâches couplées en les décomposant tout en respectant l'équilibrage des charges de travail. Enfin, un algorithme d'ordonnancement permet de planifier dans le temps les groupes de travail définis.

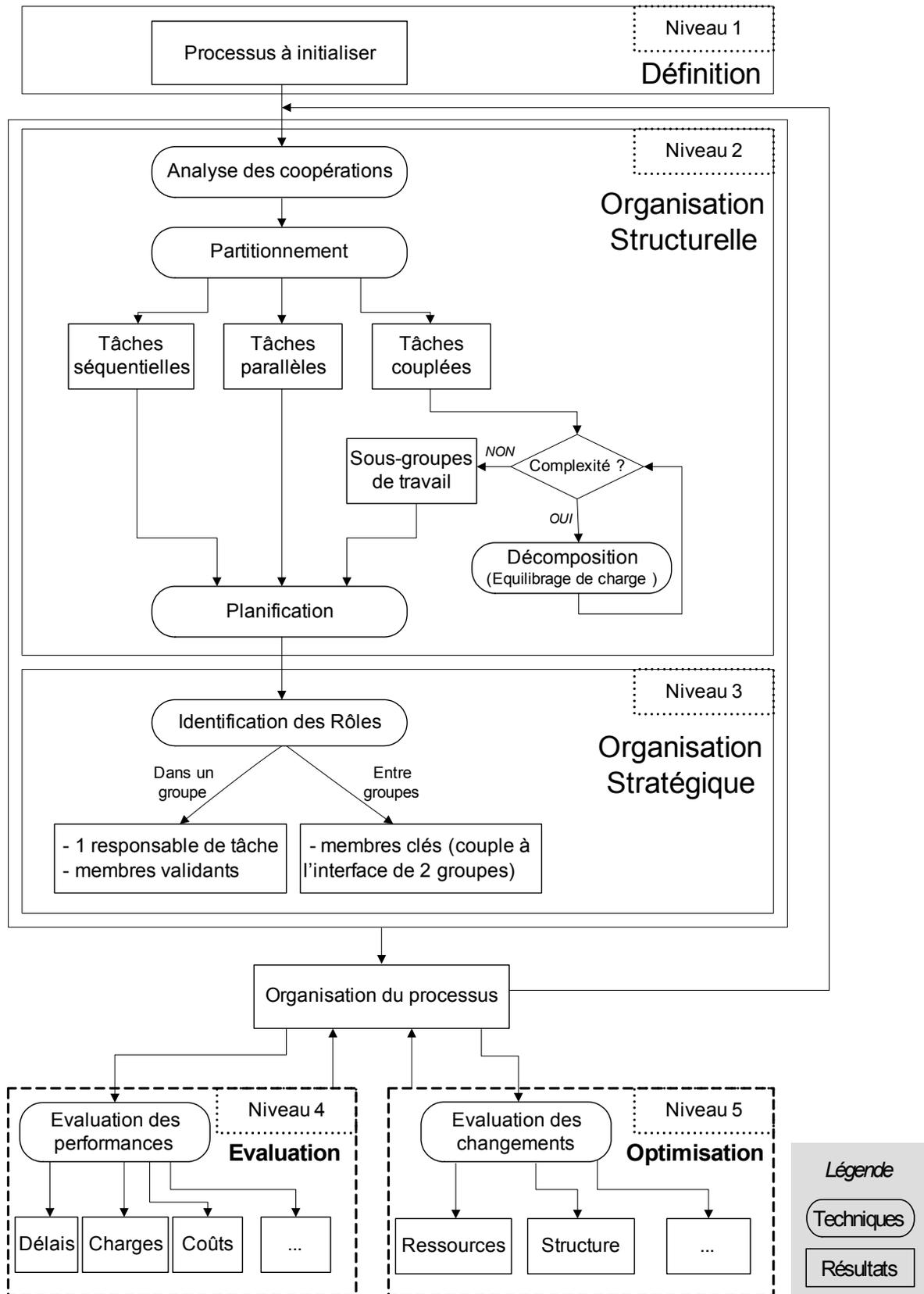


Figure 5.1 : Mise en application de la démarche

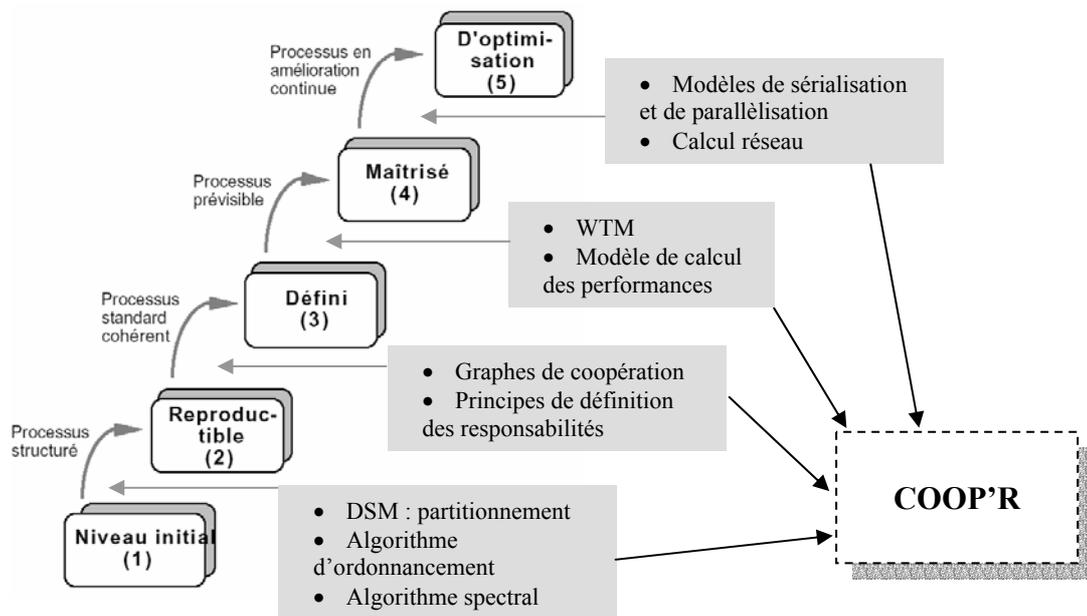


Figure 5.2 : Intégration des techniques d'organisation dans l'outil COOP'R

Afin de rendre le *processus standard et cohérent*, les graphes de coopération et les principes d'identification des rôles dans les groupes de travail sont utilisés pour identifier les rôles et responsabilités au sein des groupes ainsi que les relations en interne et entre les groupes.

Pour obtenir un *processus évalué et prévisible*, la méthode WTM et le modèle de calcul des performances sont appliqués pour évaluer les performances d'une tâche couplée.

Enfin, l'application de différentes techniques d'optimisation telles que la sérialisation et la parallélisation des tâches couplées ou encore l'adaptation du calcul réseau, permet de déduire différentes organisations possibles en vue de définir un *processus en amélioration continue*.

Ces techniques ont l'avantage d'être assez aisément programmables et peuvent ainsi être intégrées dans un outil pour constituer des fonctionnalités d'aide au travail coopératif. Dans la suite, nous présentons l'outil qui a été développé : COOP'R, COnception et Organisation de Processus COOPÉratifs. Son rôle est de fournir une aide à la définition rapide d'organisations adéquates des activités d'un processus coopératif.

5.2 Développement de l'outil COOP'R

L'outil COOP'R intègre un ensemble de fonctionnalités qui permettent de traiter les principaux secteurs clés liés à l'organisation de processus coopératifs. Ces fonctionnalités sont mises en œuvre dans le cadre de la démarche que nous avons proposé, afin de définir les plans d'amélioration progressive de processus coopératifs.

5.2.1 Description de l'outil

COOP'R a été développé à partir de Matlab® du fait des propriétés et de la facilité de mise en œuvre du calcul matriciel de cet environnement de développement. La majorité des techniques qui ont été avancées dans le cadre de nos travaux reposent en effet sur des matrices, depuis la définition d'un processus jusqu'au calcul des indicateurs de performance. Cet environnement laisse également la possibilité de développer indépendamment les différentes fonctions qui émergent de la démarche. Ainsi, une « boîte à outil » (Toolbox), c'est-à-dire un ensemble de fonctions a également été créé, en vue d'une réutilisation par d'autres.

L'outil COOP'R doit permettre de fournir les fonctionnalités qui satisfont aux principaux secteurs clés liés à l'organisation d'un processus coopératif au sens du modèle CMM (Capability Maturity Model). Les fonctionnalités développées ont donc été structurées par sections qui regroupent chacune les actions spécifiques d'un niveau de maturité de la démarche d'organisation de processus coopératifs. Cette structuration laisse la possibilité d'appliquer la démarche dans son intégralité ou au contraire de n'utiliser que certains groupes de fonctionnalités.

Fonctionnalités pour les niveaux de maturité 1 et 2

La première classe de fonctionnalités consiste à utiliser COOP'R essentiellement comme outil de représentation et de partitionnement de processus coopératifs. Les principaux développements concernent des fonctions :

- d'édition (directe, ou avec un assistant), de modification, de sauvegarde,
- de représentation et de transformation d'un processus sous différents formalismes (DSM, WTM, graphe de coopération, arbre de liens, ...),
- de décomposition du processus en groupes de travail,
- de partitionnement des groupes avec équilibrage de charge.

Fonctionnalités pour les niveaux de maturité 3 et 4

La seconde classe de fonctionnalités de COOP'R est centrée sur la caractérisation de processus coopératifs en ce qui concerne l'organisation interne des processus et la définition d'indicateurs de performance. Les développements concernent des fonctions de :

- détermination du manager d'un groupe de travail,
- détermination des membres clés (interface entre deux groupes de travail),
- spécification des caractéristiques des activités,
- évaluation des critères de performance d'un processus (durée, charge et coût).

Fonctionnalités pour le niveau de maturité 5

La version complète de COOP'R permet la mise en application de la démarche globale. Elle intègre pour cela l'ensemble des fonctions précitées, auxquelles ont été ajoutées les fonctions concernant l'optimisation de l'organisation de travail (évaluation de la sérialisation et de la parallélisation des groupes de travail). La figure 5.3 représente une vue de l'outil COOP'R en cours d'utilisation. A droite, la fenêtre principale, contenant le menu utilisateur qui permet d'accéder aux différentes fonctionnalités suivant le niveau à traiter, présente les données du processus à organiser. Les fenêtres de gauche représentent sous différents formalismes les résultats des fonctions d'analyse du processus coopératif et de définition des groupes de travail.

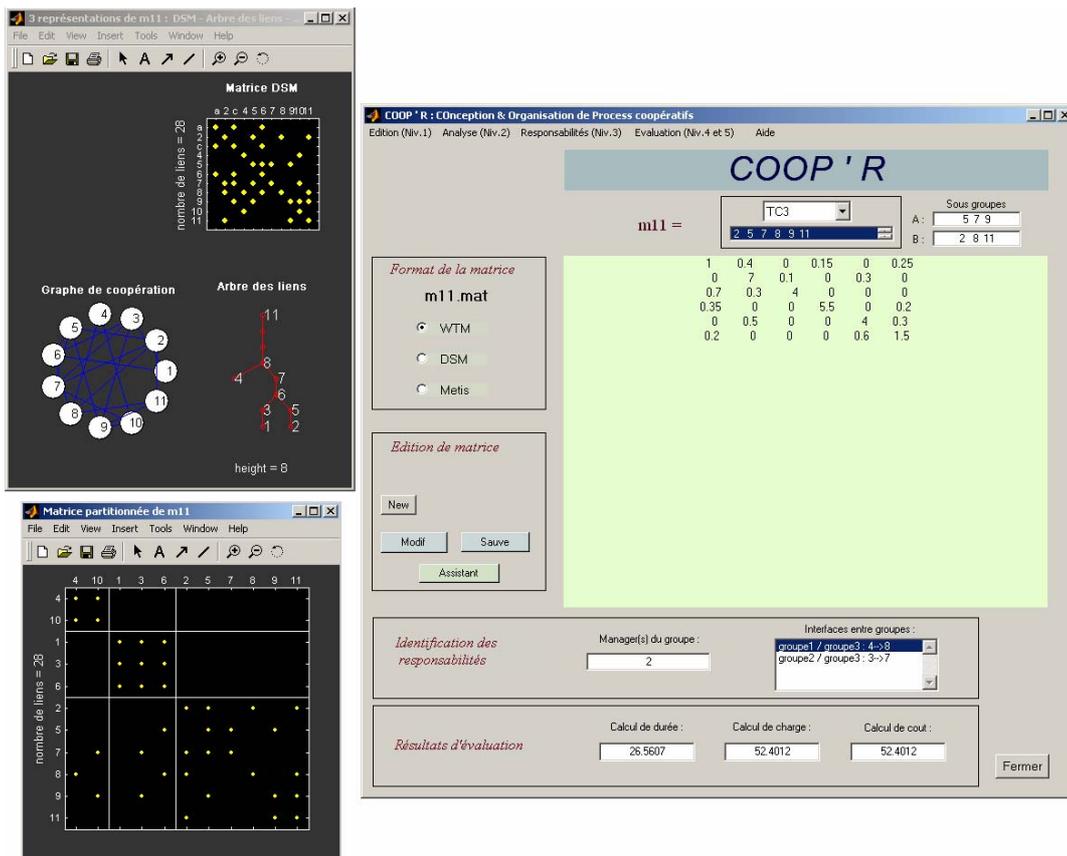


Figure 5.3 : L'outil COOP'R

Sur l'exemple de la figure 5.3, le processus *m11* est constitué de 11 activités. D'après l'analyse des dépendances et le résultat du partitionnement de la matrice, le processus peut être décomposé en trois groupes de travail ou tâches couplées (TC).

Sur la fenêtre principale, on peut voir que l'étude porte sur TC3, c'est-à-dire le troisième groupe de travail composé des activités 2, 5, 7, 8, 9 et 11. On observe également que l'acteur le plus prompt à manager ce groupe est le responsable de l'activité 2. De même, les membres clés de la coopération avec les autres groupes sont les activités 8 (en relation avec l'activité 4 de TC1) et 7 (en relation avec l'activité 3 de TC2). La décomposition de TC3 selon l'algorithme spectral donne deux sous groupes A : {5,7,9} et B : {2,8,11}. Sur cet exemple, les résultats d'évaluation des critères de performance proposent une sérialisation de TC3A puis de TC3B.

5.2.2 Etude de cas et expérimentations

Application de la démarche

A travers un processus mettant en œuvre un grand nombre d'acteurs dans le cadre d'une conception coopérative, nous exploitons directement la démarche proposée à l'aide de l'outil COOP'R. Le cas d'étude permet d'appliquer l'ensemble de la démarche en s'appuyant sur les fonctionnalités offertes par COOP'R.

Cet exemple peut être considéré comme la référence du domaine puisque beaucoup d'études l'ont repris en application de travaux d'organisation du travail coopératif. Initialement introduit par Black [Black, 90], ce problème a été ensuite utilisé pour tester différentes stratégies de gestion [Smith, 98] [Chen, 02]. Le processus représente les activités relatives à la conception d'un système de freinage. Il est initialement composé d'une cinquantaine d'activités. Une fois les relations de dépendance définies, nous étudions plus précisément un des sous processus composé de treize activités interdépendantes. La figure 5.4 présente cet ensemble sous la forme d'une matrice DSM.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Exigences clients	1	1											
Couple des roues	2		2	1									
Mécanisme de la pédale	3	1		3	1	1		1		1			1
Spécification paramètres système	4	1		4									
Diamètre du rotor	5	1	1	1	1	5		1	1		1	1	1
Module ABS	6		1			6			1				
Coef. de friction train avant	7			1	1	1		7	1		1		1
Taille du piston arrière	8		1		1			8		1			
Conformité de l'étrier	9			1	1				9	1			1
Taille du piston avant	10		1		1			1		10			
Coef. de friction train arrière	11			1	1	1		1		1	11		1
Vitesse max.	12											12	1
Rapport de propulsion	13		1	1	1	1		1	1		1	1	13

Figure 5.4 : Niveau 1, définition et dépendances des activités

COOP'R permet tout d'abord, à l'aide d'un assistant, d'éditer ce processus conformément au premier niveau de la démarche d'évolution des capacités. Une fois les données rentrées, il est alors possible de représenter le processus sous la forme d'une matrice DSM, d'un graphe de coopération ou d'un arbre des liens.

Au niveau 2 de la démarche, il est ensuite possible de définir les composantes fortement connexes du processus (Macro-organisation). Le résultat du partitionnement de la matrice DSM est représenté sur la figure 5.5. Les tâches couplées sont ici directement ordonnancées en fonction des dépendances qui les lient.

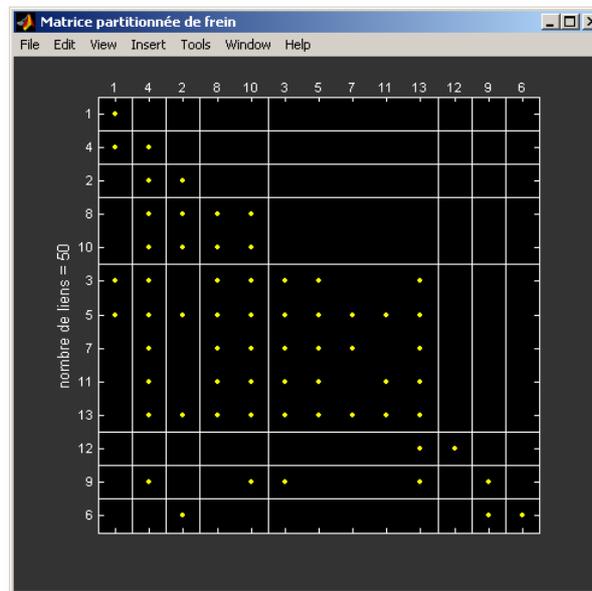
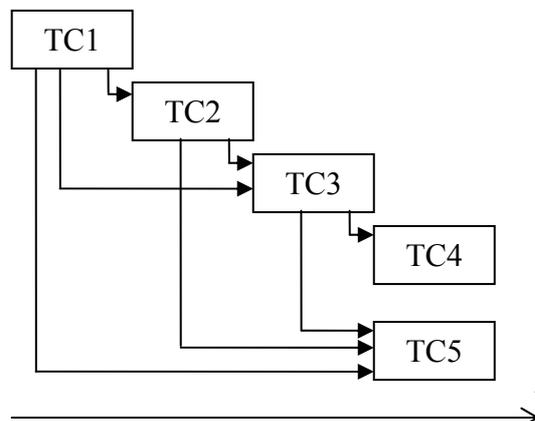


Figure 5.5 : Niveau 2, macro-organisation du processus coopératif

Le partitionnement fait apparaître huit tâches couplées. Cette décomposition permet d'identifier directement les groupes de travail. Le logiciel laisse cependant la liberté de définir ces entités comme on le désire. Ici on choisit par exemple de faire travailler dans un même groupe des activités isolées qui ont des relations unilatérales (travail en série) : les activités {1, 4, 2} d'une part et les activités {6, 9} d'autre part. Le processus coopératif contient ainsi les cinq tâches couplées suivantes :

TC1 : {1, 4, 2} ; TC2 : {8, 10} ; TC3 : {3, 5, 7, 11, 13} ; TC4 : {12} ; TC5 : {6, 9}

Les groupes de travail sont ensuite planifiés comme suit :



A partir de cette organisation, il est ensuite possible de déterminer les responsabilités (Niveau 3 du CMM). Il s'agit entre autre de définir un manager pour chaque groupe et les responsables de l'interface entre groupes. Les principes de détermination des responsables (voir § 3.3) ont été programmés. Les résultats fournis par l'outil sont recensés dans le tableau suivant :

	Manager	Interfaces (membres clés)				
		TC1	TC2	TC3	TC4	TC5
TC1	4	X				
TC2	8 / 10	2→8	X			
TC3	5 / 13	1→3	8→3	X		
TC4	12			13→12	X	
TC5	6 / 9	2→6	10→9			X

Tableau 2 : Niveau 3, détermination des responsabilités à l'aide de COOP'R

La colonne du manager indique quel(s) acteur(s) est (sont) le plus apte à être responsable du travail de chaque groupe. Les colonnes suivantes représentent les groupes producteurs d'informations tandis que les lignes représentent les groupes consommateurs. Les membres clés à l'interface des groupes sont indiqués à leurs intersections quand ils sont nécessaires.

L'interprétation de ces résultats permet de déterminer l'organisation stratégique du processus, qui est représentée sur la figure 5.6. Les couples responsables du transfert d'informations entre deux groupes sont d'abord spécifiés. Ils doivent supporter la totalité des échanges entre leurs deux groupes respectifs. Ainsi 2→8 à l'intersection de TC1 et de TC2 signifie que la charge de la coopération entre les groupes 1 et 2 doit être assurée par l'acteur 2 (appartenant à TC1) et par l'acteur 8 (appartenant à TC2).

Ensuite, il faut choisir le manager de chaque groupe. Cet acteur va coordonner le travail du groupe. S'il y a plusieurs possibilités, la responsabilité est confiée à l'acteur qui est engagé dans le minimum de relations avec d'autres groupes. Par exemple, pour la seconde tâche couplée, l'activité 8 supporte déjà la responsabilité de deux interfaces alors que l'activité 10 n'est engagée que dans une seule. Afin d'équilibrer le travail et les responsabilités, c'est donc

l'activité 10 qui est désignée comme manager. Il en est de même pour l'activité 5 par rapport à l'activité 13 (TC3) et pour l'activité 6 par rapport à l'activité 9 (TC5).

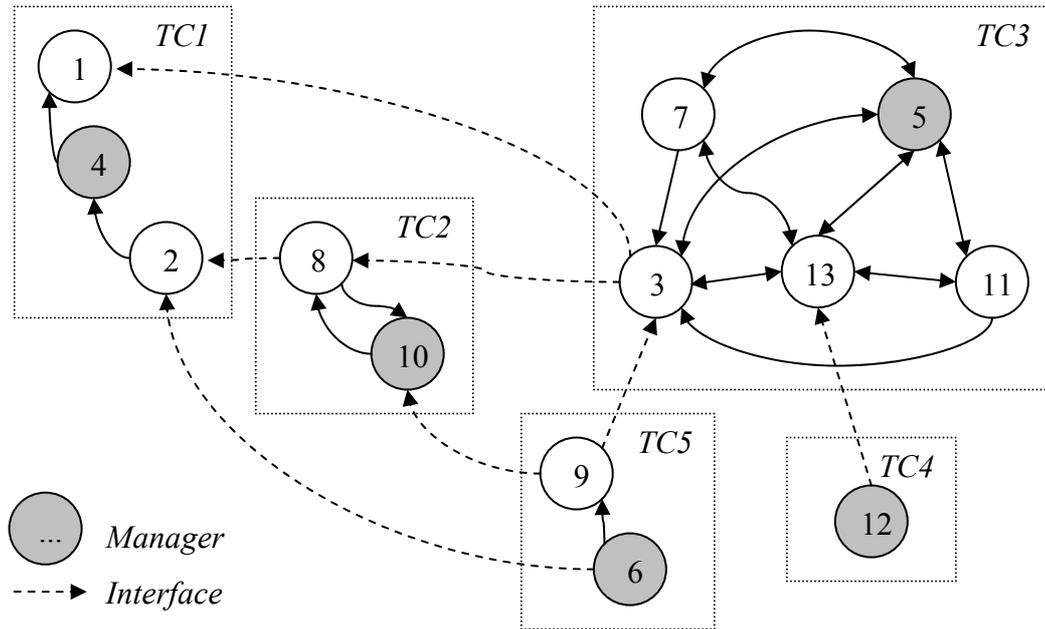


Figure 5.6 : Niveau 3, responsabilités dans et entre les groupes de travail

L'outil COOP'R permet d'étudier et d'organiser plus précisément les groupes de taille plus importante. Dans l'exemple, nous nous focalisons sur l'étude de TC3. Ce groupe, de part le nombre d'activités et d'interactions entre ces activités qu'il met en œuvre, est en effet le plus délicat à gérer. Il est possible d'observer si une décomposition de TC3 peut être bénéfique en évaluant les performances de différentes stratégies. Notons au passage qu'un partitionnement selon l'algorithme spectral donne d'après l'outil, deux sous groupes TC3a : {5, 11} et TC3b : {3, 7, 13}. Les caractéristiques des activités (durée, coût et taux de dépendances) sont représentées sur la matrice de la figure 5.7. Sur la diagonale sont estimés dans l'ordre la durée (en jours) et le coût journalier (en kilo euros) d'une activité. Hors de la diagonale sont représentés les taux de reprise. Ici trois niveaux d'influence ont été utilisés : 0.1 pour une dépendance faible, 0.3 pour une dépendance moyenne et 0.6 pour une forte dépendance.

	3	5	7	11	13
3	3 | 1.6	0.6			0.3
5	0.1	5 | 1.3	0.1	0.6	0.1
7	0.1	0.3	8 | .85		0.3
11	0.1	0.3		6 | .85	0.1
13	0.3	0.3	0.1	0.1	6 | 1.1

Figure 5.7 : Niveau 4, caractéristiques des activités du troisième groupe (TC3)

Si toutes les activités travaillent en même temps de manière *concourante*, les performances attendues (arrondies à l'unité près) pour la réalisation de TC3 sont :

Durée : 33 jours ; Charge de travail : 116 jours ; Coût : 126 kilo euros

Le tableau 3 présente les performances associées à toutes les décompositions de TC3 en deux sous groupes contenant au moins deux activités (les solutions avec des sous groupes de 1 et 4 activités donnent des performances moindres).

Les zones grisées du tableau correspondent aux performances les plus remarquables pour chaque stratégie de décomposition et donc les éléments à confronter. Les sous groupes soulignés représente la décomposition fournie par l'outil selon l'algorithme spectral (en terme de composition et en terme d'ordre).

Sous groupe a	Sous groupe b	Sérialisation (a puis b)			Sérialisation (b puis a)			Parallélisation		
		Durée (jours)	Charge (jours)	Coût (k€)	Durée (jours)	Charge (jours)	Coût (k€)	Durée (jours)	Charge (jours)	Coût (k€)
3-5	7-11-13	35	75	83	38	77	82	23	67	72
3-7	5-11-13	39	97	105	38	65	70	24	68	74
3-11	5-7-13	35	79	86	42	77	83	28	70	77
3-13	5-7-11	38	90	99	40	73	77	26	63	67
5-7	3-11-13	40	84	91	36	70	76	23	67	73
<u>5-11</u>	<u>3-7-13</u>	35	72	77	40	91	98	26	61	66
5-13	3-7-11	39	73	80	40	75	80	20	78	85
7-11	3-5-13	39	87	94	39	71	80	25	68	74
7-13	3-5-11	40	98	106	34	67	74	25	64	71
11-13	3-5-7	37	79	85	40	75	82	26	67	72

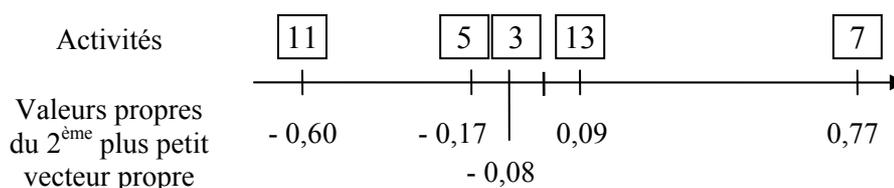
Tableau 3 : Niveau 5, performances des stratégies de décomposition

Expérimentations

L'exploitation des résultats d'analyse montre que de manière générale, une *décomposition série* ne permet pas de réduire la durée du processus, mais par contre entraîne une baisse significative des valeurs de charge et donc du coût global de réalisation. Dans le détail, s'il est envisagé de faire travailler uniquement deux activités dans un premier temps (Sérialisation a puis b), c'est la décomposition fournie par l'algorithme spectral qui donne les meilleures performances (une baisse de 49 k€ pour environ 2 jours de travail supplémentaire par rapport au travail concourant). Faire travailler 3 activités dans le premier sous groupe (Sérialisation b puis a) permettrait de faire encore progresser la performance globale du groupe. Ainsi, si la contrainte principale est temporelle, on choisira de faire travailler en premier les activités 3, 5 et 11. Si l'objectif est un gain financier, ce sont les activités 5, 11 et 13 qui débiteront le travail. On remarque qu'il n'y a pas de solution qui optimise tous les critères.

Les performances globales associées à une *décomposition parallèle* montrent un gain important en terme de durée (toutes les activités commencent à travailler en même temps) et une réduction possible des coûts de réalisation du processus. L'algorithme spectral fondé sur l'équilibrage des charges permet de nouveau de trouver l'organisation qui minimise le coût. Mais d'autres configurations permettent encore de diminuer la durée du processus. C'est le cas notamment de la décomposition {5-13 / 3-7-11} qui minore le délai à 20 jours. Par contre, ceci a un coût relativement élevé. En effet, par rapport à la solution de l'algorithme spectral, pour une diminution du délai d'environ 6 jours, le coût financier est de plus de 19 k€. Là encore, s'il on opte pour la parallélisation, les décideurs auront à trouver un compromis entre le délai de réalisation et la contrainte financière.

On remarque également que la quasi-totalité des organisations ayant des performances intéressantes placent les activités 5 et 11 dans le même sous-groupe. Ce qui prouve la pertinence de l'algorithme spectral pour ce type de problématique. Si l'on étudie le second vecteur de Fielder (ou vecteur propre) de la forme WTM, on peut faire l'analyse spectrale suivante :



De façon générale, l'algorithme spectral tel qu'il a été codé permet d'obtenir des résultats probants en terme d'amélioration des performances. Toutefois, pour une stratégie donnée, il peut y avoir des solutions qui lui soient supérieures mais qui sont en fait dérivées de cette même analyse (en regroupant les activités proches sur l'axe des valeurs propres). Sur l'exemple de TC3 en particulier, les configurations {11-5-3 / 13-7} ou {11-5-13 / 3-7} permettent de minorer l'un ou l'autre des indicateurs de performance pour une décomposition séquentielle.

Cette analyse est cependant différente selon les caractéristiques du processus coopératif étudié et selon les priorités sur les contraintes. C'est pourquoi pour des questions de robustesse, l'algorithme proposé dans le chapitre 3 (§ 3.2) est appliqué par défaut dans COOP'R quand il s'agit de décomposer une tâche couplée. Le logiciel permet ainsi d'appréhender par avance les performances d'une nouvelle organisation du travail. Cependant la décomposition ne peut être appliquée ni systématiquement et encore moins aveuglement, même si elle semble prometteuse. En effet, la gestion du travail coopératif est liée à l'incertitude et à la notion de risque. La stratégie de décomposition séquentielle est plus risquée que la stratégie concurrente, car les résultats du travail du premier sous-groupe peuvent être inexploitable pour le second s'il n'intervient pas du tout dans la première phase. De même, la stratégie de décomposition parallèle est encore plus risquée, puisqu'il faut connaître encore mieux le processus pour pouvoir faire travailler indépendamment deux sous-groupes dont les travaux sont liés. C'est pourquoi, le choix de décomposition sera toujours lié à l'indicateur de qualité du processus. Plus cet indicateur sera élevé et plus le manager pourra avoir de certitudes sur la véracité et la validité du modèle. Les risques étant moindres, c'est dans le cas d'une connaissance avancée du processus que les stratégies d'améliorations pourront être efficaces.

A partir des propositions pour le suivi des activités, il est prévu d'initier le *développement d'un module de contrôle dynamique* qui permettra d'intégrer dans COOP'R les mesures des critères du processus en cours de développement et d'adapter son organisation en fonction de ces critères.

Conclusion

L'outil COOP'R permet de mettre en application la démarche d'organisation de processus coopératifs inspiré du CMM telle que nous l'avons proposé dans nos travaux. Il intègre en cela un ensemble de fonctionnalités pour définir et organiser un processus coopératif, déterminer les responsabilités pour le processus et évaluer différentes stratégies d'organisation.

Les principes d'organisation qui ont été définis dans le cadre de la démarche d'organisation et appliqués dans le cadre de l'outil COOP'R peuvent servir comme données d'entrée pour des environnements logiciels de TCAO. En effet, il existe une concordance entre les résultats issus de l'application de la démarche et les besoins des outils de TCAO en terme de paramétrage. Ceci est particulièrement vrai pour des outils comme les workflow, les portails collaboratifs, les web services, ... En effet sans cet apport méthodologique, dans le meilleur des cas, la stricte retranscription des habitudes sert à configurer ces outils. Et dans le pire des cas, le paramétrage se fait au coup par coup. Dans tous les cas, les possibilités de ces technologies sont sous exploitées. L'emploi des paramètres d'organisation définis dans la démarche (et dont la définition est automatisée dans COOP'R) doit permettre de tenir compte des spécificités de chaque processus coopératif et ainsi d'exploiter au mieux les capacités des nouveaux logiciels de travail coopératif. L'intégration ou l'interface de COOP'R avec des environnements logiciels de TCAO reste cependant à étudier.

5.3 Cadre d'application de COOP'R

5.3.1 Contributions

L'outil COOP'R tel qu'il a été décrit précédemment peut être vu comme un module à l'intérieur d'un cadre organisationnel et méthodologique beaucoup plus large (voir figure 5.8). Les données qu'il utilise en entrée sont issues de l'analyse des coopérations mises en œuvre à chaque niveau de l'évolution du processus, en particulier au niveau processus standard. Ces données représentent par là même les caractéristiques du processus. L'organisation qui en est déduite n'est donc ni prescriptive ni statique puisqu'elle prend en compte les particularités de mise en œuvre du processus. Les résultats de sortie constituent à leur tour des acquis à partir desquels un nouveau processus coopératif peut être développé

selon la démarche d'organisation progressive ... etc. Au fur et à mesure de l'application de ce cadre, des processus standard sont identifiés et alimentent une base de données des processus standard. Les processus standard correspondent à l'identification de modes de coopération typiques et plus précisément à de "bonnes pratiques" organisationnelles puisqu'elles auront fait l'objet de plans d'amélioration.

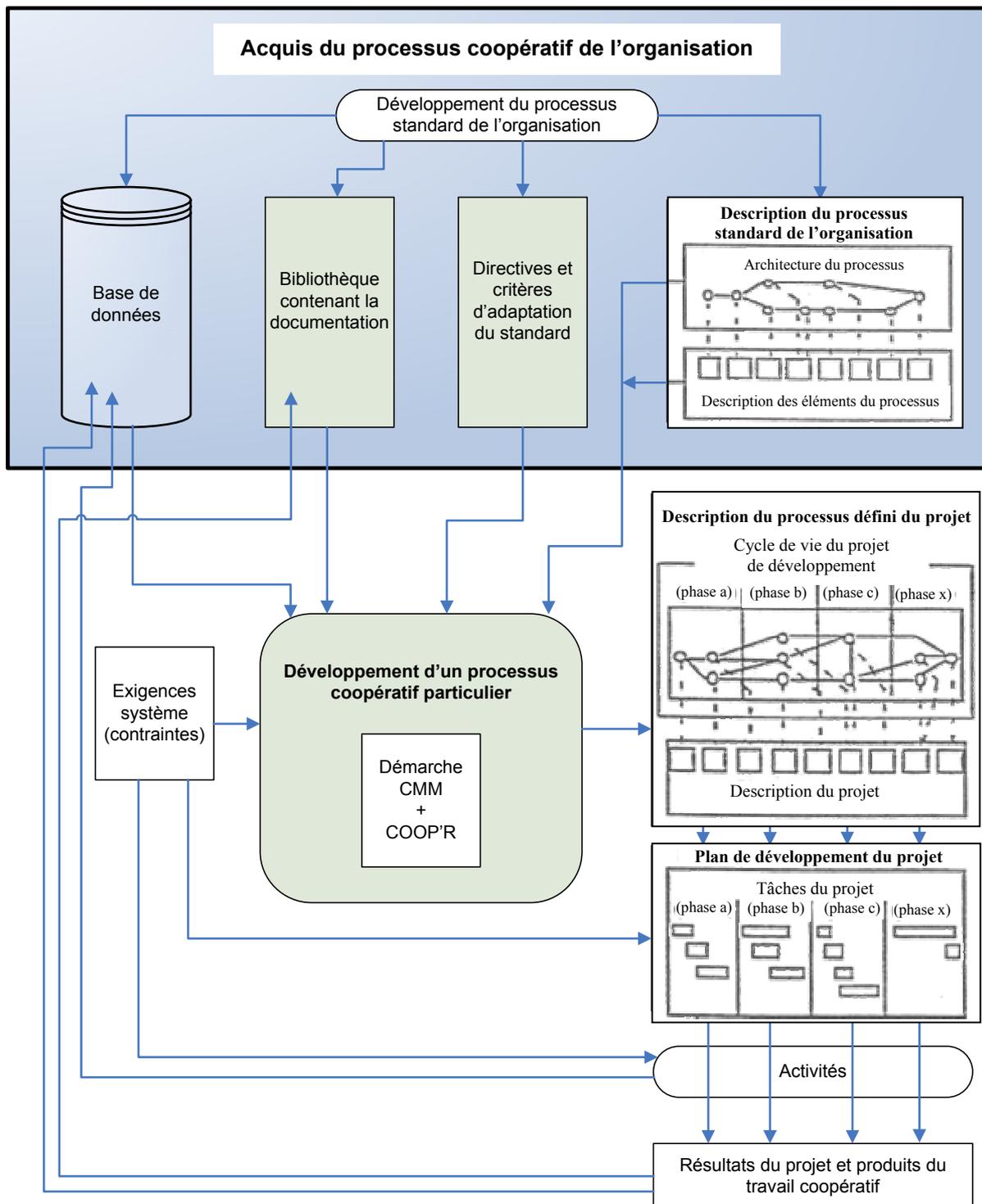


Figure 5.8 : Cadre de développement d'un processus coopératif

Le développement d'un processus standard se décline sous la forme de quatre catégories de connaissances :

- une base de données recensant les différents processus standard,
- une bibliothèque contenant la documentation du processus standard,
- les directives et critères d'adaptation du processus standard à une organisation donnée,
- la description des éléments et de l'architecture du processus standard.

Dans ce cadre plus général de développement de processus coopératif, l'outil COOP'R contribue en amont à fournir des données concernant la description des éléments et de l'architecture du processus standard ainsi que des critères d'adaptation de ces processus pour une organisation donnée. Ces données sont les résultats fournis par les fonctionnalités des niveaux de maturité 1, 2 et 3 (définition, structuration et indicateurs de performance des processus). En aval, c'est la mise en application de la démarche d'organisation selon un plan d'amélioration continue qui permet, partant d'un processus donné, de définir l'organisation adéquate.

Un point crucial dans ce cadre de développement réside dans le choix du processus standard à adapter à un processus donné. Le paragraphe suivant définit plus précisément un indicateur qualité associé à un processus standard.

5.3.2 Indicateur qualité

Afin de pouvoir réutiliser l'expérience acquise sur les réussites ou les échecs relatifs aux modes d'organisation d'un processus, les pratiques organisationnelles ayant donné satisfaction sont capitalisées dans des processus standard, formant une base de connaissances des bonnes pratiques associées aux processus d'une entreprise. Afin de pouvoir évaluer la qualité et les risques liés à la réutilisation des processus standard, nous allons voir comment un indicateur de qualité, mémorisant leurs améliorations successives, peut être défini.

La mise en œuvre de la démarche d'organisation permet de définir et d'adapter une organisation en fonction des résultats de mesure de type délais et coûts de développement [David, 02]. La description d'organisations ayant abouti à des réussites donne lieu à la création de processus standard qui constituent pour une entreprise des acquis à partir desquels de nouvelles organisations peuvent être déduites (figure 5.9).

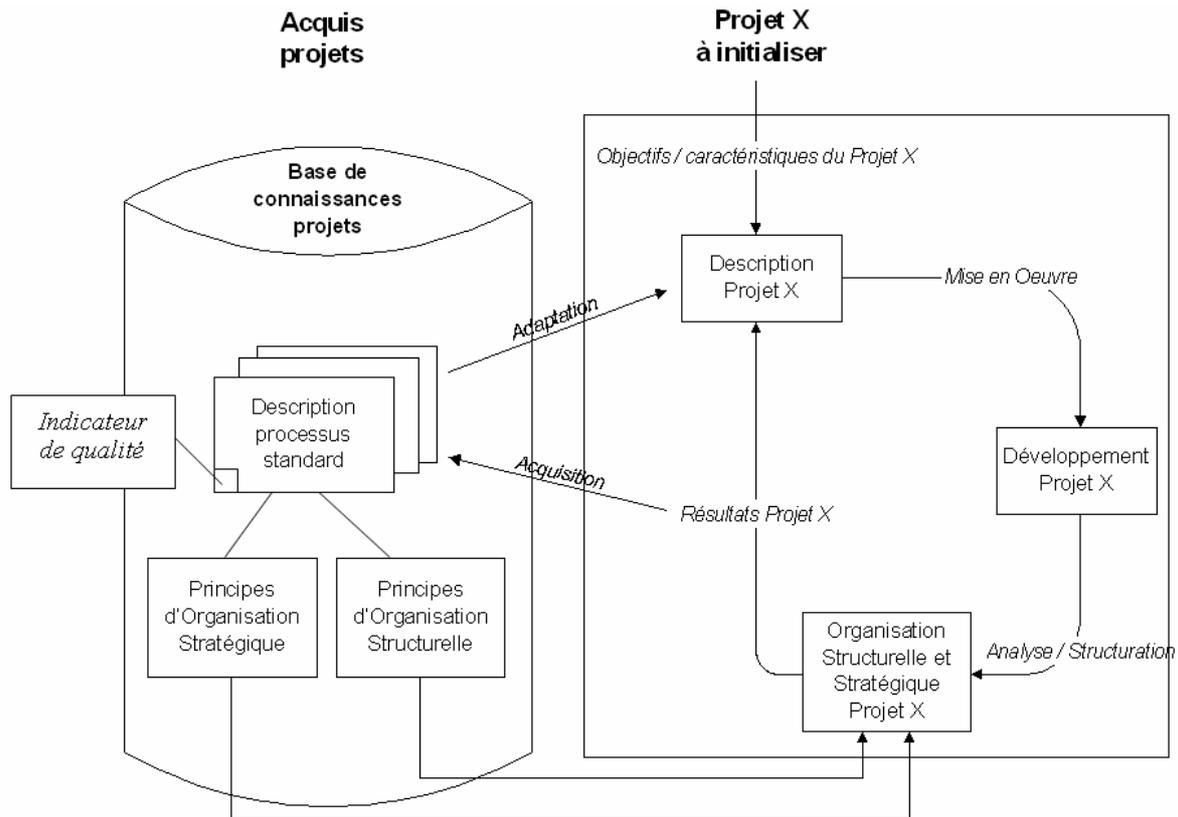


Figure 5.9 : Mise en œuvre des principes d'organisation

Le niveau de maturité peut être considéré comme un critère de qualité pour un processus. De la même manière, à chaque fois que le standard va être adapté, ou qu'il va acquérir de nouvelles connaissances, le processus va également gagner en qualité. En effet, le processus coopératif emmagasine de plus en plus d'expériences à chaque utilisation du standard. Il est donc possible de définir un indicateur de qualité qui soit en quelque sorte la mémoire des améliorations du processus depuis la création du standard jusqu'à sa dernière exploitation.

Lors d'une *adaptation*, le critère de qualité indique quel degré de confiance peut être attribué au processus standard pour établir les principes d'organisation d'un nouveau processus. En général, l'adaptation est un compromis entre de nouvelles pratiques (définies par exemple dans la démarche) et les pratiques acquises au cours de développements antérieurs (connaissances). Si l'indicateur est faible (standard peu aguerri), ce sont les nouvelles pratiques qui doivent être privilégiées. Si l'indicateur est fort (standard éprouvé), les principes du standard auront un poids plus prépondérant dans la mise en œuvre d'un nouveau processus.

Lors de *l'acquisition* des résultats, le standard capitalise une nouvelle expérience que ce soit une réussite ou un échec. Les pratiques d'organisation peuvent alors être modifiées en conséquence. Pour traduire l'enrichissement des connaissances liées au processus, l'indicateur de qualité du standard est alors élevé d'un degré.

5.3.3 Perspectives de développement

Nous venons de voir que l'outil COOP'R peut s'intégrer dans un cadre organisationnel et méthodologique plus large pour contribuer au développement et à l'organisation de processus coopératifs. Les conditions d'intégration dans ce type d'environnements restent à étudier d'autant que ces environnements sont encore du domaine de l'étude. Les fonctionnalités d'intégration seront donc étudiées en lien avec le développement de ces environnements. Un autre champ de recherche prospective s'ouvre avec le rapport entre les applications de travail coopératif et la qualité de service du réseau de communication. La qualité de l'adaptation d'une organisation de travail coopératif est effectivement fortement liée à celle du système de communication support du travail.

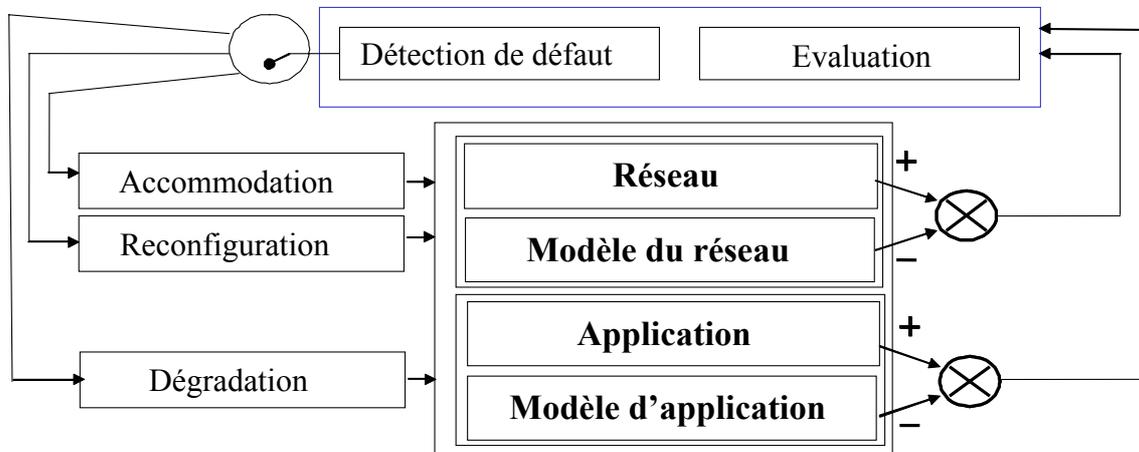


Figure 5.10 : Modèle conceptuel d'un système de contrôle du réseau

Le cadre de recherche dans lequel ces travaux vont être poursuivis correspond surtout à l'aspect dynamique de l'adaptation de l'architecture de communication en fonction des besoins de coopération et d'organisation des activités. La problématique sera alors de généraliser les techniques proposées pour l'organisation du travail coopératif, à tout système commandé en réseau. Cette approche devrait se concrétiser au travers du projet européen NECST ("Networked Control Systems Tolerant to faults"). L'objectif du projet est de définir

un système de contrôle qui puisse sécuriser le service des réseaux de communication (figure 5.10). L'évaluation des performances du réseau et des applications par rapport à leurs modèles doit permettre la détection d'un éventuel défaut. En cas de dysfonctionnement, le système de contrôle adapte le réseau par divers moyens : par l'accommodation et la reconfiguration de l'architecture du réseau de communication, ou par la dégradation des performances des applications.

Conclusion

En regard d'un contexte actuel orienté vers le développement du travail coopératif, le constat est le suivant : les nouvelles technologies de communication et les outils de TCAO fournissent des moyens pertinents pour mener à bien les activités de processus coopératifs pour peu qu'ils soient convenablement utilisés. Cependant, la multiplication des interactions due au nombre de plus en plus important d'activités impliquées dans les processus, entraîne une complexité croissante pour la gestion et l'organisation de ces activités. Nous pouvons dire que les moyens de coopérer existent abondamment mais les méthodes pour coopérer le plus efficacement possible manquent cruellement. C'est pourquoi des méthodes et des outils qui exploitent au mieux les connaissances et compétences existantes s'avèrent nécessaires pour définir des organisations adéquates des activités coopératives. Ces organisations doivent de plus être aisément reconfigurables et flexibles pour prendre en compte un contexte économique évolutif, des contraintes et objectifs fluctuant régulièrement.

Dans ces travaux, nous avons proposé une démarche qui vise à réduire la complexité organisationnelle et à structurer le travail coopératif pour en améliorer l'efficacité selon un ensemble de contraintes telle la durée ou la charge de travail. L'approche exploite la démarche définie dans le référentiel ISO/IEC 15504 et le modèle CMM associé (Capability Maturity Model) relatif à la maturité des processus de développement. Elle s'attache à définir des stratégies d'organisation, d'exécution et d'évaluation des activités coopératives selon un plan d'amélioration progressive par niveaux de maturité. Le franchissement des paliers constitue ainsi les phases d'amélioration pour lesquelles un certain nombre de techniques sont proposées.

La première phase d'amélioration consiste à analyser les flux d'informations et les interactions entre les activités d'un processus coopératif, pour décomposer le processus en groupes de travail qui sont ensuite ordonnancés dans le temps. Nous étudions ensuite la réduction de la complexité des groupes de travail en détaillant et affinant l'organisation de ces groupes.

Dans une deuxième phase, nous abordons la composition interne des groupes de travail ainsi que leurs interfaces de façon à avoir une connaissance précise des modes d'organisation et de coopération dans les groupes et entre les groupes.

La troisième phase s'intéresse à la définition d'un ensemble d'indicateurs de performance d'une organisation de travail coopératif, fonctions de la force de dépendance liant les activités. Ces indicateurs donnent une estimation des durées, charges et coûts associée à une organisation donnée des activités de travail.

Enfin, une phase d'optimisation d'une organisation de travail en fonction des résultats d'évaluation permet d'étudier plusieurs solutions d'organisation et d'exécution des activités. Une fois ce niveau de maturité atteint, l'organisation de travail doit être améliorée continuellement. C'est pourquoi, il pourra être nécessaire de développer une approche d'optimisation multicritère, qui puisse intégrer les indicateurs définis dans l'approche mais aussi d'autres critères plus spécifiques à une application particulière.

L'outil COOP'R (COncption et Organisation de Processus COOPéRatifs) qui met en œuvre ces propositions a été développé. Il intègre un ensemble de fonctionnalités destinées à analyser, organiser et évaluer des processus coopératifs complexes. Ces fonctionnalités en font un support efficace pour l'aide à la coopération et au travail de groupe. Le développement de fonctionnalités supplémentaires (comme le suivi des activités critiques et l'intégration des contraintes relatives aux architectures et aux outils de communication) permettra à terme de définir, en lien avec la détermination d'une organisation des activités, le système de communication support de l'organisation. L'intégration, pour l'évaluation des performances, des techniques de la théorie du Calcul Réseau devra également permettre de discrétiser plus finement la gestion des ressources humaines et matérielles affectées aux activités coopératives.

L'approche est indépendante du type de produit et du domaine industriel de l'entreprise. Elle est toutefois pensée pour des produits manufacturiers par opposition au développement de services. En effet, le développement de produit mécanique permet en général de simplifier l'analyse de l'organisation, puisque le produit lui-même définit une première décomposition, ce qui ne dispense pas pour autant d'une analyse détaillée des flux d'informations entre les différentes activités.

La démarche proposée s'applique dans le cas d'une connaissance à priori assez avancée du processus coopératif à organiser. La méthode développée ici n'est en effet pas adaptée pour un processus totalement innovant, puisqu'il faut pour qu'elle soit efficace, avoir des données ou connaissances du processus. Cette étude n'est pas pour autant forcément destinée à des processus routiniers. Comme nous l'avons exposé précédemment, le but est de franchir des paliers de maturité dans le développement et l'organisation du processus même. Cette gestion progressive va de la définition des activités de travail coopératif jusqu'à l'amélioration continue de la performance globale du processus en passant par l'identification d'indicateurs de performance et l'évaluation de l'organisation. Le résultat attendu est de définir des composants réutilisables pour les éléments qui le permettent tout en offrant un cadre de travail propice à l'innovation et à la création en groupe.

Les perspectives les plus directes d'application vont être d'intégrer l'outil dans le système d'information des entreprises. Pour cela, il sera nécessaire de poursuivre le développement en regard de deux principaux objectifs : la capitalisation des connaissances des processus coopératifs (en vue de leurs réutilisations futures pour initialiser de nouveaux processus) et le contrôle dynamique de l'organisation de travail (en lien avec l'architecture du système de communication). La qualité de travail d'une organisation et la qualité de service de son système de communication sont en effet des éléments fortement interdépendants. C'est pourquoi, afin de contrôler et d'adapter dynamiquement l'organisation il sera nécessaire de définir des indicateurs pertinents qui pourront caractériser autant la qualité de travail des activités coopératives (maturité, capacité de traitement, coût de fonctionnement, ...) que la qualité de service du système de communication leur permettant de coopérer (bande passante, délai d'acheminement, pertes, ...).

Références

PUBLICATIONS PERSONNELLES

Conférences internationales avec comité de lecture :

- David M., Idelmerfaa Z., Richard J., “*Organizing Cooperative Work for the Product Development Process*”, Information Control problems in Manufacturing (INCOM’04), IFAC, Salvador-Bahia, Brésil, avril 2004.
- David M., Idelmerfaa Z., Richard J., “*Organization Method for Complex Cooperative Design Projects*”, International conference on System, Man and Cybernetics (SMC’02), IEEE, Hammamet, Tunisie, octobre 2002.
- David M., Idelmerfaa Z., Richard J., “*Evaluation et organisation de systèmes coopératifs de conception*”, Integrated Design and Manufacturing in Mechanical Engineering (IDMME’02), AIP Priméca, Clermont-Ferrand, mai 2002.
- David M., Idelmerfaa Z., Richard J., “*Defining a Product Development Plan through Information Flow Analysis*”, International Conference on Industrial Engineering and Production Management (IEPM ’01), Fucam, Quebec City, Canada, août 2001.

Conférences nationales avec comité de lecture :

- David M., Georges J.P., Idelmerfaa Z., “*Les outils réseau au service de l’organisation et de l’évaluation du travail coopératif*”, Information, Connaissances et Compétences dans les Systèmes de Production, Institut de la Production et des organisations Industrielles (IPI’04), Autrans, France, janvier 2004.
- David M., Idelmerfaa Z., Richard J., “*Décomposition et organisation du travail coopératif – Méthodes pour l’optimisation des coûts et durées de développement*”, Journées Doctorales d’Automatique (JDA ’01), Toulouse, septembre 2001.

Participation à ouvrage :

- Idelmerfaa Z., David M., Richard J., (à paraître) “*Méthode pour spécifier l’organisation structurelle et l’organisation stratégique du travail coopératif*”, dans Concevoir en équipe: des modèles aux outils, Edit. F. Darses, Presses Universitaires de Grenoble, collection Génie Industriel, Nov. 2004.

Revue internationale :

- David M., Idelmerfaa Z., Richard J., “*Managing and Organizing the Concurrent Processes according to the Maturity Level*”, Journal of Concurrent Engineering Research and Applications (CERA), soumise en juillet 2004.

Communication avec ou sans actes :

- David M., Idelmerfaa Z., Richard J., “*Contribution à l’organisation et l’évaluation des processus coopératifs*”, Journées du Groupement De Recherche "Modélisation, Analyse et Conduite des Systèmes dynamiques" (GDR MACS) du CNRS, groupe de travail "Ingénierie des Systèmes de Conception et Conduite du Cycle de vie produit" (IS3C), Aix en Provence, octobre 2004.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [Adoud, 01] Adoud H., Rondeau E., Divoux T. "Configuration of Communication Networks by Analysing Co-operation Graphs" Computer Communication, Vol, 24/15-16, pp 1568-1577, September 2001.
- [Afgi 92] Association Française de Gestion Industrielle, « Evaluer pour évoluer, les indicateurs de performance au service du pilotage », 1992.
- [Artigues, 03] Artigues C., Michelon P., Reusser S. « Insertion techniques for static and dynamic resource constrained project scheduling », European Journal of Operational Research, 149 (2), pp 249-267, 2003.
- [Baccelli, 93] Baccelli F., Jean-Marie A. & Z. Liu. « A Survey on Solution Methods for Task Graph Models » Proc. of the QMIPS-Workshop on Formalism, Principles and State-of-the-art, 1993.
- [Bannon, 89] Bannon, L. and Schmidt, K. (1989), "CSCW: Four Characters in Search of a Context," in *Proceedings of the First European Conference on Computer Supported Cooperative Work (EC-CSCW'89)*, London, September 1989, pp. 13-15.
- [Barnard, 93] S. Barnard and H. Simon. "A fast multilevel implementation of recursive spectral bisection for partitioning unstructured problems". Proc. 6th SIAM Conf. Parallel Processing for Scientific Computing, p 711-718, 1993.
- [Baumard, 96] P. Baumard. Organisations déconcertées: La gestion stratégique de la conn. Masson, 1996.
- [Beacker, 93] R. M. Beacker « Readings in Groupware and Computer Supported Cooperative Work », San Mateo, CA: Morgan Kaufmann Publishers, 1993.
- [Belhe, 95] Belhe U., Kusiak A. "Resource constrained scheduling of hierarchical structure design activity networks". IEEE Transactions on Engineering Management, 42(2): 150-8, 1995.
- [Bigelow, 62] Bigelow C. "Bibliography on Project Planning and Control by Network Analysis: 1959-1961", Operational Search, 10: 728-731, 1962.
- [Binh, 97] Binh T., Korn U. "Multicriteria Control System Design Using An Intelligent Evolution Strategy With Dynamical Constraints Boundaries", Conf. for Control of Industrial Systems, 242-247, 1997.
- [Black, 90] Black, Thomas A., Fine, Charles H., and Sachs, Emanuel M., "A Method for Systems Design Using Precedence Relationships: An Application to Automotive Brake Systems". M.I.T. Sloan School of Management, Cambridge, MA, Working Paper no. 3208, 1990.
- [Bock, 92] U. Bock « Workflow as Groupware : A Case for Group Language ? » Groupware'92, David D. Coleman, San Mateo, CA : Morgan Kaufmann Publishers, 1992.
- [Brassac, 03] Brassac, C., Grégori, N. « Une étude clinique de la conception collaborative : la conception d'un artefact », Le Travail Humain, tome 66, 2, 101-127, 2003.
- [Browning, 98] Browning T. R., "Modeling and analysing cost, schedule, and performance in complex system product development", Ph.D. Thesis, M.I.T., Cambridge, MA, 1998.
- [Buschmann, 96] Buschmann F., "What is pattern? ", Object Expert vol.1(3), 17-18, 1996.
- [Cardon, 00] Cardon A., Galinho T., and Vacher J.P. "Genetic algorithms using multi-objectives in a multi-agent system", Robotics and Autonomous Systems, 33(2-3): 179-190, 2000.

Références

- [Carrascosa, 98] Carrascosa M., Eppinger S., Whitney D.E. "Using the Design Structure Matrix to estimate product development time". Proc. of ASME Design Engineering Technical Conferences, Atlanta, 1998.
- [Chen, 00] Chen, Shi-Jie (Gary), "Quantifying the Task Coupling Strength for Large Interdependent Task Group Decomposition in Concurrent Engineering," EDA 2000 Conference, Orlando, Florida, USA, 2000.
- [Chen, 02] C.H. Chen, L. Khoo and L. Jiao. "A General Model for Managing Design Iterations of a Coupled Design Process in Product Development", Asia Pacific Management Review 7(4): 477-498, 2002.
- [Cheung, 98] Cheung L.C., Smith R.P., Zabinsky Z.B. "Optimal Scheduling in the Engineering Design Process", Working paper Industrial Engineering University of Washington, 1998.
- [Christian, 95] Christian A.D., Seering W.P., "A model of information Exchange in the design process", Design Engineering Technical Conference DE-Vol.83, 1995.
- [Cicognani, 97] Cicognani A., M. Maher, "Models of Collaboration for Designers in a Computer Mediated Environment", IFIP WG5.2, Worksh. on Formal Aspects of Collaborative CAD, Sydney, pp.99-108, 1997.
- [Clarck, 62] Clarck C. E. "The PERT Model for the Distribution of an Activity Time", Operations Research 10(3), 1962.
- [Cruz, 91] Cruz R. "A Calculus for Network Delay", IEEE Transactions on Information Theory, 37: 114-141, 1991.
- [David, 01] David M., Z. Idelmerfaa, J. Richard. "Décomposition et organisation du travail coopératif - Méthodes pour l'optimisation des coûts et durées de développement" Journées Doctorales d'Automatique, Toulouse, 2001.
- [David, 02] David M., Idelmerfaa Z. & Richard, J. « Organisation et évaluation de systèmes coopératifs de conception ». Paper presented at the 4th International Conference on Integrated Design and Manufacturing in Mechanical Engineering, Clermont-Ferrand, France, May 2002.
- [De Rosnay, 75] Joël de Rosnay (1975) "Le microscope". Collection Points Essais n°80, Edition Le Seuil.
- [Decreuse, 96] Decreuse C., « Contribution à l'identification et à l'ordonnancement des tâches de conception en ingénierie simultanée », Thèse de doctorat, Université de Franche-Comté, 1997.
- [Deming, 86] Deming, W. Edwards. *Out of the Crisis*, MIT Center for Advanced Engineering Study, Cambridge, MA, 1986.
- [Diaz, 92] M. Diaz « A logical model of cooperation », Proceedings of the IEEE, Third Workshop on Future Trends of Distributed Computing Systems, p. 64-70, avril 1992.
- [Diaz, 96] Diaz M., Vernadat, Villemur, « Spécification et réalisation formelles de systèmes coopératifs », Ingénierie des protocoles, CFIP 96, p 357-376, 1996.
- [Dong Qi, 02] Dong, Qi. "Predicting and Managing System Interactions at Early Phase of the Product Development Process", Ph.D. Thesis (M.E.), MIT, Cambridge, MA, 2002.
- [Dorn, 95] Dorn J. "Iterative Improvement Methods for Knowledge-based Scheduling", *AI Communications* 8(1) pp. 20-34, 1995.
- [Durand, 79] Durand D. *La systémique*, PUF, Que sais-je ? n°1795, 121 p, 1979.
- [Ehrgott, 02] Ehrgott M., Gandibleux X. Multiple criteria optimization, State of the art, *Kluwer's International Series, Operational Research, Management Science*, 2002.
- [Ellis, 91] Ellis, C.A., Gibbs, S.J., and Rein, G.L. (1991), "Groupware, Some Issues and Experiences." *Communications of the ACM* 34(1), January 1991, pp. 38-58.
- [Elmaghraby, 77] Elmaghraby S.E. "Activity Networks: Project Planning and Control by Network Models", J.Wiley & Sons, New York, 1977.

Références

- [Eppinger, 90] Eppinger, Steven D., Whitney, Daniel E., Smith, Robert P. and Gebala, David, "Organizing the Tasks in Complex Design Projects," ASME Conf. on Design Theory and Methodology, Chicago, IL, pp. 39-46, 1990.
- [Eppinger, 94] Eppinger S.D, Whitney D.E., Smith R.P., Gebala D.A. "A model-based method for organizing tasks in product development", Research in Engineering Design 6, p.1-13, 1994.
- [Eppinger, 97] Eppinger, Steven D., Nukala, Murthy and Whitney, Daniel E., "Generalized Models of Design Iteration using Signal Flow Graphs," Research in Engineering Design, Vol. 9, No. 2: pp. 112-123, 1997.
- [Eppinger, 01] Eppinger, Steven D. and V. Salminen. "Patterns of Product Development Interactions", International Conference on Engineering Design, Glasgow, Scotland, August 2001.
- [Etcheverry, 02] Etcheverry P. « Modélisation et Spécification de la Coordination Interne aux Processus d'Activités ». Thèse de l'Université de Pau et des Pays de l'Adour, 2002.
- [Fiduccia, 82] Fiduccia C., Mattheyses R. "A linear time heuristic for improving network partitions", 19th IEEE Design Automation Conference, p 175-181, 1982.
- [Fielder, 73] M. Fielder. "Algebraic connectivity of graphs". Czechoslovak Mathematic Journal, 23: 298–305, 1973.
- [Fielder, 75] M. Fielder. "A property of eigenvectors of non-negative symmetric matrices and its application to graph theory", Czechoslovak Mathematic Journal, 25: 619–633, 1975.
- [Figer, 97] J. P. Figer, « Les Nouvelles Technologies de l'Information et de la Communication : une nouvelle donne pour les entreprises », Rapport annuel de Cap Gemini, 1997.
- [Ford, 98] Ford D.N., Sterman J.D. "Expert Knowledge Elicitation to Improve Formal and Mental Models". System Dynamics Review, 14(4): 309-340, 1998.
- [Fowler, 97] Fowler M., "Analysis Patterns, reusable objects models ", Addison Wesley, 1997.
- [Gabor, 90] Gabor, A. The Man Who Discovered Quality, Random House, New York, NY, 1990.
- [Gebala, 91] Gebala, David A. and Eppinger, StevenD., "Methods for Analyzing Design Procedures", Proc. of the ASME Third International Conference on Design Theory and Methodology, pp. 227-233, 1991.
- [Gilbert, 95] J. Gilbert, G. Miller, and S. Teng. "Geometric mesh partitioning: Implementation and experiments", In Proceedings of International Parallel Processing Symposium, 1995.
- [Gomes, 99] Gomes S. « Contribution de l'analyse de l'activité au processus de conception de produits innovants. Application à la conception de systèmes de contrôle-commande automobiles. » Thèse de Doctorat de l'INPL, 1999.
- [Grosz, 00] G. Grosz, F. Semmak. "Utilisation de patrons pour aider à la gestion du changement dans les entreprises ", Actes du congrès Inforsid 2000, Lyon, 16-19 mai 2000.
- [Grudin, 91] J. Grudin. « Obstacles to user involvement in software product development, with implication for CSCW» In Computer Supported Cooperation Work and Groupware. Saul Greenberg ed. Academic Press, p. 313-330, London, 1991.
- [Gupta, 96] Gupta L., Chionglo J., Fox M. "A Constraint Based Model of Coordination in Concurrent Design Projects", Proceedings of WET-ICE'96, 1996.
- [Harary, 62] Harary F., "A graph theoretic approach to matrix inversion by partitioning", Journal of numerical mathematic, 1962.
- [Hendrickson, 95a] B. Hendrickson and R. Leland, "An improved spectral graph partitioning algorithm for algorithm for mapping parallel computations," SIAM Journal of Scientific Computing, vol. 16, pp. 452-469, 1995.

Références

- [Hendrickson, 95b] B. Hendrickson and R. Leland. "A multilevel algorithm for partitioning graphs". Proceedings of Supercomputing '95, 1995.
- [Hendrickson, 98] B. Hendrickson. "Graph partitioning and parallel solvers: Has the emperor no clothes?" In Proc. Irregular'98, pages 218-225, 1998.
- [Humphrey, 91] Humphrey, W.S. «*Process Fitness and Fidelity*», Proceedings of the Seventh International Software Process Workshop, 16-18 octobre 1991.
- [Idelmerfaa, 04] Idelmerfaa Z., David M., Richard J., " *Méthode pour spécifier l'organisation structurelle et l'organisation stratégique du travail coopératif* ", dans Concevoir en équipe : des modèles aux outils, Edit. F. Darses, Presses Universitaires de Grenoble, collection Génie Industriel, novembre 2004.
- [Imai, 86] Imai, M. Kaizen: The Key to Japan's Competitive Success, McGraw-Hill, New York, NY, 1986.
- [Isaksson, 00] Isaksson, Ola, Keski-Seppala, Sven and Eppinger, Steven D. "Evaluation of design process alternatives using signal flow graphs", Journal of Engineering Design, Vol. 11 Issue 3: pp. 211-224, 2000.
- [ISO/FDIS 9001, 2000] Quality Management Systems – Requirements. AFNOR Editions, 2000.
- [ISO/IEC TR 15504, 1998] Software Process Assessment. SEI, 1998.
- [Jagou, 93] Jagou P. Concurrent Engineering : la maîtrise des coûts, des délais et de la qualité, *Collection Systèmes d'information, Edition Hermès*, Paris, 1993.
- [Jiang, 04] Jiang, J.J., Klein, G., Hwang, H.G., Huang, J., & Hung, S.Y. (2004). " An exploration of the relationship between software development process maturity and project performance ". Information & Management, 41, 279-288.
- [Joglekar, 02] Joglekar N.R., Yassine A.A., & Al. "Performance of Coupled Product Development Activities with a Deadline", site web: <http://ford-mit.mit.edu:2001/Collaboration.nsf>
- [Johansen, 88] R. Johansen « Groupware: Computer Support for Business Teams », New York and London: The Free Press, 1988.
- [Karypis, 98] G. Karypis and V. Kumar. "A fast and high quality multilevel scheme for partitioning irregular graphs". SIAM Journal on Scientific Computing, 20(1): 359-392, 1998.
- [Kehat, 73] Kehat, E. and Shacham, M. "Chemical Process Simulation Programs- 2: Partitioning and Tearing of System Flowsheets". Process Technology International, Vol. 18, pp. 115-118, 1973.
- [Kernighan, 70] B. Kernighan and S. Lin. "An efficient heuristic procedure for partitioning graphs". The Bell System Technical Journal, 49(2): 291 - 307, 1970.
- [Khoshafian, 95] S. Khoshafian, M. Buckiewicz « Introduction to Groupware, Workflow, and Workgroup Computing » John Wiley & Sons, Inc. New York, 1995.
- [Korpela, 02] Korpela M., A. Mursu & H.A. Soriyan. " Information Systems Development as an Activity". Computer Supported Cooperative Work 11: 111–128, 2002.
- [Krishnan, 96] Krishnan V., « *Managing the simultaneous execution of coupled phases in concurrent product development* », IEEE transactions on engineering management, vol.43, n° 2, mai 1996.
- [Krishnan, 97] Krishnan V., Eppinger S.D., Whitney D.E. "A model-based framework to overlap product development activities", Management Science, vol. 43, N°4: p. 437-451, 1997.
- [Kumar, 90] Kumar, C. S. et Chandraskharan, M. P. "Group efficacy: A quantitative criterion of goodness of block diagonal forms of binary matrices in group technology", International Journal of Production Research 28: 233-244, 1990.
- [Kumar, 92] Kumar V. "Algorithms for Constraint-Satisfaction Problems: a Survey", AI Magazine, pp 32-44, 1992.

Références

- [Kusiak, 87] Kusiak A. and Chow W.S. "Efficient solving of the group technology problem". *Journal of manufacturing systems* 6: 117-124, 1987.
- [Kusiak, 94] Kusiak A, Larson TN, Wang J. "Reengineering of design and manufacturing process", *Computer Industry Engineering* 26(3): 521-36, 1994.
- [Kusiak, 95] Kusiak A., Wang J., He D.W., Feng C., "A structured approach for analysis of Design processes", *IEEE transactions on components, packaging, and manufacturing technology, Part A*, vol. 18, n° 3, 1995.
- [Kuutti, 93] Kuutti K., Notes on systems supporting "Organisational context" – An activity theory viewpoint, COMIC European project, deliverable D1.1, 1993, pp 101- 117.
- [Larson, 96] Larson N. and A. Kusiak, "Managing Design Processes: A Risk Assessment Approach", *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics: Part A*, Vol. 26, No. 6, pp. 749-759, 1996.
- [LeMoigne, 90] LeMoigne Jean-Louis, *La modélisation des systèmes complexes*. Bordas, 1990.
- [Levy, 97] Levy Pierre, L'intelligence collective, *La Découverte, Paris*, 1997.
- [Lissandre, 90] Lissandre M., *Maîtriser SADT*, Colin, 1990, p14.
- [Lorino 01] P. Lorino, « Les indicateurs de performance dans le pilotage de l'entreprise » dans l'ouvrage *Indicateurs de performance*, éditions Hermès, 2001, pp. 49-64.
- [Malmström, 99] Malmström J., Pikosz P., Malmqvist J. "Complementary roles of IDEF0 and DSM for the modelling of information management processes", *Concurrent Engineering Research and Applications*, Vol.7, N°2, p 95-103, 1999.
- [Marshak, 94] R. N. Marshak « *Workflow White Paper: On Overview of Workflow Software* », Workflow'94, Bob Bierman, San Jose, CA: The Conference Group, 1994.
- [Marx, 1867] Marx K. *Das Kapital*, livre premier : le développement de la production capitaliste, 1867.
- [Mayo, 45] Elton Mayo. *The Social Problems of an Industrial Civilization*. New Hampshire: Ayer, 1945.
- [McCord, 93] McCord, Kent R. and Eppinger, Steven D., "Managing the Integration Problem in Concurrent Engineering", M.I.T. Sloan School of Management, Cambridge, MA, Working Paper no.3594, 1993.
- [Michelena, 97] Michelena N., Papalambros P. "A hypergraph framework for optimal model-based decomposition of design problems". *Computational optimization and applications*, Vol. 8, n° 2, p.173-196, 1997.
- [Midler, 93] Midler C. L'auto qui n'existait pas, *Management des projets et transformation de l'entreprise*, Ed. DUNOD Collection *Stratégies et Management*, ISBN 2.10.004228.9, 1993.
- [Mika, 04] M. Mika, G. Waligóra and J. Wglarz. "Simulated annealing and tabu search for multi-mode resource-constrained project scheduling with positive discounted cash flows and different payment models", *European Journal of Operational Research*, In Press, Corrected Proof, 2004.
- [Munier, 99] M. Munier, «Une architecture pour intégrer des composants de contrôle de la coopération dans un atelier distribué », Thèse de Doctorat de l'Université Henri Poincaré, Nancy I, Loria, France, 1999.
- [Nam, 98] Nam T. "An Investigation of Multi-user Design Tools for Collaborative 3-D Modeling ", *ACM Conference on Computer Supported Cooperative Work (Doctoral Colloquium)*, Seattle, 1998.
- [Navarre, 92] Navarre C., (1992), *Gestion 2000*, n°6, Louvain, pp. 13-30.
- [Nichols, 90] Nichols G. Getting engineering changes under control, *Journal of engineering design* 1, 1990.
- [Palermo, 92] A. M. Palermo, S.C. McCreedy. "Workflow Software: a Primer Groupware'92 ", David P colenian, morgan kaufmann publishers, 1992.

Références

- [Palpant, 01] Palpant M. « *Conception d'une métaheuristique et application au problème d'ordonnement de projet à moyens limités* », working paper Laboratoire d'Informatique d'Avignon, 2001.
- [Patra, 98] A. Patra and D. Kim. "Efficient mesh partitioning for adaptive hp finite element methods". In International Conference on Domain Decomposition Methods, 1998.
- [Pennock, 02] Pennock M., Haimès Y. "Principles and Guidelines for project risk management", System Engineering Vol.5 No. 2, 2002.
- [Pimmler, 94] Pimmler, Thomas U. and Eppinger, Steven D., "Integration Analysis of Product Decompositions", Proc. ASME Int. Conf. on Design Theory and Methodology, Minneapolis, MN, 1994.
- [Pothen, 96] A. Pothen. "Graph partitioning algorithms with applications to scientific computing". In Keyes, Sameh, and Venkatakrishnan, editors, Parallel Numerical Algorithms. Kluwer Academic Press, 1996.
- [Prasad, 97a] B. Prasad « Concurrent Engineering Fundamentals (Integrated Product Development) » Volume II, Prentice Hall international series in industrial and systems engineering, Chapitre 7.4, p. 334-338, 1997.
- [Prasad, 97b] Prasad B., *Concurrent Engineering Fundamentals (Integrated Product and process organization)* Volume I, Prentice Hall international series in industrial and systems engineering, 1997.
- [Rogers, 90] Rogers, James L., "Knowledge-Based Tool for Decomposing Complex Design Problems", ASCE Journal of Computing in Civil Engineering, Volume 4, No. 4, pp. 298-312, October, 1990.
- [Rogers, 99] Rogers, James L., "Tools and Techniques for Decomposing and Managing Complex Design Projects", AIAA Journal of Aircraft, Vol. 36, No.1, Jan.1999, pp. 266-274.
- [Saadoun, 96] M. Saadoun, « *Le projet groupware* », édition Eyrolles, 1996.
- [Safoutin, 98] Safoutin M.J., Smith R.P. "Classification of iteration in engineering design processes", Proceedings of ASME Design Engineering Technical Conference, Atlanta, 1998.
- [Salvador, 96] Salvador, Tony, Scholtz, Jean et Larson, James. "The Denver Model for Groupware Design". Journal, ACM Special Interest Group Computer-Human Interface bulletin (SIGCHI), 1996, volume 28, numéro 1, édition en ligne, ACM Press.
- [Sargent, 64] Sargent, R. W. and Westerberg, A. W., "Speed-up in Chemical Engineering Design," Transactions of the Institute of Chemical Engineers, Vol. 42, 1964.
- [Schloegel, 99] Schloegel K., Karypis G., Kumar V. "A New Algorithm for Multi-objective Graph Partitioning", University of Minnesota, T. R. 99-003, <http://www-users.cs.umn.edu>, 1999.
- [Schmidt, 91] K Schmidt, L J Bannon, "CSCW: four characters in search of a context, in Studies in computer Supported cooperative work ", Theory Practice and Design, J Bowers and S Benford eds, North-Holland, 1991.
- [Searle, 69] Searle J R, Speech acts, Cambridge University Press, 1969.
- [Slany, 96] Slany W., Doppler C. "Scheduling as a fuzzy multiple criteria optimization problem", Fuzzy Sets and Systems, 78: 197-222, 1996.
- [Smith, 97a] Smith R.P., Eppinger S.D. "Identifying controlling features of engineering design iteration", Management Science, vol. 43, n°3: p.276-293, 1997.
- [Smith, 97b] Smith R.P & Eppinger S.D., "A predictive Model of sequential iteration in engineering design", Management Science, vol. 43, N° 8: p. 1104-1120, 1997.
- [Smith, 98] Smith R.P., Eppinger S.D., "Deciding between Sequential and Concurrent Tasks in Engineering Design", Concurrent Engineering Research and Applications, vol. 6, n°1, p.15-25, 1998.
- [SSE-CMM, 99] *The System Security Engineering – Capability Maturity Model*, Carnegie Mellon University, Version 2, 1999.
- [Standish, 94] *The Chaos Report*, The Standish Group International Inc. 1994.

Références

- [Steward, 65] Steward D.V., "Partitioning and tearing systems of equations", Journal of SIAM, series B, vol. 2, n°2: p. 345-365, 1965.
- [Steward, 81] Steward D.V., "The Design Structure system: a method for managing the design of complex systems", IEEE transactions on engineering management, vol.EM-28, n°3, 1981.
- [Terwiesch, 99] Terwiesch, Christian, Christoph H. Loch. "Measuring the Effectiveness of Overlapping Development Activities", Management Science, Vol. 45, Number 4, 1999.
- [Tiernan, 70] Tiernan, James C. "An Efficient Search Algorithm to Find the Elementary Circuits of a Graph," Communications of the ACM, Vol. 13, No. 12, December 1970.
- [Todd, 99] Todd D. & Sen P., "Distributed task scheduling and allocation using genetic algorithms", Computers & Industrial Engineering 37, p.47-50, 1999.
- [Ward, 97] Ward A., Finch W. « A set-based system for eliminating infeasible designs in engineering problems dominated by uncertainty » Proceedings of DETC'97, ASME Design Engineering Technical Conference. DETC97/ DTM-3886, 1997.
- [Warfield, 73] Warfield, John N., "Binary Matrices in System Modeling", IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, vol. 3, pp. 441-449, 1973.
- [Weinblatt, 72] Weinblatt, Herbert, "A New Search Algorithm for Finding the Simple Cycles of a Finite Directed Graph," Journal of the Association for Computing Machinery (ACM), Vol. 19, No. 1, 1972.
- [Wilson, 90] P. Wilson « Computer Supported Cooperative Work: An overview Intelligent Tutoring », Media Vol.1, n°3, p. 103-116, 1990.
- [Winograd, 86] T. Winograd and F. Flores, *Understanding Computers and Cognition: A New Foundation for Design*, Ablex Publishing Corporation, Norwood, NJ, 1986.
- [Yan, 02] Yan HS, Wang Z, Jiang M. "A quantitative approach to the process modeling and planning in concurrent engineering", Concurrent Engineering Research and Applications, 10(2): 97-111, 2002.
- [Yassine, 01] Yassine A.A., Whitney D.E., Zambito T., "Assessment of rework probabilities for simulating product development processes using the design structure matrix", 13th International Conference on Design Theory and Methodology DTM 2001, Pittsburgh, Pennsylvania, USA, 2001.
- [Zettelmeyer, 96] Zettelmeyer F. "On the optimality of market orientation", University of Rochester Working Paper, 1996.

Monsieur DAVID Michaël

DOCTORAT de l'UNIVERSITE HENRI POINCARÉ, NANCY 1
en PRODUCTION AUTOMATISEE

VU, APPROUVÉ ET PERMIS D'IMPRIMER N° 1036

Nancy, le 24 décembre 2004

Le Président de l'Université



J.P. FINANCE

Résumé :

Les entreprises se focalisent de plus en plus sur les aspects organisationnels qui leur permettent de se structurer en processus complexes. Ainsi, de nouveaux besoins apparaissent pour mieux définir, coordonner et contrôler les équipes et les activités coopératives. L'objet de cette étude est la définition d'un cadre qui permette d'assister le travail coopératif en apportant aux acteurs une aide à la coopération et à l'activité de groupe. La définition de ce cadre s'inspire de la démarche d'amélioration de processus du CMM (Capability Maturity Model), repris par l'ISO 15504 (ISO SPICE). L'approche est décomposée en 4 axes qui correspondent aux actions progressives à mettre en œuvre pour définir une organisation adéquate des activités coopératives. L'axe 1 concerne la structuration des activités : analyse des dépendances entre activités, regroupement et/ou décomposition en tâches, planification des groupes de travail. L'axe 2 concerne la caractérisation des activités en fonction des interactions dans les groupes de travail : définition des rôles interactionnels et gestion des interfaces entre groupes de travail. L'axe 3 concerne l'évaluation d'une organisation de travail en fonction du nombre d'itérations entre activités : estimation des durées, charges et coûts. L'axe 4 concerne l'optimisation d'une organisation de travail en fonction des résultats d'évaluation : mise en œuvre de différentes solutions d'organisation et d'exécution des activités. Des méthodes principalement issues de la théorie des graphes et des techniques de partitionnement et d'évaluation de performance sont proposées en support dans chaque axe. Un outil logiciel mettant en œuvre ces propositions a été développé. Il permet d'analyser, de décomposer et d'évaluer des processus complexes, ce qui en fait un support efficace pour l'aide à la décision en management, le contrôle dynamique des processus coopératifs, pour la définition et la reconfiguration d'architecture informatique ...

Mots Clefs :

Travail coopératif, Organisation, Théorie des graphes, Méthodes de décomposition.

Abstract:

Companies are more and more focused on the organizational aspects which enable them to structure their complex processes. Thus new needs appear for better defining, coordinating and controlling the co-operative teams and activities. The object of this study is the definition of a framework which assists co-operative work while bringing to the actors a help to the co-operation. The definition of this framework is inspired by the improvement procedure of CMM (Capability Maturity Model), used in ISO SPICE. The approach is composed by 4 axes which correspond to the progressive actions to implement in order to define an adequate organization of the co-operative activities. Axis 1 relates to the structuring of the activities: analysis of dependences between activities, gathering and/or decomposition in tasks, workgroups scheduling. Axis 2 relates to the characterization of the activities according to the workgroups interactions: definition of the roles and management of the interfaces between workgroups. Axis 3 relates to the work organization evaluation according to the iteration count between activities: estimate of the lead times, loads and costs. Axis 4 relates to the work organization optimization according to the results of evaluation: implementation of various solutions for activities organization and execution. Methods resulting from the graph theory, partitioning techniques and performance evaluation are proposed to support each axis. A software tool was developed to implement these proposals. It makes it possible to analyze, break up and evaluate complex processes. It gives an effective support for the decision-making in management, the dynamic control of the co-operative processes, for the definition and the reconfiguration of network architecture...

Key Words:

Cooperative work, Organization, Graph theory, Decomposition method.