

UNIVERSITE PAUL CEZANNE AIX-MARSEILLE III

N° : 2007Aix30011

TITRE :

PILOTAGE HOLONIQUE AUTO-ORGANISE DE RESEAUX LOGISTIQUES : VALIDATION PAR MODELISATION ET SIMULATION DISTRIBUEE.

THESE

Pour obtenir le grade de

DOCTEUR DE L'UNIVERSITE PAUL CEZANNE AIX-MARSEILLE III
Faculté des Sciences et Techniques

Discipline : Modélisation et Conception des processus Assistés par Ordinateur

Ecole Doctorale en Mathématiques et Informatique de Marseille

Présentée et soutenue publiquement par

Lynda MEKAUCHE

Le 22 Juin 2007

JURY

M. Norbert GIAMBIASI	Professeur, Université Paul Cézanne Aix Marseille III	Directeur de thèse
Mme. Fouzia OUNNAR	Maître de Conférences, Université Paul Cézanne Aix Marseille III	Directeur de thèse
Mme. Claudia FRYDMAN	Professeur, Université Paul Cézanne Aix Marseille III	Examineur
M. Bernard GRABOT	Professeur à l'Ecole Nationale d'Ingénieurs de Tarbes	Rapporteur
M. Pierre LADET	Professeur à l'Institut National Polytechnique de Grenoble	Président
M. Gérard MOREL	Professeur à l'Université Henri Poincaré, Nancy	Rapporteur

ANNEE : 2007

*A ma mère
A ma famille
A tous ceux qui me sont chers
et qui ne font plus partie de ce monde*

Avant-Propos

Je tiens à remercier mes deux directeurs de thèse *Mr Norbert GIAMBIASI*, Professeur à l'Université Paul Cézanne, Aix-Marseille III et *Mme Fouzia OUNNAR*, Maître de Conférences (MCF) à l'Université Paul Cézanne, Aix-Marseille III, pour leurs apports et pour toute la confiance qu'ils m'ont accordée au cours de ma thèse. Ma profonde gratitude et mon admiration vont particulièrement à *Mme Fouzia OUNNAR* pour sa disponibilité, sa ponctualité tout au long de ce travail, ces conseils judicieux qu'elle m'a donnés et pour la passion de la recherche qu'elle m'a transmise.

Je tiens à remercier particulièrement *Mr Patrick PUJO* Maître de Conférences (MCF) à l'Université Paul Cézanne, Aix-Marseille III, pour sa disponibilité, son expérience, ces enseignements, son art à orienter ce travail et ses conseils qui me seront, sans aucun doute, d'une aide inestimable.

Je remercie *Mr Gérard MOREL*, Professeur à l'Université Henri Poincaré Nancy et *Mr Bernard GRABOT*, Professeur à l'Ecole Nationale d'Ingénieurs de Tarbes pour m'avoir fait l'honneur d'être les rapporteurs de mes travaux. Je les remercie pour l'intérêt qu'ils ont porté à ce travail et d'avoir apporté tant de soins à la lecture de ce mémoire.

Mes remerciements vont également à *Mr Pierre LADET*, Professeur à l'Institut National Polytechnique de Grenoble de m'avoir fait l'honneur d'accepter de présider le jury de ma soutenance.

Je remercie *Mme Claudia FRYDMAN*, Professeur à l'Université Paul Cézanne, Aix Marseille III, de m'avoir accueillie dans son équipe et d'avoir accepté de participer à l'évaluation de ce travail.

Ma gratitude et mes remerciements vont également à l'ensemble du personnel administratif et technique du laboratoire LSIS.

Je remercie tous les thésardes et thésards du laboratoire avec qui j'ai partagé des moments inoubliables: *Karine, Samar, Souhir, Bouchra, Claudia, Abderrahmane, Nabil, Amar, Hassan, Abbas, Amine, Salam, Grégory, Phillipe, Nadine, Hernan, Yacine, Elodie, Mamadou, Ali, Lassaad, Wassim, Pamela, Asmaa, Lala, Flavien, Julien, Emilie, José et Mamoun.*

Je remercie mes copines : *Yassina, Meriam, Sarra, Houda, Lysa*, pour le soutien qu'elles m'ont apporté tout au long de ces années de thèse.

Merci à toute *ma famille, ma mère, ma sœur et son mari, mon petit neveu Massil, mes frère, ma belle soeur et Thalssa ma petite nièce*, pour leurs soutien en toutes circonstances durant toutes mes années d'étude. Ma gratitude, mon admiration, ma reconnaissance et mes remerciements vont particulièrement à *mon frère Mourad* sans qui ce travail ne serait pas mené à son terme.

J'espère que vous trouverez ici toutes et tous mon éternelle reconnaissance.

Sommaire

Liste des figures	5
Liste des tableaux	7
Introduction	9
Chapitre I : Etat de l'art et proposition d'un pilotage auto-organisé basé sur une approche holonique	13
I.1 Chaînes logistiques, leur fonctionnement et les problèmes rencontrés	13
I.2 Réseaux logistiques et position du problème	21
I.3 Apport de la structure hétérarchique/décentralisée dans le pilotage d'un réseau logistique	27
I.4 Choix d'une structure de décision	33
I.5 Proposition d'un pilotage auto-organisé basé sur l'approche holonique d'un réseau logistique.....	37
I.6 Conclusion	51
Chapitre II : Evaluation de la performance du Ressource Holon	53
II.1 Processus de choix et d'évaluation de fournisseurs.....	54
II.2 Classement des AOs : Première étape du processus d'auto-évaluation	64
II.3 Calcul de la performance : Deuxième étape du processus d'auto-évaluation...82	
II.4 Conclusion	86
Chapitre III : Modélisation et Validation par Simulation Distribuée via HLA	87
III.1 Modélisation	87
III.2 Réalisation	108
III.3 Simulation	125
III.4 Conclusion	167
Conclusion et perspectives	169
Bibliographie	174
Liste des abréviations	184
ANNEXES	188

Liste des figures

Figure I.2.1 Réseau logistique.....	23
Figure I.2.2 : Représentation de flux d'un produit	25
Figure I.2.3 : Représentation d'un réseau de chaînes logistiques.....	25
Figure I.2.4 : Représentation d'un réseau logistique auto-organisé	27
Figure I.3 1 : Structure centralisée [Pujo et Kieffer, 02]	29
Figure I.3.2 : Structure hiérarchique [Pujo et Kieffer, 02]	31
Figure I.3.3 : Structure décentralisée [Pujo et Kieffer, 02]	32
Figure I.3.4 : Représentation d'une structure hétérarchique/décentralisée au niveau de réseau logistique.....	34
Figure I.5.1 : Organisation des modelons [Da Silveira, 03]	38
Figure I.5.2 : Organisation des holons [Da Silveira, 03]	40
Figure I.5.3 : Le concept d'auto-organisation	43
Figure I.5.4 : Entité de Pilotage Autonome (EPA)	46
Figure I.5.5 : Fonctionnement général d'une EPA	47
Figure II.2 1 : Processus d'élaboration d'un tableau de bord [Cerruti et Gattino, 92].....	67
Figure II.2.2 : Choix des objectifs à suivre.....	68
Figure II.2.3 : Choix des variables à suivre	68
Figure II.2.4 : Choix des paramètres mesurables.....	69
Figure II.2.5 : Choix et sélection d'indicateurs.	70
Figure II.2 6 : Hiérarchie du processus de décision.	80
Figure II.2.7 : Matrices des importances relatives des indicateurs	81
Figure III.1.1 : Fonctionnement d'un modèle DEVS [Baptiste, 03].	89
Figure III.1.2 : Modèle couplé à événements discrets.....	90
Figure III.1.3 : <i>Modèle DEVS-EPA</i>	91
Figure III.1.4 : Module d'interaction	93
Figure III.1.6 : Sous module de gestion des AOs/AOLs.	94
Figure III.1.5 : <i>Sous module de gestion des RAO/RAOE</i>	96
Figure III.1.7 : <i>Gestion des RAOLs</i>	97
Figure III.1.8 : <i>Modèle DEVS couplé du module optimisation</i>	99
Figure III.1.9 : <i>Gestion des AOLs/OCs</i>	100
Figure III.1.10 : Sous module gestion des AOs/OSs.....	101
Figure III.1.11 : Sous module ApplicationAHP.....	102
Figure III.1.12 : <i>Sous module Calcul_Performance</i>	104
Figure III.1.13 : Modèle DEVS couplé du module planning.....	105
Figure III.1.14 : Sous module de calcul de la date de réalisation.	106
Figure III.1.15 : Gestion des AOLs.....	107
Figure III.2.1 : Vue logique des composants RTI [Mcleod, 99].	110
Figure III.2.2 : Composants d'un fédéré [Mcleod, 99].....	111
Figure III.2.3 : Etapes d'exécution d'une fédération en exécution [Mcleod, 99].	111
Figure III.2.4 : Représentation de l'avance dans le temps d'un fédéré contraint [Adelantado <i>et al</i> , 05].	113
Figure III.2.5 : Correspondance entre modèle et simulateur	114
Figure III.2.6 : Mise à plat de la structure hiérarchique de simulation	115

Figure III.2.7 : Intégration du simulateur DEVS dans l'environnement HLA.....	116
Figure III.2.8 : Relation entre les composants de la simulation.....	117
Figure III.2.9 : Interface entre les simulateurs des modèles et la RTI.....	122
Figure III.2.10 : Interface du fédéré DEVS/EPA.....	124
Figure III.2.11 : Déroulement de la simulation.....	124
Figure III.2.12 : Affichage de l'historique	125
Figure III.3.1 : Représentation des flux des deux types du produit PF1	127
Figure III.3.2 : Sous Modèle A2	129
Figure III.3.3 : Exemple de variables déclarées sous Arena.....	131
Figure III.3.4 : <i>Charges des entreprises A2 et B1</i>	133
Figure III.3.5 : <i>Charge de l'entreprise M1</i>	133
Figure III.3.6 : Lancement des AOs "Fcos 1" et "Fcos 2" par le client "C1"	137
Figure III.3.7 : Entreprises concurrentes pour l'AO Cplas	138
Figure III.3.8 : Représentation des nouveaux flux correspondants aux deux types du produit PF1.....	142
Figure III.3.9 : Lissage de charge pour A3	142
Figure III.3.10 : Lissage des charges pour C1, C2, M1 et M2.....	142
Figure III.3.11 : Lissage des charges pour B1 et B3	143
Figure III.3.12 : Lissage des charges pour E1 et E2.....	143
Figure III.3.13 : Taux d'occupation de A2, B1 et M1.....	143
Figure III.3.14 : Réception par le fournisseur A4, des AOs lancés par les quatre clients.....	153
Figure III.3.15 : Représentation des nouveaux flux correspondants aux sept types du produit : 3, 4, 5, 6, 7, 10 et 12.	161
Figure III.3.16 : Taux d'occupation de B3, D3, E1 et M2	162
Figure III.3.17 : Taux d'occupation de A2, A4, B2, C2, C3, D1, D2, D3, E1, M1, et M2....	163

Liste des tableaux

Tableau II.2.1 : Points qualités affectés pour chaque accréditation de l'entreprise.....	72
Tableau II.2.2 : Barème pour les délais de paiement.	73
Tableau II.2.3 : Echelle de notation de préférence.....	73
Tableau II.2.4 : Tableau récapitulatif des indicateurs	73
Tableau II.2.5 : Comparaison des méthodes d'aide multicritères à la décision	74
Tableau II.2.6 : Echelle de mesure de la prépondération entre deux éléments dans la méthode AHP	75
Tableau II.2.7 : Random Inconsistency Index (RI).....	77
Tableau II.2.8 : Données relatives aux Appels d'Offres.....	79
Tableau II.2.9 : Importance relative des critères.....	80
Tableau II.2.10 : Vecteur d'importance relative (CrOg).....	80
Tableau II.2.11 : Vecteur d'importance relative (ICr1)	81
Tableau II.2.12 : Matrice MInd1	81
Tableau II.2.13 : Vecteur MCr1.....	81
Tableau II.2.14 : Matrice MCr.....	82
Tableau II.2.15 : Vecteur d'importance relative MOg.....	82
Tableau II.2.16 : Vecteurs d'importance relative [MOg] obtenus.....	82
Tableau II.2.17 : Comparaison des méthodes élémentaires.....	83
Tableau II.2.18 : Calcul de la performance locale des Fournisseurs F1, F2 et F3	86
Tableau III.2.1 : Table d'objets.	118
Tableau III.2.2 : Table d'interaction.	118
Tableau III.2.3 : Table d'attributs.	120
Tableau III.2.4 : Table des paramètres.	121
Tableau III.2.5 : Table de DataType.	121
Tableau III.3.1 : Entreprises répertoriées selon leur métier.....	126
Tableau III.3.2 : Nomenclature et gamme de fabrication du produit PF1	127
Tableau III.3.3 : Données lues par Arena –Exemple du produit PF1	130
Tableau III.3.4 : Résultat de la simulation en fonctionnement nominal	132
Tableau III.3.5 : Résultats de la simulation après l'injection des perturbations	134
Tableau III.3.6 : Comparatif des résultats (fonctionnement nominal / fonctionnement perturbé).....	135
Tableau III.3.7 : Nomenclature des produits de type 1 et 2.....	136
Tableau III.3.8 : Tableau d'indicateurs pour le type d'AO "Fcos"	137
Tableau III.3.9 : Réponses du fournisseur A3	137
Tableau III.3.10 : Tableau d'indicateurs pour le type d'AO « Cplas »	138
Tableau III.3.11 : Réponses des entreprises C1 et C2.....	139
Tableau III.3.12 : Tableau d'indicateurs pour le type d'AO « Impr »	139
Tableau III.3.13 : Réponses des entreprises M1 et M2	139
Tableau III.3.14 : Tableau d'indicateurs pour le type d'AO « Cpap ».....	140
Tableau III.3.15 : Réponses des entreprises B1 et B3.....	140
Tableau III.3.16 : Tableau d'indicateurs pour le type d'AO « Fpap »	140
Tableau III.3.17 : Réponses des entreprises E1 et E2	141
Tableau III.3.18 : Tableau d'indicateurs pour le type d'AO « Serig ».....	141
Tableau III.3.19 : Réponses des entreprises M1 et M2	141
Tableau III.3.20 : Lots commandés par les clients.....	144

Tableau III.3.21 : Résultat de la simulation avant l'injection du deuxième type de perturbation	145
Tableau III.3.22 : Résultat de la simulation après l'injection du deuxième type de perturbation	147
Tableau III.3.23 : Réponses des entreprises A1, A2, A3 et A4.	154
Tableau III.3.24 : Tableau d'indicateurs pour le type d'AO Cts	155
Tableau III.3.25 : Réponses des entreprises D1, D2 et D3.	155
Tableau III.3.26 : Tableau d'indicateurs pour le type d'AO Fver	155
Tableau III.3.27 : Réponses des entreprises D1, D2 et D3.	156
Tableau III.3.28 : Tableau d'indicateurs pour le type d'AO Fplas	156
Tableau III.3.29 : Réponses des entreprises A1 et C1	156
Tableau III.3.30 : Réponses des entreprises C1, C2, C3 et A1	157
Tableau III.3.31 : Réponses des entreprises M1 et M2	157
Tableau III.3.32 : Réponses des entreprises B1, B2 et B3	158
Tableau III.3.33 : Tableau d'indicateurs pour le type d'AO Fpap	158
Tableau III.3.34 : Réponses des entreprises E1 et E2	158
Tableau III.3.35 : Tableau d'indicateurs pour le type d'AO Serig	159
Tableau III.3.36 : Réponses des entreprises M1 et M2	159
Tableau III.3.37 : Récapitulatif des AO lancés et des fournisseurs associés	160
Tableau III.3.38 : Réponses des entreprises D3, D2 et D1 pour le type d'AO Cts	164
Tableau III.3.39 : Réponses des entreprises C3, C2, C1 et A1 pour le type d'AO Fplas	165
Tableau III.3.40 : Réponses des entreprises M1 et M2 pour le type d'AO Impr	165
Tableau III.3.41 : Réponses des entreprises B3, B2 et B1 pour le type d'AO Cpap	166
Tableau III.3.42 : Tableau d'indicateurs pour le type d'AO Fpap	167
Tableau III.3.43 : Réponses des entreprises B3, B2 et B1 pour le type d'AO Fpap	167

Introduction

L'évolution de l'environnement économique international, calqué sur le développement des moyens d'échange et de transport, a généré un changement et une évolution au niveau des besoins et des attentes des clients. Les clients sont devenus de plus en plus exigeants en terme de coût, délai et qualité. Par conséquent, ils exercent une forte pression sur les entreprises et menacent ainsi la survie et la prospérité de ces dernières. Cette pression a poussé les entreprises à revoir leur gestion interne afin d'améliorer leurs performances et de pouvoir ainsi assurer leur rentabilité lorsque règne une forte compétitivité internationale. Avec la globalisation et l'apparition de produits de plus en plus complexes, les entreprises se sont rendues compte que cette amélioration interne, certes importante, n'était pas suffisante. Autrement dit, le développement d'une entreprise ne dépend pas uniquement de l'amélioration de sa performance interne, mais nécessite l'utilisation de ressources externes. Les entreprises ont alors eu recours à l'externalisation pour la réalisation de produits complexes. L'externalisation dans son acception courante, relève du concept de "l'outsourcing" (sous-traitance) ou du "Make or Buy" (Faire ou Faire faire). Il s'agit pour l'entreprise de sous-traiter des activités liées au processus de production, voire directement des parties de ce processus. A travers l'externalisation, les entreprises s'insèrent dans un réseau très fortement maillé, de clients fournisseurs et sous-traitants, formant ainsi un réseau de chaînes logistiques.

Avec l'intégration de l'entreprise dans un réseau, des relations complexes entre entreprises apparaissent. A ce niveau, le souci de l'entreprise ne concerne pas uniquement l'amélioration de sa gestion interne mais englobe aussi sa capacité à pouvoir veiller sur la rentabilité et l'efficacité des relations la liant aux autres entreprises. Les actions de recherche se sont donc engagées dans l'analyse des différentes formes d'interactions entre les entreprises, notamment le processus de coopération. Nous assistons alors à la naissance de nouvelles formes de coopération dont émergent de nouvelles formes réticulaires d'organisations telles que : l'entreprise réseau (V-firmes) qui traduit la coopération Verticale, le réseau d'entreprises (H-firmes) pour représenter la coopération Horizontale et l'entreprise étendue (D¹-firmes) qui englobe les deux formes réticulaires : V-firmes et H-firmes.

Toutefois, la réussite et l'efficacité de l'une ou de l'autre des trois formes de coopération, nécessite un dialogue synchronisé et optimisé entre les partenaires impliqués dans la coopération. Ceci est devenu possible grâce au développement de nouvelles technologies de l'information et de la communication, et le développement d'outils informatiques. A partir de là, les partenaires peuvent partager des données et optimiser ainsi, conjointement le réseau au sein duquel ils se sont unis pour répondre au mieux aux demandes de leurs clients. Néanmoins, les dernières études montrent que le partage de données de façon optimisée n'est pas suffisant pour réussir la coopération, elles soulèvent plutôt le problème de la recrudescence des conflits que cette coopération occasionne. Ce problème remet en question le déroulement de la coopération, autrement dit, le pilotage des relations entre les partenaires impliqués dans cette coopération.

La plupart des recherches menées jusqu'à aujourd'hui sur le pilotage des relations Clients/Fournisseurs se sont plutôt intéressées aux entreprises faisant partie d'une même chaîne logistique et s'inscrivant dans une forme de coopération verticale. La question qui se pose alors, concerne le devenir du pilotage des relations Clients/Fournisseurs au niveau d'un réseau logistique. C'est dans ce contexte que vient s'ajouter notre contribution via ce mémoire.

¹ D faisant allusion à une coopération Diagonale.

En effet, l'objectif principal de cette étude est d'apporter une aide au pilotage d'un réseau logistique par la dynamique des relations Clients/Fournisseurs au niveau de ce réseau.

Les réseaux logistiques actuels sont construits à partir d'un ensemble de chaînes logistiques figées, au sens où chaque client a ses propres fournisseurs auprès desquels il lance ses commandes. De même, les fournisseurs connaissent leurs clients et ils sont au courant par avance de leurs commandes. Autrement dit, la relation Clients/Fournisseurs est définie selon un contrat commercial précis avec des engagements des deux cotés (Clients ou fournisseurs) sur des volumes et/ou des périodes. Dès lors, les clients sont contraints par leurs fournisseurs et les fournisseurs eux, sont contraints par leurs clients. Dans un tel fonctionnement, la dégradation de la relation entre deux partenaires peut être la conséquence de plusieurs problèmes. A titre d'exemple, la réaction d'un fournisseur face à une quantité supplémentaire commandée par son client ou vice versa, la réaction d'un client qui voit arriver sa commande avec un retard imprévu, vis à vis de son fournisseur.

Dans le cadre de nos travaux, chacun des partenaires du réseau logistique participe à l'atteinte d'un objectif commun qui est d'assurer collectivement la répartition des ordres venant des différents clients tout en respectant les intérêts de chacun. Dans cette perspective, nous proposons une nouvelle approche de pilotage auto-organisé des relations Clients/Fournisseurs en considérant que l'ensemble des entités (Clients/Fournisseurs) partenaires d'un réseau logistique auto-organisé, communiquant sur un même medium de communication, négocient pour répondre au mieux aux attentes des clients et pour exploiter au mieux les capacités des fournisseurs. Dans le réseau auto-organisé que nous proposons, les clients lancent des Appels d'Offres (AOs), les fournisseurs potentiels rentrent en phase de négociation pour répondre aux Appels d'Offres et la meilleure réponse pour chaque AO, émergera du réseau. Ainsi, nous proposons un modèle de pilotage auto-organisé pour lequel le système de décision gère le fonctionnement d'un ensemble d'entités faisant partie d'un partenariat. La notion d'auto-organisation est subordonnée d'une part à l'utilisation d'une structure de décision décentralisée et d'autre part à la prise en compte du propre comportement réel de chaque entité. Avec cette approche, il n'y a plus d'organisation prévisionnelle, l'auto organisation devant être un mode de prise de décision en temps réel. Pour cela et afin que chacun des fournisseurs puisse participer à la négociation, nous avons associé à chacun des partenaires un centre de décision nommé Entité de Pilotage Autonome (EPA). Cette dernière lui permettra de s'auto-évaluer face à la réception des Appels d'Offres.

L'architecture du modèle de pilotage auto-organisé et décentralisé que nous proposons est une *flat holonic form*. Pour la description de notre flat holonic form, nous nous sommes appuyés sur l'architecture de référence PROSA². Ainsi, le rôle fondamental des EPAs consiste à gérer la totalité des échanges d'information dans le réseau considéré et à organiser l'enchaînement des traitements de ces informations qui aboutissent aux différentes prises de décision.

Faisons remarquer que dans l'approche que nous proposons, les chaînes logistiques sont construites au fur et à mesure des lancements des Appels d'Offres. Autrement dit, il n'y a rien de prévu à l'avance. Notons également que le modèle de pilotage auto-organisé sur lequel repose notre approche peut être appliqué au sein d'un réseau logistique où règne une confiance mutuelle entre les partenaires ou dans une entreprise multi-sites.

L'objectif de l'approche proposée est d'assurer la distribution des ordres par la mise en négociation de fournisseurs pouvant potentiellement répondre à un Appel d'Offre émis par un client. Du fait de la capacité finie de chaque fournisseur, il est nécessaire de respecter un

² PROSA : Product Resource Order Staff Architecture [Van Brussel *et al*, 98].

équilibre entre charge/capacité au niveau des fournisseurs. Il s'en suit en conséquence un lissage de charge automatique entre les différents fournisseurs potentiels, ce qui permet ainsi de proposer à plus long terme un système équitable de répartition des charges entre les différents fournisseurs du réseau.

Afin de situer notre contribution et décrire l'objectif de cette étude de façon explicite, nous avons structuré ce mémoire en trois chapitres.

Le premier chapitre présente le contexte général de notre travail. Dans un premier temps, nous présentons les chaînes logistiques, leur fonctionnement, ainsi que les problèmes auxquels elles sont confrontées. Dans un deuxième temps, nous présentons une analyse critique des différentes structures de pilotage au niveau d'une chaîne et/ou de réseau de chaînes logistiques, ce qui nous amène à présenter la structure sur laquelle nous avons travaillé au niveau d'un réseau logistique. Dans un troisième temps, nous dressons les différentes approches de modélisation utilisées dans la mise en œuvre des structures de pilotage et nous terminons ce chapitre par la présentation de l'approche de pilotage auto-organisé basé sur l'approche holonique.

Le deuxième chapitre porte sur la description du processus d'auto-évaluation utilisé dans l'approche que nous proposons. Ce processus est basé sur deux étapes :

- La première étape concerne le classement de tous les Appels d'Offres reçus par le fournisseur selon plusieurs critères.
- La deuxième étape permet au fournisseur de calculer sa performance par rapport à l'AO classé premier.

Les deux étapes se basent sur plusieurs critères de choix, ce qui nous a amené à présenter un état de l'art sur les différentes méthodes multicritères pour justifier les méthodes retenues au niveau de chaque étape.

Le troisième chapitre concerne la validation par simulation de l'approche que nous proposons. Pour cela, nous avons modélisé l'EPA par le formalisme DEVS (Discrete Event System Specification), utilisé pour la spécification des systèmes à événements discrets. Le recours au formalisme DEVS est dû principalement au fait que ce formalisme permet la réalisation de simulations distribuées. En effet, afin de permettre aux partenaires du réseau de respecter la confidentialité de leurs données, nous avons été amenés à utiliser la simulation distribuée. Pour se faire, les modèles DEVS élaborés ont été intégrés dans une simulation distribuée via la norme HLA (High Level Architecture). Nous avons choisi l'architecture HLA pour pouvoir à terme, mettre en évidence les avantages de l'approche que nous proposons à travers la simulation des modèles parallèlement à un fonctionnement réel sans avoir à perturber ce dernier.

Afin de bien décrire le processus de validation, ce troisième chapitre est structuré comme suit :

Dans un premier temps, nous présentons le formalisme DEVS utilisé suivi des modèles DEVS élaborés. Dans un deuxième temps, nous présentons l'environnement de simulation distribuée HLA utilisé, suivi de la description de la maquette de simulation réalisée à partir de l'intégration des modèles DEVS dans l'environnement HLA. Dans un troisième temps et afin de pouvoir comparer les deux approches, approche auto-organisée que nous proposons et

l'approche classique³, nous présentons le jeu de données élaboré ainsi que le modèle de simulation Arena qui lui est associé pour simuler l'approche classique.

La comparaison entre les deux approches est basée sur l'étude de l'influence de trois types de perturbations introduites dans les deux modèles (modèle classique et modèle auto-organisé) :

- Le premier type, porte sur l'introduction d'une perturbation dans les entreprises exerçant le plus d'activités. La perturbation a porté sur le lancement de commande sur des lots supplémentaires par les clients des entreprises en question, sur l'horizon d'une même semaine.
- Dans le second type de perturbation, nous nous intéressons aux entreprises impliquées dans la réalisation de plusieurs produits. Dans le même contexte que le premier type de perturbation, nous avons supposé qu'au cours d'une même semaine, les entreprises fournisseurs reçoivent des commandes sur des lots supplémentaires de la part de leurs clients.
- Enfin, dans le troisième type de perturbation, nous sommes partis du deuxième type de perturbation auquel nous avons associé la caractéristique de panne à certaines de ces entreprises.

Nous présentons alors les résultats des simulations. Une comparaison des résultats ainsi obtenus va nous permettre de mettre en avant les apports de l'approche de pilotage auto-organisé que nous proposons dans ce mémoire.

³ Tout au long de cette étude nous associons au fonctionnement de réseaux logistiques actuels l'approche classique au sens où toutes les chaînes logistiques au sein de ce type de réseau sont figées. Cette approche est basée sur un contrat commercial précis avec des engagements sur des volumes et des périodes.

Chapitre I : Etat de l'art et proposition d'un pilotage auto-organisé basé sur une approche holonique

L'engagement des entreprises dans des réseaux de chaînes logistiques apparaît être une condition et de leur succès et du développement du marché. Cet engagement implique l'apparition de relations Clients/Fournisseurs assez complexes. Cette complexité influe sur la durabilité de ces relations et donc sur l'évolution de tout le réseau; d'où la nécessité d'entretenir ces relations voire de les améliorer. A travers ce premier chapitre nous proposons une nouvelle approche de pilotage d'un réseau logistique par la dynamique des relations Clients/Fournisseurs permettant l'amélioration de ces relations. Dans un premier temps, nous présentons le concept de chaînes logistiques, leur fonctionnement ainsi que les problèmes soulevés. Dans un deuxième temps, nous soulevons le problème de la gestion de chaînes logistiques auquel se sont intéressés plusieurs travaux de recherche, pour ensuite introduire les différents horizons de prise de décision au niveau de ce type de chaînes et pouvoir ainsi situer le niveau de décision auquel nous nous intéressons dans le cadre d'un réseau de chaînes logistiques. Dans un troisième temps, une analyse critique des différentes structures de pilotage au niveau d'une chaîne et/ou d'un réseau de chaînes logistiques est présentée pour justifier le choix de la structure retenue dans le cadre de cette thèse. Ce qui nous amène à présenter l'approche de pilotage auto-organisé d'un réseau logistique basé sur une approche holonique.

I.1 Chaînes logistiques, leur fonctionnement et les problèmes rencontrés

Les réseaux de chaînes logistiques font parties des mots clés de notre étude. Avant d'aller plus loin dans le développement de cette étude, il convient de présenter les chaînes logistiques, leur fonctionnement, ainsi que les problèmes auxquels elles sont confrontées.

I.1.1 La logistique : historique et définitions

Le terme "logistique" vient d'un mot Grec qui signifie l'art du raisonnement et du calcul. Aujourd'hui, le terme "logistique" recouvre des interprétations très diverses. Cela va du simple "transport" jusqu'à une science interdisciplinaire combinant ingénierie, micro-économie et théorie d'organisation [Akbari Jokar *et al*, 02]. Dans la présente section, un rappel portant sur l'évolution de la logistique est donné suivi d'une revue des principales définitions.

I.1.1.1 Historique

La logistique d'entreprise est apparue longtemps après la fin de la seconde guerre mondiale. Dans les années 1970, elle fut avant tout une recherche d'optimisation opérationnelle partielle et disjointe (gestion des stocks, tournées de livraison, etc.). Durant cette période, la demande était supérieure à l'offre. Les clients avaient donc peu d'influence sur les producteurs et le souci principal du producteur était la production. Chaque service de l'entreprise (approvisionnement, production, distribution, etc.) travaillait indépendamment des autres [Akbari Jokar *et al*, 02]. Durant les années 1980 et 1990, nous assistons à la fois, à un accroissement de l'offre et à une exacerbation de la concurrence dus à l'apparition de nombreuses entreprises pour un même produit. Par conséquent, le client devient "roi" pour le producteur et exige une certaine qualité sur le service qui lui est rendu. Chose qui a poussé tous les services (approvisionnement, production, distribution, etc.) à collaborer et à échanger des données techniques. A cet effet, la logistique change de nature et se préoccupe prioritairement de coordonner les différentes fonctions de l'entreprise qui concourent à la mise

en circulation des flux (service après vente, distribution, production, achat, etc.). Dans les années 1990 et 2000, nous entrons dans la période où la production est strictement supérieure à la demande ce qui explique la forte augmentation de la concurrence et les clients qui exercent des comportements de consommateurs exigeants et difficiles à prévoir. Pour remédier à cette situation, l'entreprise cherche à avoir une forte coopération avec ses fournisseurs et ses donneurs d'ordres. D'où, la logistique privilégie désormais sa dimension "transversalité" qui lui permet de mobiliser toutes les ressources internes (celles de l'entreprise) et surtout externes (celles de ses partenaires), nécessaires à la mise en œuvre d'une chaîne logistique. Avant d'aborder cette notion de chaînes logistiques, nous présentons quelques définitions dédiées à la notion de logistique.

1.1.1.2 Définitions

Selon le dictionnaire Hachette 2003, la logistique est définie comme étant une organisation matérielle d'une collectivité, d'une entreprise (approvisionnements, conditionnements, transport, gestion des stocks). Dans le même contexte, nous trouvons également la définition d'ASLOG (Association des LOGisticiens d'entreprise) qui considère que la logistique est l'ensemble des activités ayant pour but la mise en place, au moindre coût, d'une quantité de produit, à l'endroit et au moment où une demande existe. Au sens d'ASLOG, la logistique concerne donc toutes les opérations déterminant le mouvement des produits telles que : localisation des usines et entrepôts, approvisionnement, gestion physique des encours de fabrication, emballage, stockage et gestion des stocks, manutention et préparation des commandes, transports et tournées de livraison [ASLOG, 03]. La définition retenue pour la notion de logistique dans la norme X 50-600 considère celle-ci comme une fonction dont la finalité est la satisfaction des besoins exprimés ou latents, aux meilleures conditions économiques pour l'entreprise et pour un niveau de service déterminé. Les besoins sont de nature interne (approvisionnement de biens et de services pour assurer le fonctionnement de l'entreprise) ou externe (satisfaction des clients). Selon cette définition, la logistique fait appel à plusieurs métiers et savoir faire qui concourent à la gestion et à la maîtrise des flux physiques et d'informations ainsi que les moyens [AFNOR, 00]. Pour [Perez et Sen, 87] la logistique est un réseau d'installation qui assure les fonctions d'approvisionnements en matière première, de la transformation de ces matières premières en produits finis, de stockage et de distribution de ces derniers vers les clients. De leur côté [Akbari Jokar *et al*, 02] présentent la logistique par les fonctions de planification, d'exécution et de contrôle des flux des marchandises et des Informations pour l'Acquisition, le Stockage, le Déplacement et la Livraison des marchandises tout en coopérant avec les autres membres de la chaîne afin d'atteindre les objectifs attendus de toute la chaîne logistique, en particulier la diminution du temps de réponse au marché.

L'ensemble des définitions présentées ci-dessous concernant la notion de logistique s'appuient toutes sur des aspects précis de l'entreprise et/ou du produit. En effet, la plupart d'entre elles lient la logistique au cycle de vie du produit. Pour la plupart des auteurs [Akbari Jokar *et al*, 02], [ASLOG, 03], [Perez et Sen, 87], la logistique recouvre les phases d'approvisionnement, de production, de distribution, d'exploitation et de recyclage. De façon plus générale, si l'on compare les définitions de la logistique citées dans le paragraphe ci-dessus à celles qui lui ont été attribuées dans les années 70, nous pouvons constater que finalement la définition de la logistique reflète uniquement l'évolution de cette dernière au cours des années.

L'analyse présentée ci-dessus fait ressortir qu'au départ, on parlait de logistique de flux. Il s'agit de l'ensemble de tous les services qui concourent à la disponibilité d'un produit de la conception à la livraison. Puis on s'aperçoit que les flux matières sont interdépendants : on ne peut livrer le client que si les stocks sont bien constitués, encore faut-il pour cela que les

produits soient fabriqués à temps et donc que l'entreprise soit correctement approvisionnée en amont, on parle alors de "Chaîne logistique" ou "Supply Chain". Nous présentons dans la section suivante cette notion de chaîne logistique.

I.1.2 Chaîne logistique

Pour bien assimiler la notion de chaîne logistique (Supply Chain), nous proposons, dans ce qui suit, de passer en revue les principales définitions proposées dans la littérature. Dans [Thierry et Bel, 02], les auteurs ont distingué deux orientations : les approches définissant la chaîne logistique d'un point de vue produit de celles les définissant d'un point de vue entreprises.

I.1.2.1 Définition d'un point de vue produit

Partant d'un point de vue produit, [Telle, 03] fait émerger ceux qui définissent la chaîne logistique comme une succession de relations Client/Fournisseur de ceux qui optent pour une représentation plus opérationnelle en faisant apparaître les différents types de fonctions de cette chaîne logistique. Nous présentons dans ce qui suit quelques définitions.

I.1.2.1.1 Définition orientée relation Client/Fournisseur

[Lauras, 04] définit la chaîne logistique comme un ensemble de cheminement des flux physiques financiers et informationnels, du premier des fournisseurs jusqu'aux clients ultimes, les consommateurs (Cf Figure I.1.1) ; une définition similaire a été donnée dans [Tayur *et al*, 99].

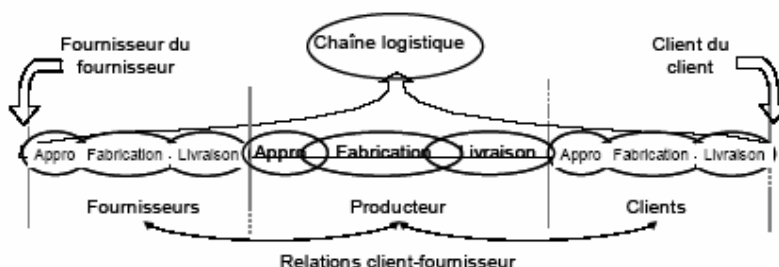


Figure I.1.1 : Relation Client/Fournisseur dans une chaîne logistique [Lauras, 04]

I.1.2.1.2 Définition orientée fonction

Partant de l'ensemble des fonctions associées à la chaîne logistique, [Thierry, 03] définit la chaîne logistique comme l'ensemble des entreprises qui interviennent dans les processus de fabrication, de distribution et de vente du produit, du premier des fournisseurs au client ultime. Dans le même contexte, [Akbari Jokar *et al*, 02] considèrent la chaîne logistique comme un réseau d'installation qui assure les fonctions d'approvisionnement en matière première, le transport de ces matières premières, la transformation de ces matières en composants puis en produits finis, la distribution du produit fini chez le client ainsi que le service après vente, le recyclage ou la mise au rebut des produits en fin de vie (Cf Figure I.1.2); nous trouvons des définitions similaires dans [Lee et Billington, 92] et [Rota-Frantz *et al*, 01].

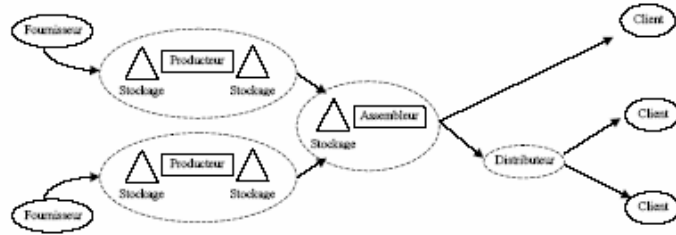


Figure I.1.2 : Les différentes fonctions d'une chaîne logistique [Telle, 03]

I.1.2.2 Définition d'un point de vue entreprise

Pour d'autres auteurs, la chaîne logistique est définie par rapport à une entreprise donnée. Dans ce contexte, nous citons la définition de [Poirier et Reiter, 01] qui définissent la chaîne logistique comme le système grâce auquel les entreprises amènent leurs produits et leurs services jusqu'à leurs clients. Notons par ailleurs, l'intégration de cette présentation dans plusieurs modèles tel le modèle SCOR (Cf Figure I.1.3) et celui proposé par [Kearney, 94] (Cf Figure I.1.4) [Lauras, 04].

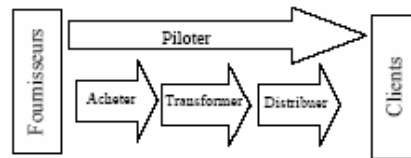


Figure I.1.3 : Modèle SCOR niveau 1 [Lauras, 04]

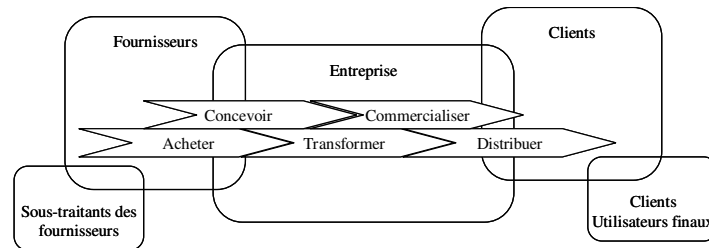


Figure I.1.4 : Modèle de chaîne logistique [Kearney, 94]

Au vu des définitions présentées ci-dessus, nous pouvons conclure qu'une chaîne logistique est représentée comme un réseau de groupes interdépendants qui ont en commun la volonté de trouver le moyen le plus efficace d'atteindre leur but, c'est-à-dire répondre aux besoins du consommateur. Ce réseau commence alors par les sources capables de fournir les sources de bases nécessaires à la construction de la chaîne logistique telles que : la matière première, les fournitures, etc. En deuxième lieu vient le fournisseur fabricant, celui-ci a comme fonction d'assembler, de transformer ou de fournir un produit ou un service bien déterminé dans le réseau. Cet élément est succédé par le distributeur qui a l'objectif de distribuer le produit fini aux détaillants qui, eux, représentent l'élément suivant de cette chaîne. En dernier lieu, on trouve le consommateur [Poirier et Reiter, 01]. La description de la chaîne logistique ainsi donnée, montre que l'entreprise n'évolue plus seule, elle agit dans un système composé de ses clients et de ses fournisseurs. Elle doit donc être consciente du changement de son environnement qui est désormais constitué de trois éléments [Eymery, 97] d'après [Lauras, 04] : ses clients, ses fournisseurs et les conditions de ses opérations internes (processus, ressources, compétence, objectif).

Tous ces éléments ont en commun la volonté de trouver le moyen le plus efficace d'atteindre leur but, qui est de répondre aux besoins du consommateur. A partir de cet objectif commun est née la notion de gestion de cette chaîne logistique.

I.1.3 Gestion de la chaîne logistique

I.1.3.1 Définitions

La définition de la gestion de chaînes logistiques diffère d'une lecture à l'autre. Dans leurs travaux de recherche, [Mentzer *et al*, 01] considèrent la gestion comme un effort volontaire de l'ensemble des acteurs (entités) concernés par la création de valeur. Pour [Hadj Hammou, 02], la gestion de la chaîne logistique consiste à piloter l'ensemble des organisations et installations qui concourent à la réalisation et à la mise à disposition des articles. Elle vise d'une part, à fabriquer les articles en s'appuyant sur les informations issues des prévisions de la demande des clients et d'autre part, à minimiser les différents coûts d'approvisionnement, de production, de stockage et de livraison. Elle comprend généralement deux principales composantes : l'intégration du réseau d'installation et la coordination des différents flux de matières, d'informations et financiers. Dans un contexte similaire, [Thierry, 03] définit la gestion de chaînes logistiques comme un ensemble de décisions qui permettent d'optimiser les performances de cette chaîne. De leur côté [Riane et Pirard, 05] considèrent la gestion de la chaîne logistique comme l'action de faire dialoguer de manière synchronisée et optimisée tous les partenaires impliqués dans la chaîne de création de valeur et de vente des produits allant du fournisseur (l'offre) au client (la demande).

De manière synthétique, la gestion de la chaîne logistique concerne à la fois la gestion des différents flux la composant et l'ensemble des outils permettant de les traiter. Les différents flux englobent les flux de produits (flux physiques) qui correspondent au flux de matières entre les entreprises. Celui-ci peut être bidirectionnel : il circule évidemment du fournisseur vers le client, mais il peut aussi, dans le cas d'une relation de sous-traitance, circuler du donneur d'ordre vers le sous-traitant [Despontin, 04]. Les flux informationnels qui contiennent toutes les données associées aux flux de produits, et les flux financiers qui regroupent les paiements et les arrangements entre les clients et les fournisseurs.

A partir des définitions que nous venons de présenter, nous pouvons constater que la gestion de la chaîne logistique suppose une vision globale de toute cette chaîne logistique. [Hadj Hammou, 02] a souligné dans son étude qu'un produit devient compétitif non seulement grâce à une bonne gestion des fonctions : approvisionnement, production et distribution, mais également grâce à une meilleure intégration entre les décisions de différents niveaux de ces fonctions. L'auteur a insisté alors, sur le fait d'intégrer toutes les décisions de la chaîne logistique, car une maîtrise de chacune des fonctions de la chaîne n'implique pas forcément une maîtrise globale de toute la chaîne. Par conséquent, cette vision globale de la chaîne logistique entraîne une complexification des décisions à prendre et des choix à faire. Cette complexification de prise de décision a donné lieu à de nombreux travaux de recherche couvrant les différents horizons de prise de décision : long, moyen et court terme. Dans cette optique, [Thierry, 03] distingue d'une part, les travaux qui portent sur les problèmes de configuration (long terme) qui conditionnent les problèmes de circulation des différents flux (information, produits, financiers), d'autre part, les travaux liés à la gestion (coordination, pilotage) de ces flux (moyen et court terme). Nous présentons dans la section suivante un ensemble de problèmes lié aux différents niveaux de gestion (stratégique, tactique et opérationnelle) de la chaîne logistique. Cet ensemble n'est bien entendu pas exhaustif mais nous citons ceux qui nous paraissent les plus importants.

1.1.3.2 Problèmes de gestion de la chaîne logistique

1.1.3.2.1 Problèmes de la gestion stratégique de la chaîne logistique

Les problèmes soulevés à ce niveau ont comme objectif principal d'évaluer les alternatives de configuration de la chaîne logistique pour déterminer ainsi la structure de cette chaîne. Ces problèmes ont fait l'objet de plusieurs travaux de recherche tels que les travaux de [Hadj Hammou, 02], [Aguazzoul, 05] et [Pirard, 05]. Parmi ces problèmes, nous citons le problème de localisation-allocation des sites de production, en effet, les centres de distribution ne sont pas situés aux mêmes endroits que les sites de production, les transports doivent donc être organisés entre les différents sites. À partir de ces mêmes centres de distribution, la livraison vers les clients et les détaillants doit être assurée. Compte tenu de cette situation, il est nécessaire de déterminer la localisation des diverses installations⁴ dans la chaîne logistique de manière à minimiser les coûts totaux de la chaîne. Pour atteindre cet objectif, une entreprise de production multi-sites peut par exemple décider de fermer ou de transformer certains de ses centres, d'en acquérir de nouveaux ou encore de sélectionner des distributeurs géographiquement bien situés. De plus, il est essentiel de préciser la mission de chaque site retenu. Un tel problème porte le nom de problème de localisation-allocation, localisation se référant à la situation géographique et allocation aux activités qui seront réalisées dans chacun des centres [Riane et Pirard, 05].

Nous rencontrons également, le problème de capacité des sites de production, celui-ci consiste à déterminer la capacité devant être rajoutée ou supprimée à l'entreprise pour mieux satisfaire la demande [Riane et Pirard, 05], et enfin le problème de politique de transport et de distribution qui lui, concerne la gestion de tous les moyens de transport qui, en amont ou en aval de l'entreprise, assurent la disponibilité opérationnelle des matières, des informations et des procédures. Le transport est donc lié aux activités de production et de distribution, il s'insère toujours dans la succession de ces opérations. Le traitement de ce problème dépend éventuellement du traitement des problèmes suivants : la formation de la cargaison, l'intégration des transports liés aux achats et aux livraisons, la planification des tournées et le choix du moyen de transport [Riane et Pirard, 05].

A ces problèmes viennent s'ajouter le problème de la sélection des fournisseurs, le problème des politiques de stockage, le problème de choix du scénario d'acheminement de produits aux consommateurs, etc.

Les travaux dédiés à la résolution des problèmes liés à la gestion stratégique de la chaîne logistique sont abondants dans la littérature, nous citons les travaux assez récents de [Pirard, 05] qui s'est intéressée dans le cadre de sa recherche doctorale aux entreprises multi-sites. Les travaux de sa thèse ont porté sur le développement d'une démarche d'aide à la décision pour la reconfiguration et la planification stratégique au niveau des entreprises multi-sites. Dans une perspective similaire, [Aguazzoul, 05] s'est intéressée plus particulièrement au problème de choix des fournisseurs et aux stratégies de transport amont d'une chaîne logistique. Son objectif principal est d'apporter les éléments de réponse aux questions d'ordre stratégique qui se posent à ce niveau. Nous citons également les travaux de [Hadj Hammou, 02] qui a proposé d'apporter une contribution au développement de méthodes et d'outils d'aide à la conception de produits à forte diversité et de chaînes logistiques de production et de distribution, et les travaux de [Meyr *et al*, 02] qui ont proposé de développer une démarche d'aide à la décision pour la reconfiguration et la planification stratégique des réseaux

⁴ Le terme installation peut correspondre à une unité de stockage, une unité de production, une usine, un centre de distribution, un entrepôt, un fournisseur ou un client [Hadj Hammou, 02].

logistiques dans le cadre des entreprises multi-sites. Dans le même contexte nous citons les travaux de [Enjalbert, 06], qui a proposé une méthode et un outil basé sur la simulation distribuée pour réaliser l'évaluation de la faisabilité des plans multi-sites pour les réseaux d'entreprises.

I.1.3.2.2 Problème de gestion tactique de la chaîne logistique

Les objectifs poursuivis par la gestion tactique portent sur les modalités de circulation des différents flux (physique, information et financier) dans la chaîne logistique conçue au niveau stratégique [Hadj Hammou, 02]. Les problèmes soulevés à ce niveau peuvent être formulés comme suit :

- Le problème d'allocation des centres de distribution aux clients : chaque client peut être fourni par un seul centre de distribution/vente (mono vendeur) ou par plusieurs centres de distribution/vente (multi-vendeurs).
- Le problème d'affectation de fournisseurs aux sites de production : Quel fournisseur pour quel site de production? Le problème d'affectation de produits aux sites de stockage : Quel produit dans quel site de stockage?
- Le problème d'allocation de produits : Quel produit dans quel site de production pour quel client, et le problème de manutention qui consiste à choisir les outils convenables pour la manutention des produits et matières premières au moment de la livraison et du stockage.

Ces problèmes ont été largement abordés dans la littérature, nous pouvons citer les travaux de [Thierry, 03] qui portent sur la proposition d'un outil d'aide à la coopération entre le donneur d'ordres et ses sous-traitants. Cet outil doit pouvoir d'une part, déterminer l'influence des comportements respectifs de pilotage de la production, des approvisionnements et de la distribution des acteurs impliqués dans la relation sur la performance de chacun et notamment celle de la combinaison des différents comportements, d'autre part, déterminer les informations qu'il sera utile d'échanger entre les deux partenaires impliqués dans la relation puis définir la façon dont ces informations devront être exploitées par chacun des partenaires de manière à ce que la relation de partenariat soit bien de type gagnant gagnant [Thierry, 03]. Dans une perspective similaire, les travaux de [Telle, 03] s'inscrivent dans le cadre des problématiques liées aux notions d'évaluation de la performance des actions de coopération au sein des chaînes logistiques. Ses travaux ont marqué par leur contribution le projet de recherche élaboré par Airbus en réalisant un outil permettant l'analyse de la dynamique des processus de coopération au sein des relations donneurs d'ordres/fournisseurs.

De son côté, [Lauras, 04] s'est intéressé aux organisations coopératives dans le cadre de la gestion des chaînes logistiques. Pour cela, il a défini formellement le cadre organisationnel d'une chaîne logistique coopérative à partir de quatre axes principaux qui sont : un objectif commun, le dépassement de limites individuelles, des modalités d'entente et une gestion commune des aléas. A partir d'une étude approfondie portant sur ces quatre principaux axes, il a constaté que le principal support de l'axe de pilotage des relations entre entités de la chaîne concerne plus particulièrement les modalités d'entente entre les individus qui composent cette chaîne logistique. [Lauras, 04] entend par entente, un ensemble de liaisons et d'accords plus ou moins formels, plus ou moins durables et plus ou moins intenses que des acteurs d'une chaîne logistique nouent entre eux. Selon lui, cette entente peut alors prendre plusieurs formes : coopération, communication, partenariat ou collaboration. Partant de cette analyse, l'auteur a étudié l'amélioration de la performance à long terme au niveau de chaque membre de la chaîne logistique pour enfin parvenir à étudier l'amélioration de la performance au niveau de l'ensemble de la chaîne les composant. Cette étude lui a permis de structurer la démarche

d'amélioration continue des organisations coopératives dans le cadre de la chaîne logistique du secteur de la pharmacie cosmétique (Laboratoires Pierre Fabre) [Lauras, 04].

En plus des travaux cités ci-dessus, nous citons également les recherches s'inscrivant dans le cadre théorique du fait qu'elles se sont limitées à des études analytiques accompagnées dans la majorité des cas de propositions d'approches, d'outils ou de méthodologies permettant de répondre aux questions soulevées de façon particulière ou générale dans le domaine managériale au niveau d'une chaîne logistique. Ces recherches œuvrent également, dans le but de concrétiser les bénéfices de la forme réseau introduite dans les chaînes logistiques. Parmi ces recherches, nous citons les travaux de [Sivadasan *et al*, 01] qui ont étudié la complexité des relations Clients/Fournisseurs avant et après intégration d'une entreprise donnée dans un réseau d'entreprises pour pouvoir ensuite mettre au point les avantages d'une telle intégration.

A travers une étude approfondie menée sur la collaboration et la coopération inter-entreprises par [Faems et Van, 03], les auteurs ont pu montrer qu'une entreprise qui s'engage dans la coopération inter-entreprises est mieux équipée pour créer de nouveaux produits ou améliorer des produits existants et les processus de production. Autrement dit, plus les entreprises s'engagent dans des arrangements coopératifs, plus leurs stratégies d'innovation sont efficaces.

Tous ces travaux et bien d'autres encore [Chen *et al*, 01] [Bun et Portioli-Staudacher, 00] [Dong *et al*, 02], ont permis de démontrer le bien des accords de coopération et la nécessité de leur contrôle et de leur pilotage afin de pouvoir lutter contre l'opportunisme et créer une véritable capacité collective de production et d'organisation de façon à accéder à de nouvelles technologies.

I.1.3.2.3 Problème de la gestion opérationnelle de la chaîne logistique

La gestion opérationnelle de la chaîne logistique se charge d'assurer à court terme la gestion des moyens de cette chaîne à la fois au sein de chaque installation et entre les différentes installations. Elle reflète le fonctionnement journalier des opérations logistiques. L'objectif de la gestion opérationnelle est de résoudre les problèmes liés à la gestion de stock : (quantité à produire (taille de lot), niveau de stock de sécurité, etc.) et les problèmes de dimensionnement de lot de transport (taille du lot de transport, programme de transport, etc.)

Notons toutefois que les travaux portant sur l'étude de ce type de problèmes sont nombreux.

Nous citons les travaux de [Geneste *et al*, 03], qui ont travaillé sur l'ordonnancement des ordres de sous-traitances incertains au cours du processus de négociation entre client et sous-traitant. Notons qu'au cours du processus de négociation entre client sous-traitant, le premier problème dont le sous-traitant doit faire face est d'arriver à fixer le délai de réalisation de la commande lancée par le client. En effet, une partie de la charge de travail du sous-traitant se compose d'ordres en cours de négociation et d'ordres confirmés. Dans ce contexte, les auteurs proposent une méthode basée sur la logique floue et la théorie des possibilités permettant la prise en compte de l'incertitude de certains ordres. Nous citons également, les travaux de [Burlat, 04] qui portent sur la conception de modèle mettant en relation les outils d'aide à la décision du niveau opérationnel avec les méthodes d'aide à la décision de niveau plus élevé. D'autres travaux de recherche se sont focalisés sur la réduction de délais et de coûts, l'augmentation de la diversité de produits ainsi que leur qualité [Gentili *et al*, 04] [Neubert, 97].

A travers les définitions de la chaîne logistique présentées dans le paragraphe I.1.1.2 nous avons constaté que cette notion peut être vue comme une chaîne composée de clients, de fournisseurs, et les conditions de ses opérations internes. Nous avons également vu que certains auteurs s'inspirent de l'approche physique de réseau pour donner une définition de la

chaîne logistique [Akbari Jokar *et al*, 02] [Lee et Billington, 92]. La section suivante présente la notion de réseau logistique. Une analyse des différents travaux concernant les réseaux logistiques est également présentée pour pouvoir situer notre contribution.

I.2 Réseaux logistiques et position du problème

Dans cette étude, nous nous intéressons aux réseaux logistiques. L'objectif est d'apporter une aide au pilotage d'un réseau logistique afin d'améliorer les relations Clients/Fournisseurs. Pour cela, et afin de clarifier la problématique que nous traitons, nous présentons dans cette section, dans un premier temps, l'origine et l'évolution du concept de réseau. Dans un deuxième temps, les différentes définitions du concept de réseau logistique sont présentées, suivies de la définition que nous avons associé à ce type de réseau tout au long de cette étude. Dans un troisième temps, nous présentons un état de l'art des travaux dédiés aux réseaux de chaînes logistiques de façon générale et à l'amélioration des relations Clients/Fournisseurs au niveau de ce type de réseau. Cet état de l'art est suivi d'une description détaillée de la problématique de ce mémoire et de la présentation de la méthodologie sur laquelle repose notre proposition.

I.2.1 Définition de réseau

Le terme réseau vient du mot latin "rétilios" qui signifie "filet", c'était un moyen de prédation des gibiers. Avec l'évolution industrielle, le terme réseau commence à envahir tous les domaines de recherches : réseau de communication, réseau ferroviaire, réseau électrique, réseau informatique, etc. Tout comme le filet, le réseau a ses branchements, ses interconnexions, ses fentes. Ainsi, le réseau peut être conçu à partir d'un ensemble de nœuds liés entre eux. En conséquence, les relations inter-entreprises définissent bien un réseau. Selon [Boughzala, 04], un réseau est un ensemble d'organisations qui sont en relation les unes avec les autres dans le but d'atteindre un objectif commun. De même, [Thorelli, 86] définit un réseau comme étant composé de deux firmes (ou plus), liées par des relations d'échange suffisamment fortes pour créer une sorte de sous marché contractuel dans le marché global où se confrontent l'offre et la demande. Notons par ailleurs, que la forme réticulaire de ce réseau se base sur les deux points suivants :

- La nature des partenaires (Sous-traitants/Donneurs d'Ordres, concurrents)
- Les mécanismes de coordination des relations (horizontale, verticale).

Afin de distinguer les différentes formes réticulaire d'un réseau, nous proposons d'étudier les notions d'entreprise virtuelle, entreprise réseau, réseau d'entreprises et entreprise étendue.

1.2.1.1 Entreprise virtuelle

L'entreprise virtuelle est un réseau temporaire d'entreprises unissant leurs moyens, leurs compétences et autres ressources, afin de réaliser un projet en commun pouvant dépasser la capacité de chaque unité considérée séparément [Probst *et al*, 96].

1.2.1.2 Entreprise réseau

L'entreprise réseau se base sur des transactions sur la chaîne de valeur du produit. La séquence des activités qui étaient au niveau d'une seule entreprise est distribuée entre plusieurs partenaires, chacun s'occupant des activités pour lesquelles il dispose de compétences spécifiques [Boughzala, 04]. L'entreprise réseau est donc un ensemble de relations verticales entre les différents intervenants de la chaîne de valeur afin de profiter au mieux des compétences clés de chacun.

1.2.1.3 Réseau d'entreprises

Le réseau d'entreprises est un ensemble de relations bilatérales basées sur une coopération horizontale entre partenaires anciennement concurrents qui ont choisi de coopérer à plus ou moins long terme sur des projets en commun [Boughzala, 04]. Cette forme réticulaire consiste donc à combiner les ressources de plusieurs acteurs pour mieux répondre au besoin des marchés, dans ou hors d'une aire géographique.

1.2.1.4 Entreprise étendue

L'entreprise étendue englobe tous les différents types de partenaires : les sous-traitants, les fournisseurs et les concurrents. C'est une superposition entre les deux formes : entreprise réseau et réseau d'entreprises. Par conséquent, son architecture est basée sur les deux différents types de coopération : verticale et horizontale.

Faisons remarquer que le concept d'entreprise virtuelle ne doit pas être confondu avec l'entreprise réseau ou le réseau d'entreprises, ni même avec l'entreprise étendue. En effet, l'entreprise virtuelle a souvent une durée de vie relativement courte. A titre d'exemple, nous pouvons considérer quelques entreprises qui se réunissent temporairement pour remplir un contrat spécifique du gouvernement, formant ainsi une entreprise virtuelle dont la durée est égale à la durée du contrat. Cette entreprise est alors dissoute au terme du contrat. La notion d'entreprise réseau diffère de la notion du réseau d'entreprises du fait que la première est basée sur l'ensemble de relations verticales⁵, faisant ainsi intervenir les partenaires du type fournisseur et sous-traitant. En revanche, la deuxième est basée sur les relations horizontales⁶ faisant intervenir des partenaires concurrents.

L'entreprise étendue est basée sur des relations faisant intervenir tous types de partenaires : sous-traitants, fournisseurs et concurrents. Dans ce cas, l'entreprise devient un système réparti sur plusieurs entreprises, en relations étroites pour un certain type de fonction ou de service. Il s'agit de réseau distribué au sens où plusieurs entreprises distinctes (dont les structures juridiques et financières, les identités, les fonctionnements, les objectifs, les personnels sont distincts) en constituent les nœuds [Bouchriha, 02].

En résumé, l'entreprise virtuelle est un réseau où les partenaires unissent temporairement, leurs moyens, leurs compétences afin de réaliser un projet commun. L'entreprise réseau est un réseau où les intervenants d'une chaîne de valeur coopèrent afin d'exploiter au mieux des compétences de chacun. Le réseau d'entreprises est un ensemble de relations bilatérales où les partenaires anciennement concurrents coopèrent pour mieux répondre aux besoins des marchés. Enfin, l'entreprise étendue est une superposition de l'entreprise réseau et du réseau d'entreprises. Le réseau logistique sur lequel porte notre étude regroupe l'ensemble des avantages des formes de réseau cités précédemment. En effet, dans notre étude, les partenaires coopèrent dans le but d'atteindre un objectif commun qui est la répartition des différents Appels d'Offres venant des clients tout en respectant les intérêts de chacun. Ainsi, dans ce type de réseau la coopération entre les différents partenaires est basée sur la confiance mutuelle. Pour situer notre contribution, nous proposons dans ce qui suit les différentes définitions d'un réseau logistique.

⁵ Elles sont généralement analysées du point de vue des échanges producteurs – utilisateurs, ou des contrats de sous-traitance passés entre donneur d'ordre et des entreprises de moindre importance.

⁶ Elles sont bâties entre concurrents ayant décidé de collaborer ensemble pour atteindre un objectif commun.

I.2.2 Définitions d'un réseau logistique

[Poulin *et al*, 94] définissent un réseau logistique comme étant un graphe orienté. Les sources d'approvisionnement, les usines, les centres de distribution appartenant à l'entreprise ou à des clients, sont représentés par des nœuds et les flux entre les infrastructures sont stylisés par des liens entre les nœuds. Dans le même ordre d'idée, [Riane *et al*, 05] définissent le réseau logistique comme un ensemble de composantes dont chacune a une mission spécifique consistant à approvisionner, transformer ou encore acheminer le produit vers le marché final. Pour eux, un réseau logistique peut être représenté par des nœuds et des arcs. Les nœuds correspondent à des activités (approvisionnement, production, distribution et vente) et les arcs correspondent à des flux de matières et d'informations. [Montreuil et Lefrançois, 96] définissent un réseau manufacturier comme étant composé d'un ensemble de nœuds et d'arcs. Les nœuds représentent des unités manufacturières capables de réaliser des tâches⁷ et les arcs des relations et des flux entre les nœuds.

Les définitions relatives à la notion de réseau logistique présentées ci-dessus tendent toutes vers le même sens. Parallèlement à ces définitions et toujours dans le même ordre d'idée, nous définissons un réseau logistique comme suit :

Un réseau logistique est une structure définie par les relations induites par les flux logistiques au sein d'un ensemble interconnecté de partenaires industriels (Cf Figure I.2.1).

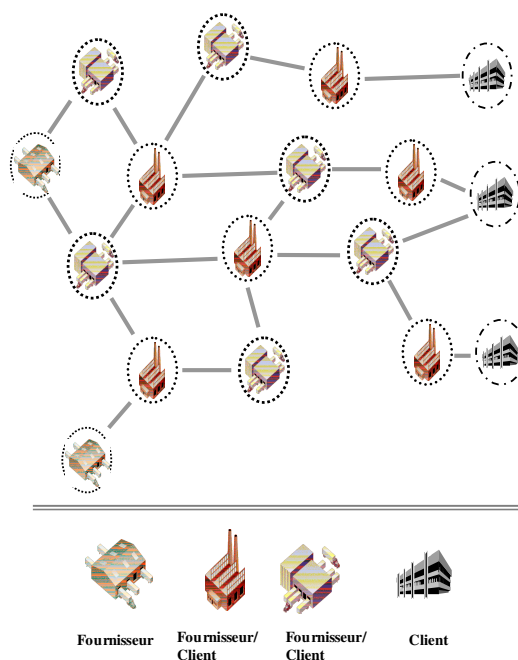


Figure I.2.1 Réseau logistique

Dans une telle configuration (Cf Figure I.2.1), le souci d'une entreprise faisant partie de ce réseau logistique ne concerne pas uniquement l'amélioration de sa gestion interne mais englobe aussi sa capacité à pouvoir veiller sur la rentabilité et l'efficacité des relations la liant avec les autres entreprises. C'est dans ce contexte que vient s'ajouter notre contribution via cette étude. Nos travaux de recherche s'inscrivent dans le cadre du pilotage d'un réseau logistique en vu d'améliorer les relations Clients/Fournisseurs. Avant de présenter notre

⁷ Une tâche est définie comme une fonction de transformation sur le produit. Cette transformation peut agir sur la forme du produit, sur son emplacement, sur le temps, sur son statut et surtout sur son coût.

méthodologie, nous proposons dans ce qui suit un état de l'art sur des travaux dédiés aux réseaux de chaînes logistiques et particulièrement aux relations Clients/Fournisseurs au niveau de ce type de réseau.

I.2.3 Amélioration de la relation Clients/Fournisseurs

Convaincues que la création de bonnes relations industrielles est la clef d'une meilleure productivité, de plus en plus de travaux de recherche se concentrent sur l'amélioration de ces relations. L'objectif étant d'assurer la durabilité des relations liant les clients avec leurs fournisseurs. On citera les travaux de [Corrégé, 01] qui a décrit dans son étude, comment un client (entreprise) et ses fournisseurs (entreprises) ont pu passer historiquement de relations peu organisées et non contractualisées à des liens structurés s'inscrivant dans la durée et dans le cadre d'un réseau hiérarchisé conduisant à la constitution d'une entreprise étendue. L'auteur a pu démontrer que la pérennité des relations Clients/Fournisseurs dans une dynamique partenariale n'est possible qu'en s'appuyant sur un ensemble d'outils tels : la contractualisation des relations, le développement d'un rapport de confiance entre les partenaires et la mise en œuvre d'un système d'évaluation des fournisseurs pertinents cohérents et motivants.

[Holmlund-Rytkönen et Strandvik, 05] ont prouvé à travers leur travaux que la confiance, la mutualité et les buts partagés sont les composants principaux d'une forte relation Clients/Fournisseurs. La négligence des relations Clients/Fournisseurs semble être directement liée à la durabilité de celles-ci. En effet, elle implique un affaiblissement de ces dernières s'il n'y a aucune intervention et coopération entre les entreprises.

De leur côté, [Cousins et Spekman, 03] ont noté que la concurrence ne doit pas avoir lieu entre deux entreprises mais entre les chaînes logistiques auxquelles ces deux entreprises appartiennent. Pour cela, l'entreprise ne doit pas ignorer son environnement, autrement dit, ses partenaires au niveau de la chaîne de valeur. Pour les auteurs, le souci de l'amélioration de la production et la satisfaction du consommateur est la clé source pour atteindre une réelle compétitivité. A partir de là, ils se sont focalisés sur l'étude du comment et du pourquoi de l'évolution de la fonction achat. Dans le même contexte, les travaux de [Harri, 02] qui s'est intéressé à l'influence des relations Clients/Fournisseurs sur le développement de la gestion de coût inter-organisationnel.

En plus de tous ces travaux, nous pouvons citer les travaux de [Toolea et Donaldson, 02] qui ont étudié la performance de la relation Clients/Fournisseurs et [Smart et Harrison, 03] qui eux, ont étudié l'impact des enchères sur la relation Clients/Fournisseurs. Dans la même perspective nous citons également les travaux de [Nesheim, 01] [Brun et Portioli-Staudacher, 00].

Par ailleurs la négligence des relations Clients/Fournisseurs implique la dégradation de ces dernières. En effet, l'établissement de relations fortes et rentables nécessite l'intervention, la contribution et la coopération entre les membres faisant partie de ces relations. Dans ce contexte, des études se sont plutôt focalisées sur la définition d'un ensemble de concepts permettant d'assurer une meilleure coopération inter-entreprises [Lauras, 04], [Telle, 03] [Bisignano et Palermo, 03] [Brito et Roseira, 03].

De manière générale toutes ces analyses tentent à la fois de satisfaire le client et de répondre aux objectifs des entreprises qui sont considérées reliées du fait qu'elles participent ou interviennent dans la réalisation du produit demandé par ce client. Elles considèrent en particulier les relations Clients/Fournisseurs dans lesquelles l'entreprise est impliquée dans une chaîne logistique représentant le flux d'un produit donné. A titre d'exemple, la chaîne logistique représentée sur la Figure I.2.2, décrit le flux de produit demandé par le client C. La

matière première nécessaire à la réalisation de ce produit est fournie par le fournisseur E31 pour l'entreprise E21. L'entreprise E21 fabrique le produit puis, envoie le produit fini à l'entreprise distributeur E11. L'entreprise E11 distribue le produit fini aux clients C. Au final, le flux du produit considéré traverse les entreprises E31, E21 et E11. Les travaux cités ci-dessus, s'intéressent à l'amélioration des relations liant les différentes entreprises du flux de produit (E11, E21 et E22 dans l'exemple) afin d'assurer la satisfaction du client final (C dans l'exemple). Or, les entreprises appartenant à la chaîne logistique considérée dans cet exemple à savoir : E11, E21 ou E22, peuvent éventuellement appartenir à d'autres chaînes, par exemple l'entreprise E21 participe à la réalisation du produit A et du produit B (Cf Figure I.2.3), d'où la question : comment assurer la coopération au niveau du réseau de chaînes logistiques composé d'entreprises (Fournisseurs ou Clients et/ou Fournisseurs) se trouvant au croisement de plusieurs chaînes logistiques et n'impliquant pas nécessairement les mêmes acteurs, autrement dit, traversées par plusieurs flux de produits ? En d'autres termes, comment parvenir à faire coopérer tous les fournisseurs potentiels du réseau faisant partie d'un même partenariat d'entreprises ?

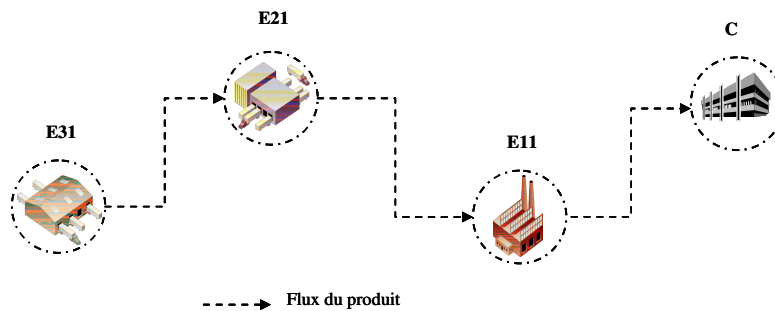


Figure I.2.2 : Représentation de flux d'un produit

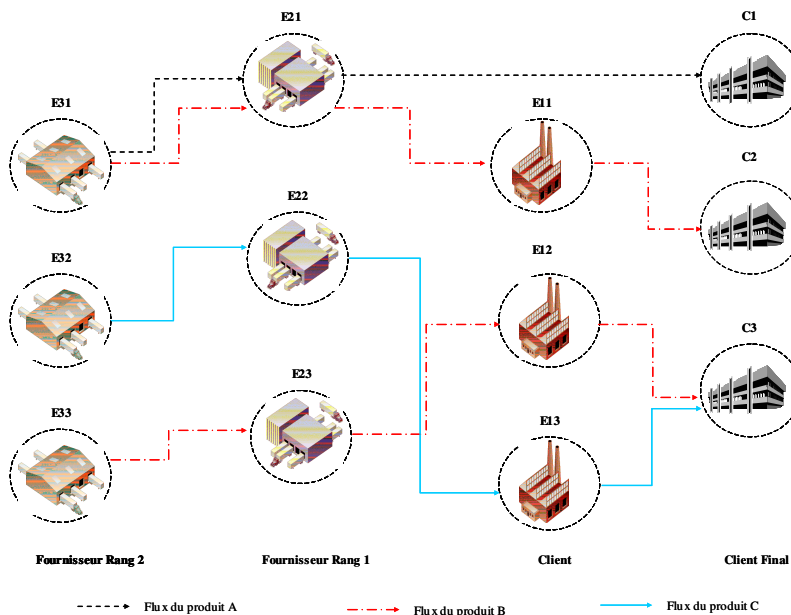


Figure I.2.3 : Représentation d'un réseau de chaînes logistiques

I.2.4 Position du problème

De nos jours, dans les réseaux logistiques les entreprises entretiennent des relations préétablies et immuables au sens où les chaînes logistiques au sein de ce réseau sont linéaires

et figées. Chaque client a ses propres fournisseurs, auprès desquels il lance ses commandes. Chaque fournisseur connaît par avance les types de commandes de son client. A titre d'exemple, sur la Figure I.2.3, le client C1 s'approvisionne en produit A chez le fournisseur E21. Le fournisseur E21 s'approvisionne en matière première chez le fournisseur E32 en vue de la réalisation du produit A. Ainsi, le fonctionnement des réseaux logistiques actuels est basé sur une approche classique⁸. Cette approche laisse apparaître de nombreux problèmes au sein des partenaires allant jusqu'à la dégradation des relations entre ces derniers, voire la destruction de tout le réseau. Plusieurs comportements des partenaires peuvent être sources de ces problèmes, nous citons dans la suite deux parmi les plus fréquents :

- Le client commande une quantité plus importante : Dans l'exemple précédent, supposons que le client commande une quantité supplémentaire sur le produit A. Le fournisseur E21 reçoit alors une commande plus importante, ce qui peut entraîner un dépassement de capacité. De même, le problème se répercute sur le fournisseur E31 qui, en conséquence, recevra une commande supérieure à ce qui était prévu. Le client voit sa commande arriver en retard.
- Dysfonctionnement au niveau d'un des fournisseurs : Un des deux ou les deux fournisseurs peuvent ne pas être en mesure de traiter la commande du client (en raison par exemple d'un dysfonctionnement au niveau des machines), dans ces conditions, le client est soumis aux contraintes des fournisseurs et il recevra sa commande avec du retard.

Les problèmes soulevés dans les réseaux logistiques actuels remettent en cause la fragilité des relations liant les différents partenaires du réseau, conséquence du comportement opportuniste de la plupart des partenaires. Pour cela, nous proposons dans cette étude une nouvelle approche permettant d'améliorer les relations Clients/Fournisseurs, basée sur l'auto-organisation où tous les partenaires (Clients/Fournisseurs), communiquent via Internet, négocient selon un protocole de communication inspiré de Contract-Net pour répondre au mieux aux attentes des clients et pour exploiter au mieux les capacités des fournisseurs (Cf Figure I.2.4). Ainsi, les différents partenaires font partie d'un réseau logistique auto-organisé, que nous définissons comme suit :

Un réseau logistique auto-organisé est un réseau logistique⁹ où l'organisation des flux découle uniquement des relations directes de coordination et de coopération existant entre les fournisseurs.

Contrairement aux réseaux logistiques actuels où les chaînes sont figées, dans le réseau logistique auto-organisé que nous proposons, une chaîne est construite à chaque fois qu'il y a une commande à réaliser. En effet, lorsque le client lance un Appel d'Offre, les fournisseurs potentiels rentrent en phase de négociation et le choix de la meilleure réponse se fait par émergence en fonction de l'état réel du fournisseur. Ce type de réseau est bâti sur le partenariat¹⁰. Il s'agit en quelque sorte d'un réseau logistique optimisé au sens de [Poirier et Reiter, 01], dans lequel il faut sensibiliser et engager les hommes de la logistique dans une démarche de progrès permanent, faite d'amélioration continue dans le but de maximiser le potentiel économique. Pour les entreprises clientes, il s'agit, au-delà de l'optimisation interne de leur production mais en liaison avec elle, d'optimiser désormais leurs relations avec leurs fournisseurs. Pour chacun des fournisseurs, il s'agit de se positionner par rapport aux différents clients et de démontrer leur capacité à s'intégrer dans un besoin de soutien tout en

⁸ L'approche classique a été définie en page 10.

⁹ Réseau logistique au sens donné en paragraphe I.2.2.

¹⁰ C'est le catalyseur qui crée le réseau logistique et le fait fonctionner. Une condition importante au bon fonctionnement de ce type de relation est l'existence d'une confiance entre l'ensemble des partenaires.

laissant chacun jouer ses propres atouts [Ounnar et Pujo, 01]. Le partage des données aux différents stades du réseau et les informations générées par chaque membre du réseau alimenteront les efforts communs. Le réseau logistique obtiendra ainsi, des plannings souples. Les produits ad hoc respecteront les délais de livraisons. Les circuits de livraison pourront être établis avec davantage de précision et de souplesse, sans coût supplémentaire. Les systèmes d'information high-tech seront généralisés et les membres du réseau travailleront dans un climat de concert, dans le cadre d'une stratégie globale, au lieu de chercher des avantages locaux au détriment des autres acteurs du réseau. Notons par ailleurs, que l'application de l'approche que nous proposons recommande une certaine confiance entre les différents partenaires du réseau. Un second cas d'application de notre approche est également possible au niveau d'une entreprise multi-sites.

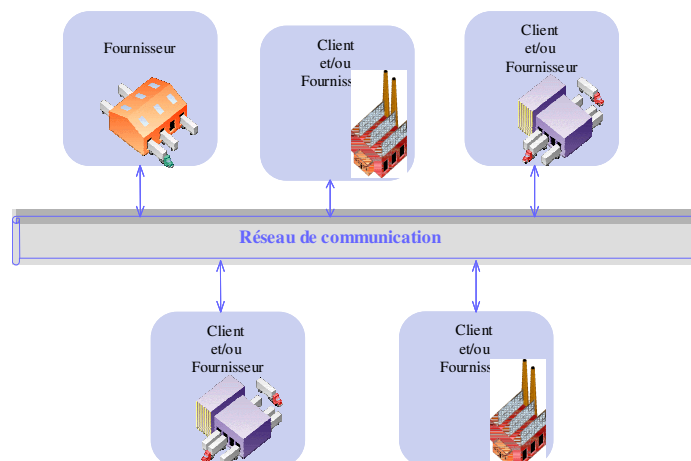


Figure I.2.4 : Représentation d'un réseau logistique auto-organisé

Au sein du réseau défini ci-dessus, nous nous sommes intéressés au pilotage tactique/opérationnel de ce type de réseau en vu d'améliorer les relations Clients/Fournisseurs.

Toutefois, dans une coopération entre entreprises, la décision peut être centralisée ou décentralisée. Dans le premier cas, un des partenaires dispose du droit de décider pour les autres ; dans le second, la prise de décision est totalement collective et repose sur une négociation de l'ensemble des partenaires [Ounnar et Pujo, 01] [Peillon, 01], telle est la structure de décision sur laquelle nous travaillons. Nous proposons d'améliorer la relation Clients/Fournisseurs par une décentralisation du système de pilotage de la relation liant chacun de ces partenaires [Ounnar et Pujo, 01]. Pour cela, nous nous sommes intéressés à une structure de pilotage hétérarchique/décentralisée. La décentralisation de la décision ainsi proposée est basée sur l'approche holonique. Les différentes structures de pilotage existantes ainsi que la justification du choix de la structure de pilotage retenue sont présentées dans la section suivante.

I.3 Apport de la structure hétérarchique/décentralisée dans le pilotage d'un réseau logistique

Nos travaux de recherche rentrent dans le cadre du pilotage tactique/opérationnel d'un réseau logistique en vu d'améliorer la relation Clients/Fournisseurs. La problématique considérée concerne les entreprises appartenant à un même réseau logistique et pouvant éventuellement être engagées dans plusieurs chaînes logistiques. Dans cette perspective, nous présentons dans la présente section un rappel sur le concept de pilotage ainsi qu'une synthèse des différentes définitions de ce concept. Puis nous décrivons les différentes structures de pilotage, les plus

utilisées dans la pratique. Les avantages et les inconvénients de chaque structure sont mis en évidence. Une comparaison entre les différentes structures va nous permettre d'effectuer le choix de la structure la plus appropriée à notre travail de recherche.

I.3.1 Concept de pilotage

Le pilotage a été largement abordé dans la littérature notamment dans le cadre des systèmes de production. Reste à mettre en évidence l'intérêt de ce concept dans le cadre de la gestion de réseaux logistiques, tel est l'objectif de cette section. Dans un premier temps, nous introduisons l'historique du concept de pilotage et son utilisation dans les milieux industriels ces dernières années, puis dans un deuxième temps, nous présentons les définitions du pilotage. Enfin, nous définissons le cadre de l'utilisation du pilotage dans le domaine de la gestion de réseaux logistiques.

I.3.1.1 Historique

Le concept de pilotage est apparu en 1483 pour la manœuvre des embarcations. Le mot pilotage a été défini en 1611 comme l'action ou l'art de diriger un navire dans un port et cet usage subsiste aujourd'hui. Avec la naissance de l'aviation, l'usage du terme est associé à l'action ou l'art de diriger un aéronef. Plus récemment, les années 1960 ont vu une apparition simultanée de ce terme dans les domaines scientifiques du contrôle de gestion de la théorie des systèmes, ceci afin de désigner l'action ou l'art de diriger une entreprise [Pujo et Kieffer, 02]. A ce niveau, des travaux ont été réalisés notamment dans le pilotage des systèmes de production [Pujo et Kieffer, 02] [Neubert, 97]. Récemment avec l'apparition du phénomène de coopération inter-entreprises, notamment dans le domaine de la gestion des chaînes logistiques, il s'est avéré que ce concept de pilotage peut s'étendre au niveau des relations inter-entreprises pour permettre la mise en place d'une coopération efficace. Comme l'a signalé [Segrestin, 03]: "étant donnée l'incertitude du processus et les résultats d'une coopération au niveau de la recherche et du développement, de nouvelles formes de pilotage doivent être adoptées pour prendre en compte les apprentissages et les évolutions du contexte au cours du processus de coopération". Convaincues de cette analyse, les recherches se sont focalisées sur l'analyse des processus de coopération pour pouvoir mettre en place des outils d'aide au pilotage de ces processus. Parmi ces travaux de recherche nous citons les travaux de [Peillon, 01] qui portaient sur l'analyse du pilotage des groupements de PME. [Lauras, 04] qui a travaillé sur le pilotage des relations entre entités qui composent la chaîne logistique. Pour lui, l'élément central de ce type de pilotage se situe dans la capacité à structurer et à animer un réseau d'acteurs en terme de communication, coopération, coordination ou collaboration. A travers son étude sur les processus de coopération [Segrestin, 03] a pu montrer le caractère innovant des régimes de conception et la difficulté de piloter ces coopérations.

I.3.1.2 Définitions

Selon le dictionnaire Hachette 2003, piloter c'est mener à bien une opération, diriger un groupe, commander. [Filipas *et al.*, 01] définissent le pilotage comme étant un mode de contrôle d'organisation nécessaire quand l'environnement devient incertain et dans lequel l'évaluation de la performance repose sur l'apprentissage organisationnel. Dans le même ordre d'idée, nous trouvons la définition de [Peillon, 01] qui considère le concept de pilotage comme l'ensemble des moyens mis en œuvre par les entreprises partenaires pour coordonner efficacement leurs actions et leurs décisions au sein de la coopération. Cela consiste à mettre en œuvre un ensemble de modes de coordination permettant aux partenaires de la coopération de limiter les risques potentiels qu'ils encourent et de maximiser les bénéfices qu'ils sont susceptibles d'en retirer. De même, [Pujo et Kieffer, 02] associent le pilotage dans une

organisation à l'ensemble des tâches accomplies par l'entité décisionnelle dirigeant cette organisation et permettant d'assurer la cohérence de son fonctionnement. De son côté [Trentesaux, 02] note que le pilotage consiste à décider dynamiquement des consignes pertinentes à donner à un système soumis à perturbation pour atteindre un objectif donné décrit en termes de maîtrise de performance. Pour [Lorino, 03] le concept de pilotage signifie : définir et mettre en œuvre des méthodes qui permettent d'apprendre collectivement à agir ensemble de manière performante et à agir ensemble de manière de plus en plus performante.

Le pilotage de la chaîne logistique se traduit par la gestion des différents flux la composant à savoir : le flux physique, informationnel, financier, et décisionnel de façon optimale. Dans un tel contexte, [Ounnar et Pujo, 01] définissent le pilotage comme étant le moyen d'atteindre les objectifs communs aux Clients et aux Fournisseurs et de réagir au bon moment, à toute perturbation interne ou externe. Le pilotage de la relation nécessite donc des moyens d'actions développés par l'ensemble des partenaires pour atteindre des objectifs communs aussi bien au niveau opérationnel qu'au niveau organisationnel. Ce pilotage nécessite une coordination et une coopération entre les différents partenaires ; la coordination des décisions est obtenue par la coopération des différents acteurs, coopération qui repose sur une négociation entre l'ensemble des partenaires potentiels pour atteindre leur objectif commun. Cependant, le recours à un tel pilotage nécessite une structuration de ce dernier. Cette structuration facilitera d'une part, la généralisation du pilotage au niveau de tout le réseau de chaînes logistiques et d'autre part, la formalisation du processus de prise de décision. Nous pouvons recenser plusieurs structurations possibles pour le pilotage. Elles se positionnent toutes par rapport à la décentralisation de la capacité de décision [Pujo et Kieffer, 02] [Trentesaux, 02].

[Trentesaux, 02] considère deux types de structure de pilotage : centralisé et non centralisé. La distinction entre les deux types tient à l'unicité ou la multiplicité de systèmes capables d'exercer un pouvoir de décision. Nous donnons dans la suite une description de ces différentes structures.

I.3.2 Structures de pilotage

I.3.2.1 Structure centralisée

I.3.2.1.1 Description

Les organisations centralisées font l'hypothèse de l'existence d'une entité qui a une vision globale des caractéristiques des flux sur l'ensemble de la chaîne logistique. Cette entité supervise alors toutes les activités et prend les décisions globales devant être respectées par l'ensemble des partenaires. Cette centralisation des décisions permet d'assurer leur cohérence et de garantir une performance globale [Despontin, 04] (Cf Figure I.3 1)

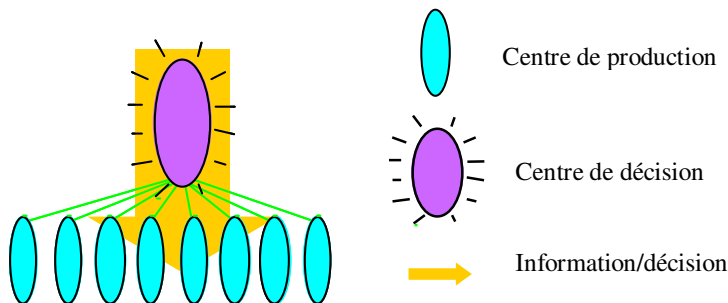


Figure I.3 1 : Structure centralisée [Pujo et Kieffer, 02]

I.3.2.1.2 Avantages et inconvénients

Un inconvénient des structures centralisées est qu'elles requièrent une totale transparence des acteurs, ceux-ci devant communiquer à l'entité superviseur les caractéristiques de leur production, de plus, elles imposent que les acteurs respectent les décisions prises par le superviseur et n'autorisent pas de remise en cause de ces décisions [Despontin, 04]. Cette hypothèse semble peu acceptable dans un contexte réel d'application, où le pouvoir de décision est réparti de façon presque homogène sur l'ensemble des acteurs de la chaîne.

Au regard des inconvénients soulevés ci-dessus concernant la structure centralisée et afin d'être plus réaliste vis-à-vis du fonctionnement des chaînes logistiques de nos jours, nous présentons dans la section suivante la structure non centralisée. Celle-ci s'est manifestée à travers plusieurs types de structures où le contrôle de la décision peut être hiérarchique, ou hétérarchique.

1.3.2.2 Structure non centralisée

Contrairement à la structure centralisée présentée précédemment, qui est caractérisée par l'unicité du pouvoir de décision, la structure non centralisée est basée sur la répartition du pouvoir de décision sur un ensemble de centres de décision. D'un point de vue agencement entre ces centres de décision, les travaux qui portent sur les structures de pilotage non centralisées distinguent deux structures différentes selon que le type d'agencement est vertical ou horizontal [Duffie et Prabhu, 96] :

- Un mécanisme d'agencement horizontal fait référence à l'absence de toute hiérarchie entre les centres de décisions. Cet agencement peut être qualifié de structure "hétérarchique" où les centres de décision sont au même niveau hiérarchique "i".
- Un mécanisme d'agencement vertical qualifié de structure hiérarchique. Cette structure est caractérisée par des relations uniquement de type maître/esclave.

Dans un contexte similaire nous trouvons également une typologie fondée sur le degré de hiérarchisation de l'agencement considéré par rapport au degré d'hétérarchisation [Trentesaux, 02]. L'auteur distingue alors les agencements purement verticaux, les agencements mixtes (horizontaux/verticaux) et les agencements purement horizontaux.

I.3.2.2.1 Structure hiérarchique

Dans la structure hiérarchique chaque niveau coordonne les centres de décision du niveau inférieur et ce jusqu'au niveau le plus bas, chaque niveau a une relation de dépendance vis-à-vis du niveau supérieur et une relation de dominance vis-à-vis du niveau inférieur [Pujo et Kieffer, 02]. Les centres d'un même niveau n'échangent pas directement d'informations entre eux et disposent de peu de marge d'autonomie. L'architecture ainsi définie repose sur une structure d'arborescence (Cf Figure I.3.2). De ce fait, les structures hiérarchiques sont bien adaptées lorsque la présence de coordinateur est nécessaire. Par contre, il reste encore des structures où les coordinateurs jouent un rôle secondaire et rare, notamment quand les centres de décision sont géographiquement séparés (impliquant un temps de communication non négligeable) et disposent d'une autonomie de fonctionnement importante [Da Silveira, 03], ce qui est le cas des différents acteurs d'un réseau de chaînes logistiques. Ainsi, l'application de cette structure au niveau de réseau de chaînes logistiques est peu appréciable.

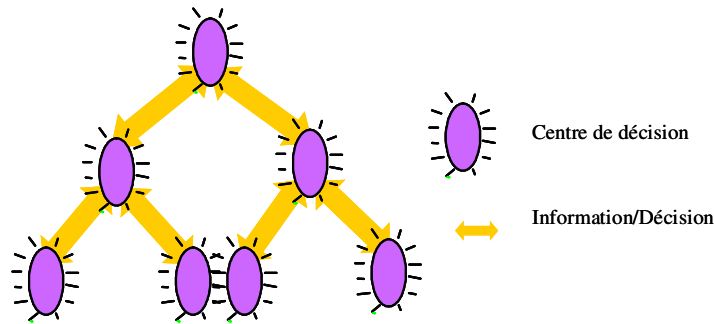


Figure I.3.2 : Structure hiérarchique [Pujo et Kieffer, 02]

I.3.2.2.2 Structure hétérarchique

Le substantif hétérarchie (en anglais : Heterarchy) et son adjectif hétérarchique (en anglais : heterarchical) constituent des néologismes à la fois en français et en anglais. Ce terme est formé à partir de deux termes Grecs : heteros (autre) et Arckhein (commander), signifiant ainsi à l'origine "commandement par les autres". Proposée par [Duffie et Bollinger, 80], la structure hétérarchique contrairement à la structure hiérarchique décrite précédemment, permet la description d'une structure de commande relâchant la relation maître/esclave entre les centres de décision et permettant la communication entre les centres de décision de même niveau. La coopération entre les centres de décision est ainsi gérée par l'intermédiaire d'un processus de négociation. La notion centrale de cette structure est la poursuite de la pleine autonomie locale pour réduire la complexité des modèles en éliminant les centres de supervision [Da Silveira, 03].

Cette structure offre un certain nombre d'avantages auxquels [Pujo *et al*, 99] [Trentesaux, 02] se sont intéressés. Parmi eux, nous pouvons noter l'adéquation d'une telle structure avec les nouvelles structures de production. Cette structure trouve bien son atout dans le cadre d'une entreprise en réseau, entreprise virtuelle ou entreprise étendue où les différentes entreprises liées les unes aux autres par un objectif commun de production nécessitent par conséquent une coopération, une négociation et une communication entre elles. Dans ce cadre, l'organisation est telle que chaque entreprise n'est plus une île isolée et les structures verticales conventionnelles doivent laisser la place à des structures horizontales mettant en œuvre des mécanismes de coopération [Azevedo et Sousa, 00], [Burlat et Boucher, 01].

Les deux structures, non centralisées, présentées ci-dessus sont relatives aux topologies de structures de pilotage selon la vue organique. Les topologies relatives aux structures de pilotage peuvent être considérées selon trois différentes vues : organique, évolutionniste et fonctionnelle.

- La vue organique : cette vue décrit qui fait quoi, comment et avec qui. Les concepts relatifs à la vue organique d'une structure de pilotage sont principalement ceux d'agencement. Dans les structures de pilotage non centralisé, tel qu'on vient de le voir, deux types de structures peuvent être mises en évidence au niveau organisationnel : hiérarchique et hétérarchique.
- La vue évolutionniste : la vue évolutionniste d'un système traduit son évolution, autrement dit, les changements opérés dans ce système sur une échelle de temps différente. Les concepts relatifs à la vue évolutionniste d'un système sont ceux d'évolution, d'adaptativité et d'auto-organisation. Dans le cadre de pilotage, la vue évolutionniste se traduit par l'évolution de la structure organisationnelle considérée vers une autre.

- La vue fonctionnelle : dans le cadre de pilotage, cette vue permet de décrire ce que fait et doit faire chaque centre de décision défini dans la structure de pilotage ainsi considérée. A ce niveau, indépendamment des agencements et en se basant sur les types de fonctions mises en œuvre par les différents centres de décision, nous retrouvons dans [Pujo et Kieffer, 02] deux autres structures de pilotage : la structure distribuée et la structure décentralisée.

I.3.2.2.3 Structure distribuée

Le mécanisme de distribution consiste à scinder un objet et à répartir les sous objets différenciés au sein des centres de décision formant la structure considérée (vertical/horizontal) [Trentesaux, 02]. Ce point de vue rejoint celui de [Pujo et Kieffer, 02] qui considèrent que dans la structure de pilotage distribuée, le pouvoir est partagé entre plusieurs centres de décision pilotant chacun un centre de production ou de coordination. Ces centres sont dotés chacun de capacité d'autonomie et de coopération et qui communiquent entre eux afin de mener à bien la production planifiée.

La structure de pilotage distribuée étant jugée plus adaptative aux nouvelles architectures organisationnelles (entreprise virtuelle, chaîne logistique et réseau d'entreprises), de par sa capacité à répartir davantage la coopération entre les différents acteurs d'une organisation sans avoir à usurper le pouvoir de chaque acteur, des travaux abondants dans la littérature l'ont préconisée, notamment dans le domaine de la gestion de chaînes logistiques. Parmi ces travaux, nous pouvons citer [Telle, 03] qui a utilisé la structure distribuée dans le cadre de réalisation d'un outil permettant l'analyse des actions de coopération au sein de la chaîne logistique à travers l'analyse de la performance de la relation entre le donneur d'ordres et son fournisseur. Pour cela, il a modélisé la chaîne logistique en utilisant le système multi-agents dans lequel les interactions entre agents correspondent aux flux d'informations et de produits. Il a modélisé alors l'entreprise indépendamment de sa nature (fournisseur, client, sous-traitant, etc.) comme un agent composé de quatre sous-agents représentant des fonctions essentielles de l'entreprise : la planification, l'approvisionnement, la production et la distribution. La structure distribuée a été également utilisée par [Despontin, 04] lors de son travail de thèse qui portait sur le problème d'aide à la décision de la coopération entre deux partenaires d'une chaîne logistique, dans le cadre de la production à la commande. Dans la même perspective, nous trouvons les travaux de [Monteiro, 01] [Huguet, 94] [Camalot, 00].

I.3.2.2.4 Structure décentralisée

Plusieurs autres travaux s'accordent à considérer que la décentralisation est liée encore une fois à l'agencement horizontal [Pujo et Kieffer, 02], [Da Silveira, 03], [Boufaied, 03]. Nous pouvons citer également [Pujo *et al*, 99] qui affirment qu'une structure de pilotage décentralisée constitue un cadre applicatif d'une structure de pilotage distribuée dans le sens où il correspond à une organisation caractérisée par un agencement unique, totalement horizontal des entités, sans aucun niveau de contrôle hiérarchique supérieur (Cf Figure I.3.3).

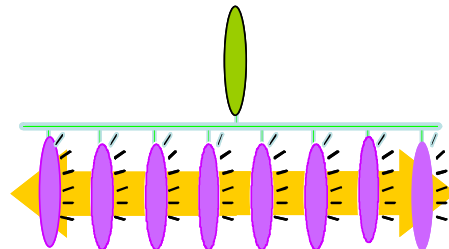


Figure I.3.3 : Structure décentralisée [Pujo et Kieffer, 02]

[Ounnar et Pujo, 01] considèrent qu'un système de décision gérant le fonctionnement d'un ensemble de constituants est dit décentralisé lorsque ces constituants organisent eux-mêmes leur propre fonctionnement sans la direction d'aucun centre de décision de niveau hiérarchique supérieur. Toutefois, l'abandon de ce lien de subordination n'est pas le seul facteur à considérer. En effet, il existe une relation forte entre le fonctionnement de chaque constituant et le rôle qui lui est assigné dans la prise de décision. Pour cela, une part ad hoc de l'organisation fonctionnelle y est implantée directement. Ils parlent ici de duplication fonctionnelle : certaines fonctions sont reproduites à l'identique sur tous les constituants, d'autres conservent un même objectif et sont adaptées à chaque type de constituants, mais toutes sont paramétrées selon le constituant correspondant.

[Trentesaux, 02] définit la décentralisation comme un mécanisme qui consiste à dupliquer autant que nécessaire un objet non nécessairement scalable, à particulariser les objets dupliqués en fonction des contextes spécifiques et à les affecter aux centres de décision formant la structure considérée (verticale/horizontale). Ce dernier point suppose la possibilité d'une décentralisation même au niveau d'une structure hiérarchique.

I.4 Choix d'une structure de décision

Tel que nous l'avons signalé au début de la section I.3, l'objectif de cette étude est d'apporter une amélioration à la prise de décision au niveau des relations Clients/Fournisseurs, notre contribution se situe en conséquence, à un niveau tactique-opérationnel (soit moyen-court terme) d'un réseau de chaînes logistiques. L'amélioration de ce type de relation fait émerger le problème de pilotage des différents flux (informationnels, physiques). Ce qui nous a amené à nous poser les questions suivantes : Qu'est ce que le pilotage ? Quelle est son évolution ? Quelles sont les différentes structures de ce pilotage ? Comment l'appliquer au niveau d'un réseau de chaînes logistiques ? Autant de questions auxquelles nous avons essayé de répondre dans le paragraphe I.3.2.

A l'issue de l'étude des différentes structures de pilotage et au regard du fonctionnement des organisations et des chaînes logistiques de nos jours, nous nous sommes orientés vers le choix de la structure hétérarchique/décentralisée que nous allons décrire ci-dessous.

I.4.1 Structure de décision hétérarchique/décentralisée

Au vue des différentes structures de pilotage présentées ci-dessus nous avons choisi d'utiliser la structure hétérarchique/décentralisée. Hétérarchique au sens proposé par [Trentesaux, 02] et décentralisée au sens proposé par [Pujo *et al*, 99]. L'hétérarchisation est liée à l'absence de relation maître/esclave, autrement dit, tous les centres de décision seront au même niveau de décision [Pujo et Ounnar, 01]. L'absence de centre de décision hiérarchique nous amène à doter chacun des partenaires du réseau logistique d'une capacité propre de prise de décision qui leur permet au travers d'un système de communication, d'élaborer par négociation et en temps réel, une solution de pilotage qui soit la plus efficace et la plus efficiente possible au niveau du système global [Pujo et Ounnar, 05].

La décentralisation se traduit par l'unicité de l'objectif que concourt l'ensemble des centres de décision considéré et qui consiste à réussir l'optimisation de tout le réseau par la satisfaction des différents partenaires de celui-ci. En d'autres termes, la duplication dont nous avons parlé dans le paragraphe I.3.2.2.4, concerne l'objectif poursuivi par chacun des centres de décision. Il s'agit donc de dupliquer autant que nécessaire l'objectif commun à tous les partenaires du réseau logistique.

La structure retenue est donc basée sur un ensemble de centres de décision dont les modes d'interaction s'appuient sur des liens horizontaux (liens hétérarchiques) (Cf Figure I.3.4). Ces

modes d'interaction sous-entendent les différentes formes de rapprochements industriels auxquelles les entreprises peuvent avoir recours au sein de leur partenariat, telles que : collaboration, coopération, communication, coordination et négociation. Pour chacun de ces modes d'interaction, une revue des différentes définitions est présentée dans le paragraphe suivant. Ces définitions nous seront utiles lors de la présentation de notre approche.

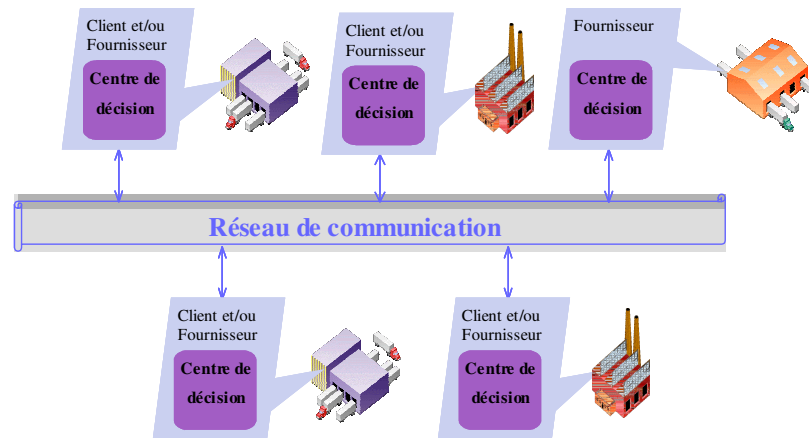


Figure I.3.4 : Représentation d'une structure hétéroarchitecturale/décentralisée au niveau de réseau logistique

I.4.2 Modes d'interaction

I.4.2.1 Coopération

I.4.2.1.1 Historique

Les années 1980 et 1990 sont aujourd'hui largement reconnues comme ayant représenté l'ère des coopérations inter-entreprises. On a en effet, assisté à cette époque à une multiplication du nombre d'accords de coopération, au niveau national et international, sous la pression à la fois de la globalisation des économies et de la complexité croissante du développement technologique [Peillon, 01]. Dans les années 1980, le recours à la coopération au niveau des grandes entreprises s'est imposé comme l'un des outils privilégiés pour obtenir de nouvelles parts de marché ou accéder à de nouvelles technologies. Dans les années 1990, les PME ont commencé elles aussi, à envisager cette notion de coopération comme une stratégie de développement, voire de survie.

I.4.2.1.2 Les enjeux de la coopération

A partir des années 1990, des théories et des études ont été menées afin d'expliquer ce concept de coopération inter-entreprises. De nombreux auteurs ont pu démontrer via leurs travaux, le bien fondé des accords de coopération.

[Holmlund-Rytkönen et Strandvik, 05] ont prouvé à travers leurs travaux que l'affaiblissement de la relation Client/Fournisseur semble être directement lié au manque de coopération entre les entreprises. Dans une optique similaire, [Faems et Van, 03] ont pu montrer qu'une entreprise qui s'engage dans la coopération inter-entreprises est mieux équipée pour créer de nouveaux produits ou améliorer des produits existants ainsi que les processus de production. Autrement dit, plus les entreprises s'engagent dans des arrangements coopératifs, plus leurs stratégies d'innovation sont efficaces. De son côté, [Despontin, 04] a noté que la gestion de la chaîne logistique pose un problème de décision distribuée où les contextes et les objectifs propres aux différents acteurs de la chaîne diffèrent, malgré les intérêts communs qu'ils

partagent du fait qu'ils participent tous à la production du même produit. Dans le but de résoudre ce problème de décision et de parvenir à un compromis satisfaisant, les acteurs doivent coopérer. Selon l'auteur, les objectifs les plus attractifs de cette coopération sont : la réduction des coûts sur l'ensemble de la chaîne logistique, une meilleure maîtrise des risques puisque la gestion des risques devient à ce moment collective, là où elle était individuelle, et enfin un dernier objectif qui est celui du pouvoir, en effet, à travers la coopération les différents acteurs fédèrent et unissent leurs forces.

I.4.2.1.3 Définitions

D'après le dictionnaire Hachette 2003, la coopération signifie : action de coopérer / travailler en coopération avec quelqu'un / travailler conjointement avec quelqu'un.

Dans la littérature il existe plusieurs définitions de la coopération. De manière générale toutes ces définitions se déclinent dans le même sens. On citera [Peillon, 01] qui considère l'accord de coopération comme étant le résultat de la combinaison de deux ou plusieurs entreprises légalement indépendantes, dont chacune est caractérisée par une histoire, une stratégie, et contraintes particulières. [Telle, 03] définit la coopération comme une forme de relation qui correspond à la formalisation des processus d'échanges périodiques et / ou de traitements (par exemple les processus collectifs d'élaboration et d'intégration de prévision). Pour [Despontin, 04] la notion de coopération est assimilée à une action de prise de décision collective distribuée en vue de synchroniser les actions réparties chez les différents partenaires d'une chaîne logistique.

I.4.2.2 Coordination

Au sein de la coopération, les partenaires doivent coordonner leurs actions et leurs décisions. Il existe plusieurs définitions de la coordination ; presque toutes tendent vers le même ordre d'idée. [Brun et Portoli-Staudacher, 00] définissent la coordination comme étant le processus de gestion des inter-dépendances entre les activités. Pour [Pujo et Kieffer, 02] la coordination vise à assurer un accord temporel entre des entités à l'occasion d'une même action nécessitant leur participation collective, mais devant maintenant s'inscrire sur toute la durée de l'action. [Telle, 03] associe la définition de la coordination à celle de la formalisation des processus d'échanges périodiques et/ou permanents de données (mis en œuvre par exemple lors d'utilisation d'outils de type workflow). De son côté, [Lauras, 04] définit la coordination de la SCM (Supply Chain Management) comme étant le pilotage au niveau de chaque entité de la chaîne logistique. La coordination de la SCM s'appuie sur des variables de décision de planification (agencement réseau? adéquation charge/capacité et solution?), utilise des technologies de l'information et s'inscrit dans le cadre de processus établis. Il s'agit finalement de définir les modalités de réalisation effectives des objectifs. Dans ses travaux de recherche [Despontin, 04] lie la coordination à la coopération, elle considère que la coordination est l'un des aspects qui compose la coopération. Pour elle, la coordination vise à synchroniser les actions dans le temps en exploitant un référentiel temporel commun et à gérer la cohérence des actions individuelles par rapport à l'ensemble des activités.

I.4.2.3 Collaboration

La définition de la notion de la collaboration est présentée dans la littérature selon deux formes différentes. Certains auteurs considèrent que cette notion est proche de la notion de coopération et donc ils la qualifient de synonyme de cette notion [Telle, 03]. D'autres la définissent comme étant l'une des principales formes qui constituent la coopération à côté de la notion de communication et de coordination [Despontin, 04].

1.4.2.4 Négociation et Communication

La structure hétérarchique/décentralisée préconisée dans cette étude pour le réseau logistique sous entend que la prise de décision est totalement collective. Pour cela une négociation entre les différents partenaires s'impose. Qui dit négociation, dit forcément communication. Dans notre approche les partenaires communiquent via Internet pour pouvoir négocier et faire émerger une décision collective.

En revanche, les partenaires du réseau peuvent être amenés à communiquer sans vouloir négocier. La communication est définie comme un simple échange d'information, d'idées, de connaissances. De ce fait, la communication entre les partenaires du réseau ne veut pas dire forcément une négociation. Dans les deux cas un moyen de négociation et/ou communication est indispensable. Dans notre approche la communication/la négociation est structurée autour du protocole de communication par envoi de messages, connu sous le nom de « réseau de contrat » (Contract-Net) [Smith, 81].

Jusqu'à très récemment plusieurs technologies sont apparues pour faciliter l'échange de données informatisées entre entreprises (EDI, EDI/XML, XML) et améliorer la coordination distribuée des prises de décision (Contract Net). L'EDI (Electronic Data Interchange) est caractérisée par la rapidité et la fiabilité qui englobent la sécurité des informations transmises. Néanmoins, l'EDI présente un inconvénient majeur de difficulté de mise en œuvre. XML (eXtensible Markup Language) en association avec l'EDI a permis aux entreprises de s'engager pleinement dans des processus électroniques. XML est un langage de description de données dérivé de SGML (Standard Generalized Markup Language). L'introduction d'XML et les technologies d'internet dans les organisations rend d'une part, l'utilisation et l'implémentation de l'EDI beaucoup plus facile et plus fiable et, d'autre part l'implémentation est moins coûteuse que celle de l'EDI traditionnel [ECOM, 03]. Pour aller plus loin dans l'interaction et l'échange d'informations et dans la prise de décision, il est nécessaire d'introduire des capacités de coordination et de négociation inter-entreprises. Sur ce point, Contract-Net est le protocole de base le plus connu. Il spécifie les interactions entre plusieurs partenaires pour une négociation entièrement automatisée et compétitive à travers l'utilisation de contrats. Il permet d'identifier chaque partenaire, de lui faire parvenir des données structurées selon des messages pré-définis et de vérifier qu'il n'y a pas eu d'erreurs de transmission.

Dans le cadre de nos travaux de recherche, nous avons opté pour la structure de pilotage hétérarchique/décentralisée. Cette structure suppose des modes d'interaction entre les différents acteurs qui se déclinent sous forme de communication, de négociation, de coopération et de coordination. Afin d'être cohérents avec l'objectif de nos travaux de recherche et au vu des définitions ci-dessus, nous retiendrons tout au long de ce travail les définitions suivantes : la coordination vise à assurer un accord temporel entre les entités à l'occasion d'une même action nécessitant leur participation collective, mais devant maintenant s'inscrire sur toute la durée de l'action [Pujo et Kieffer, 02]. La coopération se focalise sur l'organisation des tâches en terme de répartition, d'allocation et d'affectation des actions à des entités ressources en vue non pas d'atteindre un même objectif mais plutôt la recherche de solution permettant de l'atteindre [Pujo et Kieffer, 02]. La négociation correspond à la phase initiale de la coopération. Elle consiste en la définition commune des modalités d'affectation des actions à ces entités ressources. Ainsi, la phase de négociation est primordiale pour réussir la coopération. La communication se traduit par l'échange de données entre les différents acteurs [Telle, 03].

Le choix de la structure hétérarchique/décentralisée a été justifié à travers l'évaluation des différents avantages que cette structure apporte. Toutefois, en contrepartie de ces avantages,

cette structure présente une difficulté au niveau de sa modélisation et sa mise en œuvre [Trentesaux, 02]. En effet, de nombreux problèmes relatifs aux systèmes de pilotage hétérarchique ont été identifiés, tels l'apparition de conflits, d'asynchronisme entre entités [Hirsch *et al*, 95] et risque de blocage [Cantamessa, 97]. L'hétérarchisation induit donc une problématique de modélisation qu'il convient de caractériser puis de gérer [Trentesaux, 02]. La modélisation des systèmes de pilotage hétérarchique doit œuvrer de sorte que le comportement global de tout le système émerge du comportement local de chacune des entités de prise de décision. L'approche de modélisation choisie doit œuvrer à éliminer les problèmes de mise en œuvre de la structure hétérarchique, c'est-à-dire, l'occurrence d'apparition de conflits entre les différentes entités et le risque de blocage qui peut être engendré en conséquence [Cavalieri *et al*, 00]. Ce problème de modélisation remet en cause le problème de modélisation d'un ensemble de centres de décision. Dans ce contexte, la section suivante se propose d'étudier les différentes approches de modélisation existantes pour justifier le choix de l'approche holonique retenue.

I.5 Proposition d'un pilotage auto-organisé basé sur l'approche holonique d'un réseau logistique

L'analyse des différentes structures de pilotage effectuée dans le paragraphe I.3.2 et les objectifs évalués dans le cadre de notre travail nous ont conduit au choix de la structure hétérarchique/décentralisée. Ce choix implique la définition d'un système de pilotage composé d'un ensemble d'entités. Reste à savoir comment est faite l'organisation interne de ces entités. Pour cela, la présente section se propose d'une part, d'étudier les différentes approches de modélisation existantes des entités de pilotage pour justifier le choix de l'approche holonique retenue dans ce travail de recherche. D'autre part, après avoir opté pour le choix de l'approche holonique, nous allons mettre en évidence les apports d'une telle approche au niveau d'un réseau de chaînes logistiques sur lequel s'appuie notre étude, ce qui nous amène à proposer un pilotage auto-organisé d'un réseau logistique basé sur une approche holonique.

I.5.1 Approches de modélisation d'un centre de décision

Pour relever le défi posé par la mise en place des modèles hétérarchiques, un ensemble de paradigmes existe. Ils varient de ceux qui s'appuient sur des systèmes déterministes jusqu'à ceux basés sur des concepts découlant de la compréhension de l'environnement naturel [Da Silveira, 03]. Ces diverses influences ont favorisé la proposition de différentes approches capables de répondre promptement et correctement aux changements sans intervention externe. Ces approches présentent des concepts et des comportements similaires mais différents de par leurs origines. Nous distinguons les approches de modélisation suivantes : l'approche multi-agent, l'approche fractale, l'approche bionique et l'approche holonique. La description de chacune de ces approches est abordée par la suite afin de présenter les caractéristiques de chacune et de pouvoir ainsi mettre en évidence l'approche choisie dans le cadre de notre travail.

I.5.1.1 Approche multi-agents

Les Systèmes Multi-Agents (SMA) sont issus de l'Intelligence Artificielle Distribuée (IAD) et étaient principalement utilisés dans la résolution distribuée de problèmes en mettant l'accent sur les comportements coopératifs. Ils ont permis d'aborder également les problèmes de coordination à différents niveaux : connaissances, raisonnement et action [Pujo et Kieffer, 02]. Un SMA est un ensemble organisé et distribué d'agents interagissant. Un agent est défini comme une entité physique ou abstraite ayant les caractéristiques suivantes [Boufaied, 03] :

- Faculté d'adaptation.
- Capacité d'agir sur elle-même et sur l'environnement.
- Capacité de coopérer et de communiquer avec les autres agents pour accomplir des tâches.
- Poursuite d'un objectif individuel.
- En outre, dans un SMA, tout est distribué : la connaissance, le contrôle, les compétences et les activités.

Toutes ces caractéristiques justifient l'adéquation qu'il y a entre un agent et le concept de pilotage hétérarchique, par conséquent, l'adaptation de cette approche au pilotage hétérarchique semble plus aisée. En effet, un nombre élevé de contributions nationales et internationales dans le domaine du pilotage hétérarchique relèvent de cette approche. Néanmoins, nous pouvons noter que dans les SMA, un agent est considéré comme une entité non récursive [Trentesaux, 02], autrement dit, on ne peut décomposer un agent en plusieurs autres agents. Chose que les autres approches : holonique et bionique permettent. Ces approches sont présentées dans la section suivante.

1.5.1.2 Approche bionique

L'organisation et la philosophie de cette approche sont calquées sur le fonctionnement des organes vivants. Par exemple, une unité de production peut être comparée à une cellule organique. Les organes sont construits de façon hiérarchique (cellule, organe, être vivant, société, etc.) et coordonnés (par les enzymes). Chaque composant dans cette approche est nommé "modelon". L'approche est alors structurée autour de différents niveaux de modelons hiérarchiquement organisés et d'une base de donnée commune à tous les niveaux. Dans chaque modelon, des fonctions sont spécifiées (Cf Figure I.5.1).

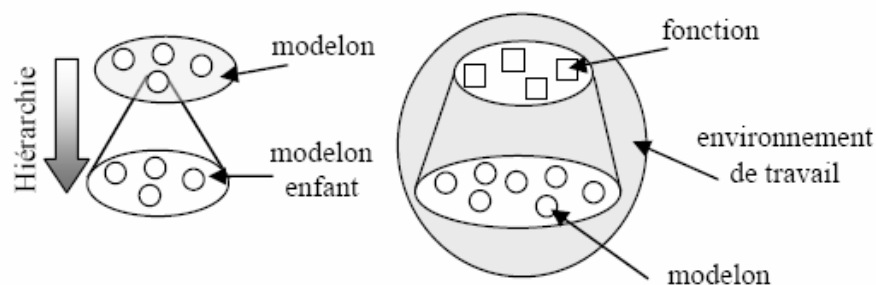


Figure I.5.1 : Organisation des modelons [Da Silveira, 03]

Le modelon est autonome et contrôle son comportement en se basant sur son environnement et sur son code génétique (ADN). Dans le domaine manufacturier, un modelon peut être assimilé à une cellule d'usinage, une cellule d'assemblage, un outil de transport ou une pièce à traiter. Lorsque les possibilités offertes par la cellule et les besoins du produit concordent, le produit est alloué à la cellule d'usinage, et la cellule et le produit passent dans l'état occupé. Cette dernière action permet de garantir que le produit et la cellule d'usinage ne peuvent être alloués à d'autres unités. Le concept biologique d'"enzyme" et son rôle sont modélisés par des entités appelés superviseurs qui sont responsables de la régulation et de la commande du système [Boufaied, 03].

1.5.1.3 Approche fractale

Ayant comme origine la géométrie fractale qui décrit et analyse les objets par rapport à des espaces multidimensionnels non considérés dans la géométrie traditionnelle (Euclidienne), cette approche constitue une approche innovante visant une organisation plus réactive aux aléas de l'environnement. Notons par ailleurs, d'une part, qu'un fractal peut être décomposé en plusieurs fractales ayant les mêmes structures organisationnelles et les mêmes objectifs. D'autre part, le résultat de l'union de fractales n'est pas toujours le même, nous pouvons constituer différentes formes géométriques en associant des fractales identiques. De plus, chaque groupe de fractales a ses propres fonctionnalités [Da Silveira, 03].

Toutefois, nous pouvons conclure que les deux approches, bionique et fractale, présentées ci-dessus, souffrent encore actuellement d'un manque de caractérisation axiomatique qui permettrait d'exploiter les concepts définis au delà d'un premier cadre purement descriptif des modèles pour aborder une dimension plus perspective (caractérisation des situations, recherche d'invariant, de propriétés, démarche méthodologique, etc.) [Trentesaux, 02]. Comme le signale [Da Silveira, 03] à propos de l'approche fractale : les résultats pratiques de l'application de cette théorie sur un système réel ne sont pas encore représentatifs. Les travaux sur le sujet n'apportent pas de solutions claires à propos de l'organisation de la base de données (externe, interne). Il reste encore ouvert de démontrer le fonctionnement des "auto-organisations" et de la restructuration dynamique, citées comme les principaux avantages de l'approche.

1.5.1.4 Approche holonique

Introduite par Arthur Koestler [Koestler, 67] en 1967, cette approche met en évidence les potentialités de chaque individu, les aspects quasi-autonomes de leur fonctionnement et la préoccupation avec l'harmonie globale, nous citons ci-dessous son discours original issu de [Da Silveira, 03] :

*“The first universal characteristic of hierarchies is the relativity, an indeed ambiguity of the terms ‘part’ and ‘whole’ when applied to any of the subassemblies. A part, as we generally use the word, means something fragmentary and incomplete, which by itself would have no legitimate existence. On the other hand, a whole is considered as something complete in itself, which needs no further explanation. But ‘wholes’ and ‘parts’ in this absolute sense just do not exist anywhere, either in the domain of living organisms or of social organizations. What we find are intermediary structures on a series of levels in an ascending order of complexity: sub-wholes which display according to the way you look at them, some of the characteristics commonly attributed to wholes and some of the characteristics commonly attributed to parts. The members of a hierarchy, like the Roman god Janus, all have two faces looking in opposite directions: the face turned towards the subordinate levels is that of a self-contained whole; the face turned upward to the apex, that of a dependent part... This Janus effect is a fundamental characteristic of subwholes in all types of hierarchies. But there is no satisfactory word in our vocabulary to refer to these Janusfaced entities: to talk of sub-wholes (or sub-assemblies, sub-structures, subskills, sub-systems) is awkward and tedious. It seems preferable to coin a new term to designate these nodes on the hierarchic tree which behave partly as wholes and wholly as parts, according to the way you look at them. The term I would propose is ‘holon’, from the Greek “**holos = whole**”, with the suffix “**on**” which, as in proton or neutron, suggests a particle or part”.*

Le concept d'holon tel qu'il est défini ci-dessus est une partie d'un tout ou d'une organisation plus large répondant strictement à trois conditions : être stable, avoir une capacité d'autonomie et être capable de coopérer. Le terme holon est la concaténation de "holos" signifiant le tout et du suffixe "on" suggérant une partie comme dans proton [Pujo et Kieffer, 02]. Un holon peut

représenter une activité logique ou physique comme un robot, une machine, un ordre, etc. Enfin, il peut faire partie d'un autre holon (Cf Figure I.5.2).

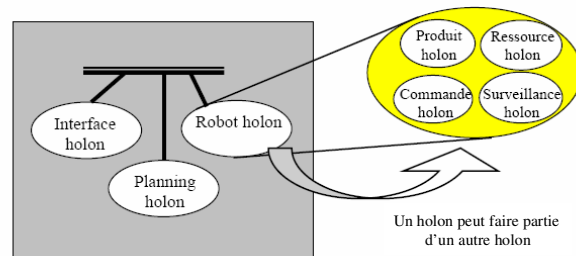


Figure I.5.2 : Organisation des holons [Da Silveira, 03]

Une holarchie est un ensemble d'holons qui coopèrent pour atteindre un objectif et qui agissent en tant qu'ensemble d'entités coopérantes. Ainsi, la structure des systèmes complexes peut être décrite au travers de plusieurs holarchies superposées formant une structure arborescente dont les branches se superposent avec d'autres appartenant à différentes holarchies. Par conséquent, nous pouvons avoir des multiplicités de niveaux ou des connexions horizontales. Cet aspect, tout à fait innovateur, la différencie des architectures fractales et multi-agents et lui confère plus de flexibilité et de précision pour représenter des systèmes distribués [Valckenaers *et al*, 98]. En plus de cet avantage, d'autres aspects propres à cette approche font en sorte que celle-ci devient plus attractive dans des travaux de recherche, notamment dans le pilotage de systèmes de production [Morel *et al*, 03]. Les aspects les plus avantageux de l'approche holonique sont présentés dans le paragraphe suivant.

I.5.2 Apports de l'approche holonique

Afin d'éclaircir les apports d'une telle approche au niveau d'un réseau de chaînes logistiques, nous proposons dans ce qui suit une comparaison entre l'approche holonique et les trois autres approches Multi-Agents, bionique et fractale :

- Les holons ont tendance à préserver leurs individualités (chacun a son rôle dans le système) et à les utiliser pour maintenir l'harmonie dans le groupe. Cette caractéristique les différencie des «modelons» (architecture bionique) et stimule la coopération entre les entités [Da Silveira, 03]
- L'approche holonique se différencie de l'approche multi-agents par le fait que le concept d'holon est récursif [Coudert, 00]. Elle complète cependant cette approche en considérant que, dans le système manufacturier, machines et êtres humains peuvent être « collègues » [Baker, 98].
- L'approche fractale, se basant sur la notion de dimension non entière, requiert des outils spécifiques de mise en œuvre tandis que les modèles holoniques et bioniques ne nécessitent que des outils classiques tels que les langages de programmation objet [Tharumarajah *et al*, 96] d'après [Trentesaux, 02].
- Dans l'approche multi-agents, on favorise une distribution du pilotage (intelligence artificielle distribuée). Dans l'approche holonique de pilotage, c'est la décentralisation du pilotage qui est favorisée, mais ce n'est pas systématique. Les différents processus de pilotage sont répartis et ne sont donc plus aisément localisables [Trentesaux, 02].

Dans le but de développer une démarche d'aide à la décision au pilotage de réseaux logistiques, nous nous sommes basés sur la structure hétérarchique/décentralisée. Cette structure remet en question l'organisation interne d'un ensemble d'entités, ce qui nous a amené

à présenter les différentes approches de modélisation existantes. De ce fait, une comparaison des quatre différentes approches à savoir (l'approche multi-agents, l'approche bionique, l'approche fractale et l'approche holonique) a abouti que contrairement aux trois autres approches, dans l'approche holonique, un holon dispose de deux caractéristiques que nous jugeons très importantes pour notre approche : un holon est à la fois l'expression des propriétés du système qu'il représente - c'est-à-dire qu'il est un *tout* cohérent et autonome-, mais aussi de celles relevant du système auquel il appartient – c'est-à-dire qu'il est une *partie d'un tout* au fonctionnement duquel il contribue [Ounnar *et al*, 07b]. Nous précisons plus loin l'intérêt de ces deux caractéristiques dans l'approche que nous proposons.

L'institution d'une prise de décision décentralisée au sein d'un réseau logistique sur laquelle repose l'approche que nous proposons suppose l'acceptation par l'ensemble des partenaires d'une prise de décision collective. Cette prise de décision décentralisée fait référence au concept d'auto-organisation. Dans un tel contexte, nous présentons ci-dessous, la notion d'organisation pour introduire le concept d'auto-organisation, son utilisation ainsi que ses caractéristiques.

I.5.3 Concept d'auto-organisation

I.5.3.1 Caractéristiques de l'organisation

La notion d'organisation est définie par [Filipas *et al*, 01] comme étant un ensemble d'acteurs qui interagissent entre eux pour produire, en temps fini, un résultat global pertinent par rapport à un environnement externe. [Chen *et al*, 01] définissent l'acte "organiser" comme une activité interactive et participative dans le but d'élaborer le développement des participants. Les principales caractéristiques d'une organisation donnée peuvent être définies comme suit:

- Division des tâches : le travail à exécuter doit être réparti entre les individus d'une manière assez claire pour que l'un n'empiète pas sur l'autre. Ce dernier est accordé pour une durée déterminée pour ceux qui l'exécutent.
- Distribution des rôles : cela signifie que chacun des acteurs apporte sa propre interprétation à l'accomplissement de la fonction.
- Système d'autorité : son but est de veiller à l'adéquation du comportement de l'individu aux buts que les organisations ont fixé à l'organisation. Autrement dit, la décision s'inscrit toujours dans une structure qui lie les participants entre eux [Ménard, 93].
- Système de communication : il est destiné à mettre en relation les individus les uns avec les autres.
- Système de contribution, rétribution : il précise ce que les membres doivent apporter et ce qu'ils doivent recevoir.

Toute organisation ainsi structurée permet de réduire la complexité du système en répartissant les tâches et en assurant les liens nécessaires. Cependant, les différentes formes de répartition (formant ainsi les sous-systèmes du système) et la nature des liens conduisent à des formes d'organisations variées. [Nonaka, 97] a confirmé que la configuration et la structuration de l'organisation jouent un rôle essentiel dans le processus de conversion des connaissances. Selon lui, la construction d'une équipe ou d'un champ d'interaction est nécessaire, afin que les individus puissent partager et confronter leurs connaissances d'une part et créer de nouveaux savoirs, d'autre part. Il propose alors de gérer la création de compétences par le biais d'une équipe auto-organisée dans laquelle les membres provenant de différents départements de l'entreprise collaborent pour créer de nouveaux concepts. Dans la même perspective, nous citons [Pujo et Brun-Picard, 02] qui proposent des méthodes de pilotage par auto-organisation

dans les systèmes de production fortement perturbés. Leur but était de montrer les apports de l'auto-organisation au niveau de la flexibilité et de la réactivité des systèmes considérés.

1.5.3.2 Auto-organisation : historique et définitions

Les concepts de systèmes auto-organisants, développés entre le XVII^e et le XIX^e siècle, se sont focalisés sur des processus d'ordre invisible et spontané dans la société ainsi que dans l'économie et sur les principes évolutionnaires. A cette époque, le phénomène d'ordre dans une société ou une nation occupa un certain nombre d'économistes et politologues de renom. Ils constatèrent que l'ordre n'est pas né de façon "spontanée" et dialectique, comme si une "main invisible" régissait le système en question. Au cours du XIX^e siècle, ces concepts connurent un développement avec de nouvelles découvertes. Durant la période des années 1920 à 1960, la théorie des systèmes, la cybernétique, l'holisme et la thermodynamique soulèvent de nouvelles questions sur l'auto-organisation et en particulier sur les aptitudes d'adaptation et de stabilisation des systèmes complexes. Depuis les années 60, les nouvelles connaissances sur le phénomène "auto" conduisirent, à tous les plans au développement de prémisses théoriques pleines de promesses. Ce mouvement s'est proposé, souvent en complétant les acquis ou dans le cadre des aptitudes d'adaptation, de traiter les instabilités, la dissipation, les transitions et les états loin de l'équilibre, etc, comme base de la naissance de l'ordre [Probst, 93].

Le concept d'auto-organisation selon [Probst, 93] signifie que dans un système en réseau dont les configurations sont en interactions, chaque changement provoque des changements au niveau de certains éléments ou parties du système, d'où toute vision isolée du modelage (changement) doit être évitée. Le modelage et le pilotage de conception dynamique dans une configuration d'interactions sont répartis dans tout le système. Par conséquent, l'information et la communication sont les clés des processus interactionnels. [Ounnar et Pujo, 01] décrivent ce concept comme un mode de prise de décision en temps réel sans organisation prévisionnelle. Par ailleurs, pour qu'il y ait organisation il faut avoir défini un objectif commun à tous les centres de décision faisant parties de cette organisation. Cela peut se décliner de différentes manières selon les propriétés et les caractéristiques des entités que nous souhaitons organiser et se traduit en terme de synchronisation, de coordination, de partage, de coopération, de négociation et/ou de génération d'opérations. Enfin la solution finalement adoptée pour faire fonctionner l'ensemble de ces entités sera forcément obtenue par émergence. En effet, en l'absence de hiérarchie, chaque entité participe d'une part à la proposition de solutions et d'autre part à l'évaluation de solutions. La proposition apparaissant comme la plus performante du point de vue de critères d'évaluation sera adoptée. Par conséquent, l'architecture la plus adéquate pour la mise en œuvre de cette notion d'auto-organisation serait : l'architecture décentralisée [Pujo et Kieffer, 02] (Cf Figure I.5.3)

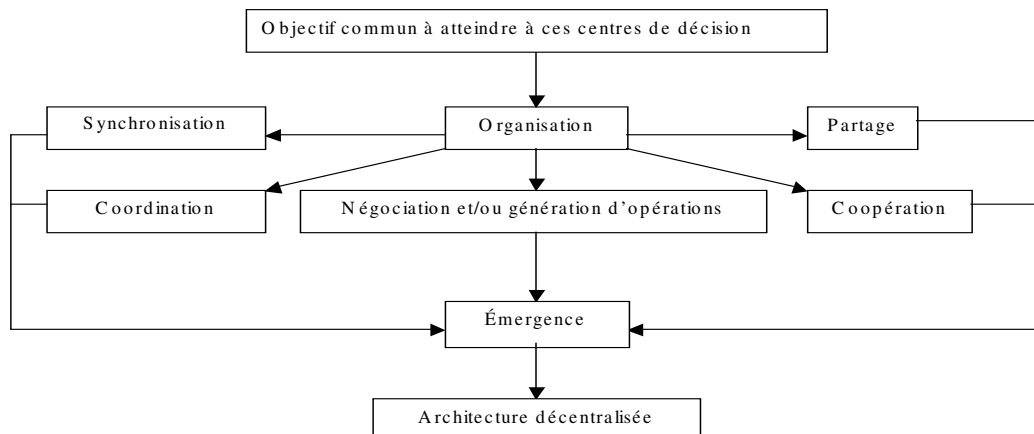


Figure I.5.3 : Le concept d'auto-organisation

Le concept d'auto-organisation recherche des situations fonctionnelles et structurelles créatives et flexibles dans lesquelles : l'autorité, la responsabilité et les compétences peuvent naître, se modifier, être partagées et en résulter [Probst, 93]. Notons que cette notion d'auto-organisation est plutôt appréciée au niveau d'une seule entreprise [Nonaka, 97] mais pas au niveau d'un réseau de partenariat. D'où la question suivante : Quels seront les fondements de cette auto-organisation dans un réseau de chaînes logistiques?

L'approche de pilotage d'un réseau de partenariat que nous proposons, est basée sur une structure de pilotage hétérarchique/décentralisée. La décentralisation implique l'association de centres de décision à chacun des partenaires du réseau. L'organisation interne de chacun des centres de décision est basée sur une approche holonique. Les holons accomplissent leurs tâches de manière autonome mais en même temps, ils disposent d'une connaissance suffisante du système entier pour contribuer à la résolution de l'objectif global. Ces deux caractéristiques du holon sont très importantes pour notre approche de pilotage auto-organisée. L'approche proposée est basée sur la notion d'auto-organisation, qui elle est subordonnée d'une part, à l'utilisation d'une structure de décision décentralisée et, d'autre part à la prise en compte du propre comportement de chaque entité. En effet, le système de prise de décision proposé est basé sur un ensemble de critères définis par les partenaires du réseau (client /fournisseur) ce qui correspond à la première caractéristique. Dans l'approche auto-organisée proposée, les entités représentant les partenaires du réseau (Clients/Fournisseurs) doivent avoir la capacité de négocier et de communiquer entre elles pour l'atteinte de l'objectif commun qui est d'assurer collectivement la répartition des ordres venant des différents clients tout en respectant les intérêts de chacun ce qui correspond à la deuxième caractéristique. Partant de cette approche holonique nous présentons dans la section suivante l'approche de pilotage auto-organisé pour l'amélioration des relations Clients/Fournisseurs d'un réseau logistique.

I.5.4 Approche holonique pour le pilotage auto-organisé d'un réseau logistique

L'approche proposée est fondée sur une prise de décision auto-organisée et décentralisée, c'est à dire s'effectuant sans aucune considération d'ordre hiérarchique. La structure de pilotage ainsi considérée suppose un système de pilotage composé d'un ensemble d'entités. D'une part, l'absence de centre de décision de niveau hiérarchique supérieur nous amène à doter chacune de ces entités d'une capacité propre de prise de décision qui leur permet au travers d'un système de communication, d'élaborer, par négociation et en temps réel, une solution de pilotage qui soit la plus efficace et la plus efficiente possible au niveau du système global

[Ounnar et al, 07a]. D'autre part, dans un système de pilotage auto-organisé, chaque entité participe à l'achèvement du but commun en assumant l'organisation et le management de son propre pilotage [Ounnar et Pujo, 01] : elle prend part à l'élaboration et à l'évaluation de solutions, en l'absence de hiérarchie. Ceci s'appuie sur une approche holonique dont nous allons décrire la constitution et l'architecture [Ounnar et al, 07a].

1.5.4.1 Architecture Holonique

L'approche Holonique Manufacturing System est étudiée dans le cadre du projet Intelligent Manufacturing Systems depuis les années 90 [Mathews, 95] [Deen, 03]. Le concept d'holon présente la particularité forte, par rapport au concept d'agent de l'approche multi-agents, de pouvoir représenter un système cohérent et autonome tout en étant simultanément une partie d'un système de niveau supérieur. Cette dualité fonctionnelle permet d'implanter dans un holon des comportements à haute valeur décisionnelle lui conférant une grande autonomie. Nous proposons la définition suivante : un holon est une entité conceptuelle reposant sur l'association d'une structure matérielle identifiée avec un système d'information, dotant l'ensemble d'une intelligence lui permettant d'assurer son propre fonctionnement en interaction avec d'autres holons.

Un système holonique peut être décrit au travers de l'architecture de référence PROSA, qui introduit 3 types de holons de base (les Holons Produit (HP), les Holons Ressource (HR), les Holons Ordres (HO)), assistés au besoin par des Holons Staff (HS) dotés de connaissances expertes et d'algorithmes centralisés [Van Brussel et al, 98].

Dans PROSA, les Holons Produit (HP) donnent un descriptif technique des produits manufacturés (modèle physique du produit (géométrie), modèle de transformation (gamme), modèle de précision (exigences qualité)...). Il ne s'agit pas à proprement parler de holons attachés aux éléments du système de production, mais de holons attachés à des éléments extérieurs qui le traversent pour y être transformés. Les Holons Ressource (HR) correspondent aux entités du système de production. [Van Brussel et al, 98] montrent que la structuration hiérarchique des ressources est un facteur qui simplifie l'analyse du comportement. Ainsi, un holon 'usine' est un ensemble d'holons 'atelier', lesquels sont constitués d'holons 'poste de travail' composés d'holons 'équipement'. En continuant cette décomposition, nous pouvons aisément observer qu'un holon 'équipement' est un ensemble de holons 'opérateurs d'action', lesquels sont constitués d'holons 'actionneur' et/ou d'holons 'capteur' (capteurs).

HP et HR doivent être parfaitement maîtrisés. Généralement, ce sont les HR qui agissent sur les HP. Toutefois, les HR doivent rester à l'écoute des conditions de fonctionnement imposées par les HP, afin de s'adapter en permanence et d'optimiser le fonctionnement. Ces interactions mutuelles nécessitent une organisation qui se décline en deux aspects : la description des objectifs du système et leur projection dans le temps. Dans le cas des systèmes manufacturiers, les Holons Ordre (HO) décrivent des tâches à effectuer sur les HP par les HR. Ils assurent également la gestion de l'état courant du HP en cours d'exécution et l'archivage des tâches achevées. Il s'agit là de la gestion et du suivi des tâches : traiter les HP avec les HR.

Dans un contexte multi-entreprises reliées par des relations clients fournisseurs, les flux de produits sont généralement figés après une négociation commerciale. Cela génère une gestion difficile des flux, en particulier lorsque des surcharges se superposent sur un même fournisseur. Dans un système de pilotage auto-organisé d'un réseau logistique, chaque flux d'approvisionnement va être considéré vis-à-vis de l'ensemble des fournisseurs potentiels. Pour résoudre ce problème, chaque fournisseur participe à l'achèvement du but commun

(assurer dans de bonnes conditions l'approvisionnement) en organisant son propre pilotage [Ounnar et Pujo, 01]. Pour cela, il prend part à l'élaboration et à l'évaluation de solutions, en l'absence de hiérarchie, grâce aux propriétés d'un centre de décision qui lui est associé, nous l'appelons Entité de Pilotage Autonome (EPA). Chaque EPA communique avec ses homologues via un réseau de communication. Ensembles, elles assurent une répartition des tâches (HO), sur la base d'une évaluation locale de la performance potentielle du HR associé et d'une négociation collective pour l'affectation optimale de ces tâches.

Dans notre proposition, le pilotage auto-organisé et décentralisé se caractérise effectivement par une architecture organisationnelle du type flat holonic form [Bongaerts *et al*, 00]. Grâce à cette EPA, chaque Resource Holon, face à une tâche dont l'exécution lui est proposée, a la capacité d'auto-évaluer la performance qu'il peut y associer dans le but de participer aux négociations d'affectation de cette tâche. Nous nous appuyons sur l'architecture de référence PROSA [Van Brussel *et al*, 98] pour décrire notre flat holonic form [Ounnar *et al*, 06]. Dans cette architecture, le rôle fondamental des EPAs consiste à gérer la totalité des échanges d'information dans le réseau reliant les différentes entités et à organiser l'enchaînement des traitements de ces informations qui aboutissent aux différentes prises de décision. En fait, les EPA sont au cœur des relations entre les holons de base du modèle PROSA :

- les Resource Holons, qui correspondent aux entreprises du réseau de partenariat logistique, et qui outre les capacités de l'EPA à assurer son propre pilotage, comportent les caractéristiques sur sa capacité de production,
- les Order Holons, qui représentent l'aspect organisationnel des tâches à effectuer sur les produits manufacturés par les ressources,
- les Product Holons, qui donnent un descriptif technique des produits manufacturés (modèles, gamme...), ce qui vient compléter la spécification des tâches de production.

Toutes les informations nécessaires à l'évaluation de performances par l'EPA se trouvent dans les holons de base de PROSA. Chaque EPA a des échanges privilégiés avec le HR auquel elle est associée. Le HR fournit par exemple des informations sur son planning prévisionnel, ses caractéristiques techniques, ses performances... Les données liées aux HO et aux HP circulent sur le réseau via les Appels d'Offres (AOs). En résumé, les EPA pilotent les HR qui mettent en œuvre les HO sur les HP : c'est ainsi que la valeur ajoutée est donnée à la matière d'œuvre.

Au cours de leur parcours dans le système de production, les produits sont associés aux Product Holons qui les décrivent. La progression sur ce parcours est gérée par l'évolution des Order Holons qui déclenchent les tâches de production. En résumé, les EPA pilotent les Resource Holons en assurant l'affectation des Order Holons qui concernent la production des Product Holons. Les interactions entre les holons de base est l'EPA sont présentées sur la Figure I.5.4.

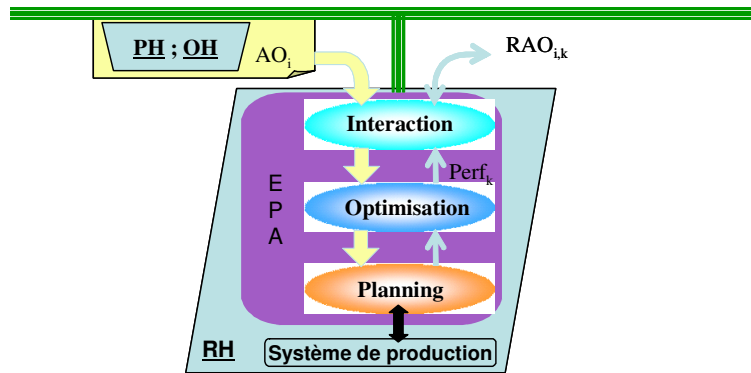


Figure I.5.4 : Entité de Pilotage Autonome (EPA)

I.5.4.2 Description du fonctionnement général de l'EPA

Dans l'approche proposée, un partenaire peut être client, fournisseur ou les deux. Lorsqu'un client lance un Appel d'Offre (AO), ce dernier sera muni des informations définies par le client, telles que le nom de l'entité émettrice, la description du travail à effectuer sur le produit, la quantité désirée, la date de fin de négociation, le délai de livraison souhaité... Toutes les EPAs qui sont connectées au réseau vont réceptionner cet AO. Une fois l'AO reçu par une EPA donnée via son module d'interaction, ce dernier va vérifier la faisabilité de l'AO en terme de métier et procède ensuite à la transmission des caractéristiques de l'Appel d'Offre au module d'optimisation. Le module d'optimisation permettra d'obtenir un classement de tous les Appels d'Offres reçus, selon la capacité du système de production associé à l'EPA, par l'application d'une méthode multicritère (Analytic Hierarchy Process (AHP)). La méthode multicritère AHP est basée sur un ensemble de critères [Ounnar *et al*, 07a]. Certains de ces critères sont définis par le client à travers l'AO lancé, d'autres sont paramétrés par des caractéristiques propres au fournisseur. Parmi les critères qui sont définis par le fournisseur figure la date de réalisation de cet Appel d'Offre au niveau du système de production. Cette donnée dépend de l'état du planning de charges et la disponibilité des équipements. Nous proposons d'obtenir cette donnée par l'exécution d'une méthode analytique au niveau du module planning. Cette dernière nous renvoie la date de réalisation de cet AO en étudiant les différents états d'insertion possibles de l'AO dans le planning de l'entité. Ainsi, ce résultat sera transmis au module d'optimisation pour qu'il puisse achever l'application de la méthode multicritère. Le module d'interaction compare alors cette performance par rapport à la meilleure réponse proposée sur le réseau concernant cet AO puis l'envoi sur le réseau si elle est meilleure (Cf Figure I.5.5) [Mekaouche *et al*, 06]. Les différents messages circulants sur le réseau sont définis comme suit :

- AO : Appel d'Offre émis par l'EPA d'un autre HR du réseau logistique et reçu par l'EPA (il s'agit là d'un objet reprenant la totalité des informations nécessaires au traitement de l'AO et provenant des HP et HO en interaction).
- RAO : Réponse reçue par l'EPA suite à l'Appel d'Offre précédent et émise par une tierce EPA (il s'agit là de la valeur de la performance d'un autre HR pour cet AO).
- AOL : Appel d'Offre Local émis par l'EPA elle-même.
- RAOL : Réponse à un AOL, émise par une autre EPA et reçue par l'EPA.

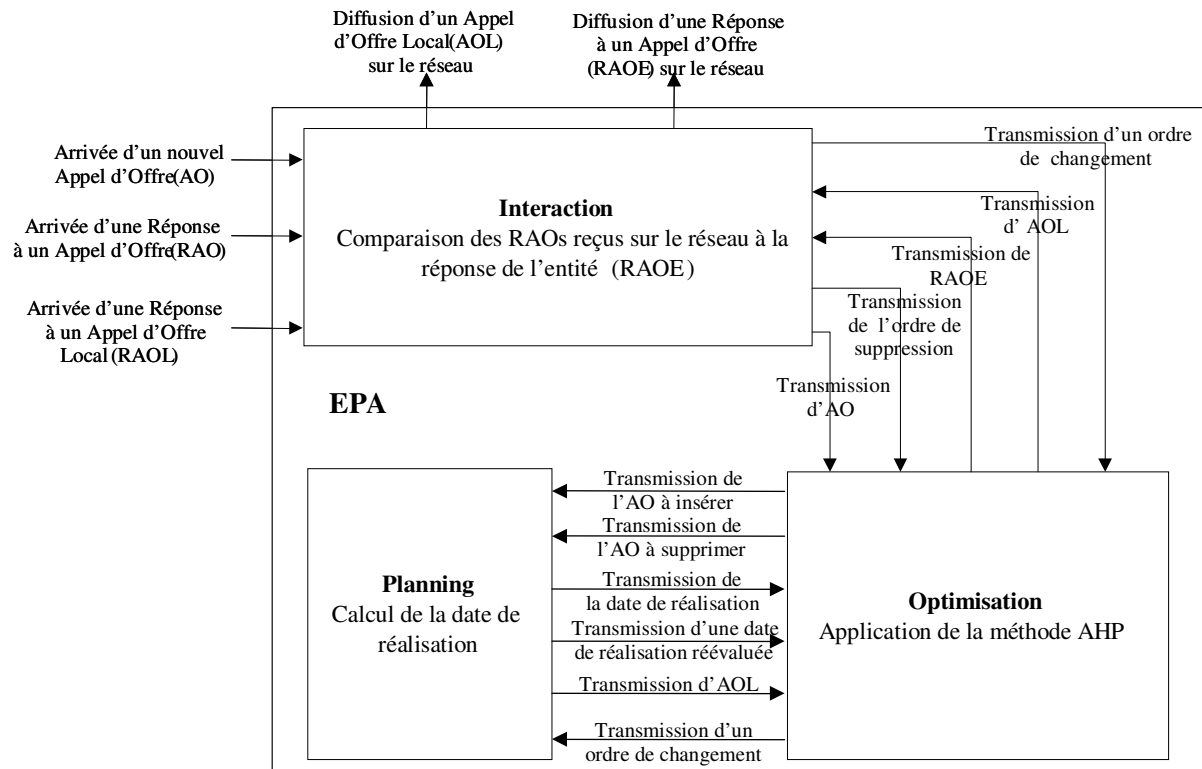


Figure I.5.5 : Fonctionnement général d'une EPA

Nous présentons dans le paragraphe suivant le fonctionnement détaillé de chacun des trois modules de l'EPA.

I.5.4.2.1 Module interaction

Ce module permet d'assurer la distribution des ordres par la mise en négociation de fournisseurs pouvant potentiellement répondre à un Appel d'Offre émis par un client, avec des règles et des critères impartiaux et communs. Il s'agit d'observer la meilleure réponse à un Appel d'Offre concernant l'exécution d'une tâche pour choisir l'entité correspondante. Ses principales fonctionnalités se résument en deux points :

- La transmission des différentes informations concernant les Appels d'Offres ou les réponses aux Appels d'Offres reçus vers le module d'optimisation ou vice versa.
- Le positionnement de chaque entité par rapports aux offres reçues (mise à jour de l'Appel d'Offre) : à chaque réception d'une nouvelle offre, l'Appel d'Offre correspondant est mis à jour si l'offre reçue est la première ou si elle est meilleure que la meilleure offre déjà reçue.

I.5.4.2.2 Module optimisation

Le module d'optimisation permet à l'EPA de s'auto-évaluer par rapport à un Appel d'Offre reçu, afin d'estimer sa propre capacité à répondre à celui-ci [Ounnar *et al*, 04]. L'évaluation de la performance est basée sur une méthode multicritère. La méthode multicritère, sélectionnée dans [Ounnar, 99] a été la méthode Analytic Hierarchy Process (AHP) [Saaty, 80]. AHP est un outil de prise de décision pour des problèmes multicritère complexes pour lesquels des aspects qualitatifs et quantitatifs doivent être incorporés. La méthode AHP aide les décideurs à structurer les composantes importantes d'un problème en une structure

hiérarchique semblable à une arborescence. Puis les résultats sont synthétisés en ramenant des décisions complexes à une série de comparaisons et de rangements. AHP est donc un processus de prise de décision qui interprète directement les données et les informations en formant des jugements sur lesquels on exécute une échelle de mesure à l'intérieur d'une structure hiérarchique. AHP s'effectue en quatre phases :

- Construction d'une structure hiérarchique pour le problème de décision.
- Comparaison par pair des éléments de chaque niveau de la hiérarchie construite.
- Estimation d'un poids relatif entre les éléments de deux niveaux adjacents. Ce qui développe des priorités pour les alternatives.
- Agrégation des poids relatifs des différents niveaux de la hiérarchie afin de pouvoir fournir un classement des alternatives de décision

Dans notre cas, nous utilisons cette méthode pour classer les AOs (alternatives) au niveau de chaque fournisseur (HR) [Mekaouche *et al*, 05d]. Nous reviendrons en détail, dans le chapitre II, sur le choix de la méthode multicritères utilisée et sur le calcul de la performance au niveau de chaque fournisseur.

I.5.4.2.3 Module planning

Le module planning permet de calculer la date de réalisation de l'Appel d'Offre par l'exécution d'une méthode analytique qui fait appel aux différents états du planning au niveau du système de production [Mekaouche *et al*, 05e]. En effet, l'obtention de la date de réalisation d'un Appel d'Offre donné est basée sur l'insertion de celui-ci au niveau du planning. La méthode analytique permet dans un premier temps d'étudier les différentes possibilités d'insertion de cet AO selon la place disponible dans ce dernier et de trouver ainsi, la meilleure insertion possible. Dans un deuxième temps, elle permet de renvoyer la date de réalisation trouvée au module d'optimisation. Le module planning assure la mise à jour des états des AOs reçus. Un Appel d'Offre peut être dans l'un des états suivants :

- AO négociable : Appel d'Offre en cours de négociation. Nous n'avons aucune information sur son affectation.
- AO engageable : Appel d'Offre qui est pour l'instant attribué à l'EPA, sa performance étant à cet instant la meilleure ; ce statut peut être perdu si une meilleure offre apparaît, puis regagné si par exemple des disponibilités se libèrent sur le planning de l'EPA.
- AO pré-engagé : Appel d'Offre engageable et qui est le prochain à être traité sur le planning des tâches de l'EPA (la date de fin de négociation est atteinte).
- AO engagé : Appel d'Offre auparavant pré-engagé, dont la mise en œuvre est en cours ou sur le point de l'être, et qui à ce titre, est placé de façon ferme et définitive sur le planning de l'entité à la date d'engagement de celle-ci.

Par ailleurs, le module planning peut recevoir du module d'interaction un ordre de suppression d'un Appel d'Offre sur lequel il était engageable. En effet, étant engageable sur un Appel d'Offre donné, l'entité peut recevoir une meilleure réponse venant de l'un des partenaires du réseau concernant cet AO. De ce fait, le module d'interaction lance un ordre de suppression de cet AO vers le module planning. Le module planning supprime l'AO concerné puis réévalue (recalcule les différentes dates de réalisations) tous les Appels d'Offres se trouvant en aval de celui-ci. A partir de cette réévaluation, des améliorations peuvent être obtenues au niveau des dates de réalisation de certains Appels d'Offres. Il envoie alors les nouvelles dates au module d'optimisation pour que celui-ci puisse relancer l'application de la méthode AHP et obtenir ainsi un nouveau classement des Appels d'Offres.

L'approche proposée n'exclut en rien la contribution de l'acheteur ou du logisticien, bien au contraire. En effet, l'intervention de l'homme se situe à plusieurs niveaux :

- En amont, il faut choisir les critères et indicateurs qui sont utilisés dans l'évaluation de la performance des fournisseurs. Ce choix est établi par le partenariat ;
- Chaque fournisseur peut définir ses propres préférences sur les critères et les indicateurs qui sont pris en compte dans le calcul de sa performance, pour sélectionner les AOs sur lesquels il souhaite entrer en négociation ;
- Toutes les décisions sont prises avec l'assentiment d'un 'pilote' humain qui supervise le bon déroulement des relations inter-entreprises. Chaque client garde la possibilité d'indiquer qu'il préfère travailler avec le fournisseur X. Il sait alors la perte de productivité qu'une telle décision engendre.

Cette approche permet donc d'assurer la distribution des ordres par la mise en négociation de fournisseurs pouvant potentiellement répondre à un Appel d'Offre émis par un client, avec des règles et des critères impartiaux et communs à tous, tout en laissant à chacun des degrés de liberté [Mekaouche *et al.*, 05b]. Pour décrire un modèle fonctionnel et comportemental de l'approche ainsi définie, nous avons utilisé le langage UML (Unified Modelling Language), ceci est illustré dans l'Annexe I.

Dans le but de tester la validité de l'approche proposée, nous avons modélisé et simulé le fonctionnement global proposé. Notre objectif étant de vérifier, par simulation, l'équilibre entre charge/capacité au niveau d'un fournisseur et le lissage de charge entre les différents fournisseurs potentiels pour pouvoir ainsi proposer à plus long terme, un système équitable entre les différents fournisseurs du réseau.

Pour cela, nous avons dans un premier temps modélisé l'EPA ; suite à une étude comparative des formalismes de modélisation existants, nous avons choisi le formalisme DEVS. Dans un deuxième temps, nous avons intégré les modèles DEVS élaborés dans un environnement de simulation distribué HLA pour pouvoir par la suite valider l'approche. La section suivante présente les différents formalismes existants pour justifier le choix du formalisme DEVS retenu dans cette étude.

I.5.5 Formalismes de modélisation

Un formalisme est une convention de communication écrite en langage mathématique [Zeigler, 76]. C'est aussi un guide pour la spécification non ambiguë de la sémantique des systèmes [Fishwick, 96]. L'utilisation d'une approche formelle offre aussi l'avantage de réduire les temps de développement et de vérification [Muzy, 04]. Si une vue particulière fournit une description plus naturelle et plus efficace d'un système, un formalisme particulier permet une spécification plus naturelle et plus efficace d'un modèle selon une vue. Les modèles peuvent être discrets ou continus, notre étude se situe au niveau des modèles discrets. Dans les modèles discrets, nous distinguons les modèles de spécification et les modèles discrets élémentaires. Les modèles discrets reproduisent directement le comportement du système à travers des mécanismes de calcul. Ces modèles sont fondés sur les réseaux de Petri, les automates à état finis, etc. A travers une structure mathématique, les modèles de spécification de sémantique permettent, eux, une description précise de la sémantique du système, d'un modèle de calcul. Les modèles de spécification de sémantique les plus aboutis sont ceux fondés sur la théorie des systèmes [Fishwick, 96], [Zeigler *et al.*, 00] d'après [Muzy, 04]. En effet, dans le contexte de la théorie des systèmes, des travaux formels ont été menés pour développer les fondements théoriques de la modélisation et de la simulation des systèmes dynamiques [Zeigler, 76]. Ces travaux ont notamment donné

naissance au formalisme DEVS (Discrete Event System Specification) pour la spécification des systèmes à événements discrets [Zeigler, 76]. DEVS s'abstrait totalement de la mise en œuvre des simulateurs. De plus, des travaux récents montrent également que DEVS peut encapsuler de nombreux formalismes tels que les équations différentielles [Zeigler *et al*, 00], [Giambiasi *et al*, 00] ou les réseaux de Petri [Jacques et Wainer, 02]. Ce formalisme est donc bien adapté à la spécification des multi-modèles lorsque les modèles composants peuvent être exprimés en DEVS [Duboz, 04]. Cette caractéristique le rend très général par rapport aux autres formalismes à événements discrets (réseaux de Petri, Statecharts, etc.) [Hamri, 05]. En plus de la caractéristique de multi-modèles citée ci-dessus, le formalisme DEVS offre une sémantique opératoire (d'exécution) propre et claire, par rapport aux autres formalismes, notons par ailleurs, que le formalisme DEVS est largement utilisé dans plusieurs domaines (les systèmes de production, les systèmes temps réel, etc.) [Duboz, 04]. De plus, la description hiérarchique et modulaire des systèmes préconisée par DEVS permet non seulement d'obtenir des modèles réutilisables mais aussi de réaliser des simulations distribuées [Hamri, 05]. C'est ce dernier point qui nous a orienté vers le choix de ce formalisme. En effet, après avoir modélisé l'EPA par le formalisme DEVS [Mekaouche *et al*, 05c], nous avons implémenté les modèles ainsi élaborés dans un environnement de simulation distribuée.

1.5.6 De la modélisation à l'implémentation

Au cours des années 1990 nous avons assisté à l'apparition du concept de "Simulation basée Web" (WebBased SIMulation, WEBSIM <http://www.websim.net/>) supporté par l'OMG (Object Management Group). L'objectif est d'encourager le développement et l'application de standards ouverts et de démarches conceptuelles qui permettent à la communauté Modélisation et Simulation (M&S) d'exploiter ces nouvelles architectures afin d'intégrer leurs produits dans des systèmes à plus grande échelle. La vision est celle d'un système distribué basé sur une intégration horizontale de composants M&S, de systèmes opérationnels et d'opérateurs humains (superviseurs, décideurs, utilisateurs). Chaque partie de ce système étant autonome, interfaçable avec les autres parties pour fournir ou consommer des données en temps réel [Aniorté *et al*, 06].

De plus, la simulation distribuée offre de nombreux avantages dans l'industrie de façon générale et dans la simulation de chaînes logistiques de façon particulière. Autrefois, l'étude de l'optimisation de la chaîne logistique par simulation se faisait via un seul modèle centralisé comprenant toutes les entreprises appartenant à la chaîne considérée ; néanmoins, cette solution ne peut être applicable quand tous les partenaires de la chaîne logistique étudiée ou certains d'entre eux ne désirent pas partager leurs propres données avec les autres partenaires de la chaîne. Cependant, avec l'introduction de la simulation distribuée, le problème de partage de données confidentielles est éliminé. Chaque entreprise partenaire de la chaîne peut établir son propre modèle. Les modèles ainsi élaborés doivent avoir la capacité de communiquer entre eux. Dans cette perspective, le Département de la Défense américain (DoD) a investi de façon significative pour soutenir des projets dans le domaine de la simulation distribuée. Il a encouragé l'évolution de standards pour supporter la réutilisation et l'interopérabilité de simulations, ce qui a abouti à la norme HLA (High Level Architecture) standardisée par l'OMG (HLA 1.3) et l'IEEE (HLA 1516) et peut être reconnu aujourd'hui comme un standard pouvant résoudre les problèmes liés à l'intégration, la réutilisation et l'interopérabilité dans le domaine de la simulation distribuée.

Cette architecture facilite l'interopérabilité et la réutilisabilité de la simulation. La réutilisation signifie que les modèles de composants de simulation peuvent être réutilisés dans différentes applications de simulation. Les composants de simulation réutilisables peuvent être combinés avec d'autres composants sans besoin de recodage. L'interopérabilité implique la

capacité de combiner des composants de simulation sur des plateformes réparties de différents types, souvent avec des opérations en temps réel. Cette approche implique de repenser la manière dont les composants de simulation agissent les uns sur les autres dans un simple programme traditionnel sur un simple ordinateur, il faut donc penser à un certain nombre de programmes s'exécutant sur des ordinateurs distribués et agissant les uns sur les autres à travers un système d'exploitation réparti en temps réel.

Ainsi, l'architecture HLA s'intéresse à la fois à l'interconnexion de plateformes de simulation et à des aspects de plus haut niveau tel que l'échange d'événements et la synchronisation. Contrairement à toutes les autres architectures (DIS (Distributed Interactive Simulation), ALSP (Aggregate Level Simulation Protocol), etc.), et en plus de sa caractérisation par les deux propriétés à savoir, l'interopérabilité et la réutilisabilité, l'architecture HLA assure la synchronisation entre les simulations, ce qui constitue son atout majeur notamment par rapport à l'architecture CORBA (Common Object Request Broker Architecture) [Adelantado *et al*, 05].

Dans notre cas d'étude, l'architecture HLA nous offre la possibilité d'intégrer le fonctionnement réel d'une (de plusieurs) avec le fonctionnement simulé des autres entreprises. La simulation globale sera donc effectuée en combinant un (plusieurs) système(s) réel(s) et les autres modèles élaborés.

Toutes ces caractéristiques nous ont conduit au choix d'HLA comme architecture pour notre simulation distribuée.

I.6 Conclusion

Dans cette partie, nous avons proposé une nouvelle approche de pilotage auto-organisé basé sur l'approche holonique par la dynamique des relations Clients/Fournisseurs. Dans un premier temps, nous avons présenté le concept de chaînes logistiques, leur fonctionnement ainsi que les problèmes soulevés. Puis, dans un deuxième temps, nous avons soulevé le problème de gestion de chaînes logistiques. Qui dit gestion de chaînes logistiques, dit la prise de décision dans la gestion des flux informationnels et physiques circulant dans les chaînes logistiques. Nous avons alors introduit les différents horizons de prise de décision, ce qui nous a amené à situer notre contribution via cette étude à un niveau de pilotage tactique/opérationnel d'un réseau logistique. À ce niveau, nous avons présenté les travaux dédiés aux réseaux logistiques de façon générale, ce qui nous a permis de conclure dans un premier temps, que très souvent, les études portant sur l'amélioration des relations Clients/Fournisseurs au niveau de ce type de réseau, considèrent l'appartenance de l'entreprise (Client et/ou Fournisseur) à une chaîne logistique figée. En revanche, l'influence de l'appartenance de l'entreprise à plusieurs chaînes logistiques sur la gestion d'une chaîne considérée est encore peu abordée. Dans un deuxième temps, nous avons soulevé le problème de la structuration du pilotage de réseau logistique.

Après avoir opté pour le choix de la structure hétérarchique/décentralisée pour le pilotage que nous proposons, et après avoir soulevé le problème de modélisation des centres de décision attribués à chacun des partenaires de ce réseau, nous avons présenté les différentes approches de modélisation de ces centres de décision. Une comparaison de ces différentes approches de modélisation nous a orienté vers le choix de l'approche holonique. Nous avons ensuite poursuivi par la proposition de l'approche de pilotage auto-organisé basé sur une approche holonique. Nous avons alors présenté la notion d'auto-organisation qui est basée d'une part, sur la structure de prise de décision décentralisée et d'autre part, sur la prise en compte du propre comportement réel de chacun des partenaires du réseau. Ce dernier point nous a amené à introduire la notion de l'auto-évaluation. Pour chacun des partenaires, il s'agit de s'auto-

évaluer face aux AOs reçus pour pouvoir participer à l'émergence de la meilleure réponse à un AO lancé par un client sur le réseau. Le processus d' l'auto-évaluation considéré est basé sur un ensemble de critères, par conséquent, l'utilisation de méthode multicritères s'impose. Quelle méthode multicritères utilisée ? Comment l'appropriier au processus d'évaluation considéré dans cette étude? Telles sont les questions auxquelles nous allons devoir répondre. Pour cela, nous proposons dans le chapitre suivant un état de l'art des différentes méthodes multicritères suivie d'une description détaillée du processus d'évaluation de fournisseur considéré dans cette étude.

Chapitre II : Evaluation de la performance du Ressource Holon

Dans le premier chapitre de ce mémoire, nous avons présenté les fondements du pilotage auto-organisé d'un réseau logistique basé sur l'approche holonique. Nous avons alors présenté la notion de l'auto-organisation qui est basée d'une part sur la structure de prise de décision décentralisée et d'autre part, sur la prise en compte du propre comportement réel de chacun des partenaires du réseau. Ce dernier point nous a amené à introduire la notion d'auto-évaluation. Pour chacun des partenaires (Fournisseurs), il s'agit de s'auto-évaluer par rapport aux Appels d'Offres reçus. Puis dans un premier temps, le fournisseur doit faire un tri de tous les AOs qu'il vient de recevoir. Dans un deuxième temps, une évaluation locale doit se faire vis à vis de l'AO opportun autrement dit, classé premier. Cette évaluation individuelle va permettre au fournisseur de se positionner par rapport à la meilleure réponse circulant sur le réseau concernant cet AO. Ainsi, le fournisseur proposant la meilleure performance pour un Appel d'Offre sera obtenu par émergence.

En résumé, dans l'approche que nous proposons, l'auto-évaluation du fournisseur par rapport aux AOs reçus se fait en deux étapes: la première étape consiste en un classement de tous les AOs reçus, selon la capacité du fournisseur à les traiter. Ce classement s'effectue en fonction de plusieurs critères. Par la suite, une évaluation locale est effectuée vis à vis de l'AO classé premier au niveau du fournisseur pour pouvoir se positionner par rapport à la meilleure réponse, pour cet AO, circulant sur le réseau. Il s'agit là de la deuxième étape (Cf Figure II. 1).

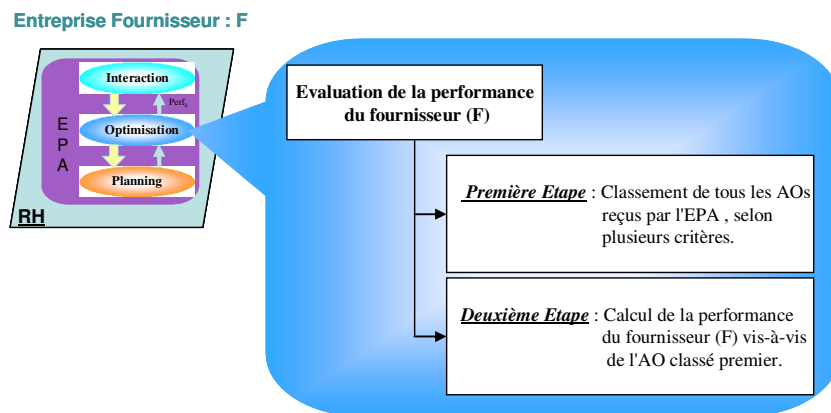


Figure II. 1 : Processus d'auto-évaluation du Fournisseur F par rapport aux AOs reçus

Les deux étapes se basent sur des critères qualitatifs et quantitatifs. Ce qui amène à devoir répondre aux questions suivantes : Quels sont les critères à prendre en compte? Comment les mettre en place dans notre approche? Comment établir la performance locale de chaque partenaire vis-à-vis d'un Appel d'Offre lancé au préalable sur le réseau? ... Autant de questions auxquelles nous répondons dans le présent chapitre. Dans un premier temps, nous présentons les différentes méthodes multicritères existantes. Puis dans un deuxième temps, nous décrivons en détail les deux étapes sur lesquelles se base le processus d'auto-évaluation utilisé dans l'approche que nous proposons. A ce stade nous allons tout d'abord élaborer un système d'indicateurs nécessaire à la mise en œuvre de l'évaluation de la performance des fournisseurs envisagée dans le cadre de cette approche. Ensuite et en s'appuyant sur l'analyse des différentes méthodes multicritères présentées, nous justifions le choix de la méthode multicritères retenue au niveau de chaque étape.

II.1 Processus de choix et d'évaluation de fournisseurs

Dans le cadre d'une relation Clients/Fournisseurs, le client peut être amené à choisir entre les deux stratégies suivantes [Oliveira et Lourenço, 02] : être en relation avec plusieurs fournisseurs ou avec un seul fournisseur. La première stratégie est adoptée dans le cas où aucun des fournisseurs n'est capable de satisfaire seul l'AO lancé par le client, dans ce cas l'AO est fractionné sur plusieurs fournisseurs. Le client fait donc appel à plusieurs fournisseurs. Pour cela, le client doit être en mesure dans un premier temps, de sélectionner un ensemble de fournisseurs puis dans un deuxième temps d'affecter à chacun des fournisseurs sélectionnés une partie de l'AO. Dans le cas de la deuxième stratégie, les AOs ne sont pas fractionnés. En effet, chaque AO est pris en charge par un seul fournisseur. Le problème qui se pose dans ce cas est de choisir le meilleur fournisseur sur cet AO.

Les deux stratégies sont basées sur l'évaluation de performance de plusieurs fournisseurs pour la première stratégie, ou d'un seul fournisseur pour la deuxième stratégie. Notons par ailleurs, que cette évaluation est ramenée à un seul critère (le coût lié à la facturation du/des fournisseur(s) considéré(s) négligeant(s) ainsi toute notion de coût associé au retard de livraison engendré par les problèmes de panne, de qualité du produit livré, etc). Au fil des années, les conséquences de la négligence de ces critères se sont fait ressentir auprès des clients, par conséquent leur importance s'est imposée. Dans leur étude, [Vonderembse *et al*, 95] ont montré que le processus de sélection de fournisseurs devait être multicritères. A ce stade, de nombreuses approches prenant en compte un ensemble de critères font leur apparition telles que les méthodes catégoriques, les méthodes de pondération, les méthodes d'aide à la décision multicritères, etc. Ainsi, pour ce qui est de la sélection de fournisseurs au niveau de la première stratégie, nous pouvons citer l'utilisation de la méthode de programmation mathématique [Ghodsypour et O'Brien, 98]; formulation du problème sous forme de programmation en nombre entier [Chaudry *et al*, 93], programmation non linéaire, goal programming [Hong et Hayya, 92]. Pour ce qui est de la deuxième stratégie, les méthodes les plus utilisées pour assister le client dans sa décision sont : les méthodes de pondération linéaire, les méthodes catégoriques [Dickson, 66] [Stamm et Golhar, 93] la méthode AHP (Analytic Hierarchy Process) [Barbarosoglu et Yazgac, 97] etc.

Le travail que nous présentons dans ce mémoire rentre dans le cadre de travaux dédiés à la deuxième stratégie. En effet, tel que nous l'avons présenté tout au début de cette étude, l'objectif de l'approche que nous proposons est de faire émerger le fournisseur qui aura répondu le mieux à l'Appel d'Offre (AO) lancé au préalable sur le réseau de partenariat par un client tout en respectant les intérêts et en exploitant au mieux les capacités de chacun des partenaires [Ounnar et Pujo, 01]. Ainsi, contrairement au fonctionnement de réseaux de nos jours où le client choisit lui même son fournisseur, dans l'approche que nous proposons chacun des fournisseurs doit s'auto-évaluer face aux Appels d'Offres reçus. L'auto-évaluation est basée sur un ensemble de critères qualitatifs et quantitatifs (coût, qualité, délai, etc.), par conséquent l'utilisation d'une méthode multicritères s'impose. Pour cela, nous avons choisi d'utiliser la méthode multicritères AHP, pour le classement des AOs, ce qui correspond à la première étape du processus d'auto-évaluation que nous proposons et la méthode de pondération pour le calcul de la performance au niveau de la deuxième étape (Cf Figure II.1.1). La justification du choix des deux méthodes multicritère sera donnée plus loin. Cette justification se base principalement sur les travaux de [Ounnar, 99], [Hammami, 03] et [Arnaldi, 04].

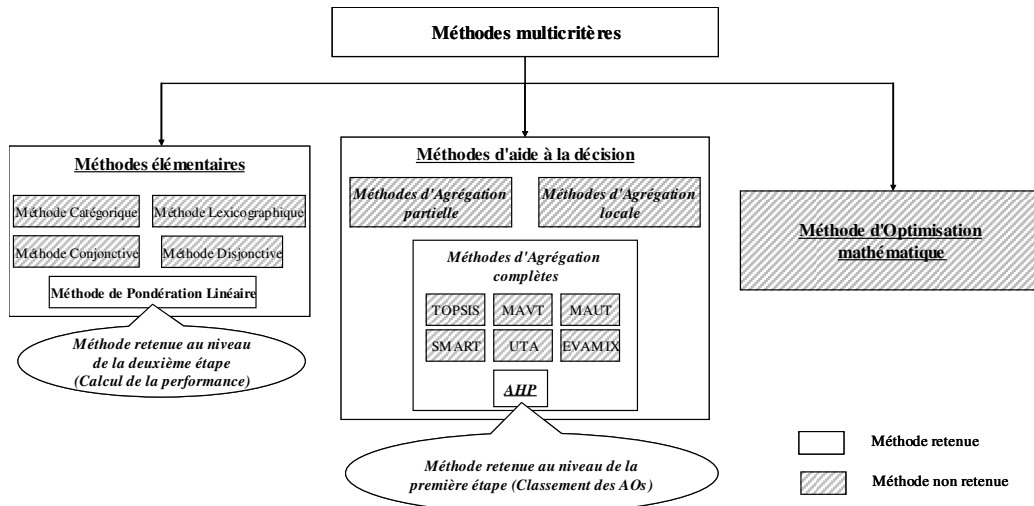


Figure II.1.1 : Illustration de la méthode multicritères utilisée au niveau de chaque étape

II.1.1 Méthodes multicritères

Nous pouvons distinguer trois classes de méthodes multicritères: les méthodes élémentaires, les méthodes d'optimisation mathématiques et les méthodes d'aide à la décision multicritères. Le choix de l'une ou de l'autre des trois classes de méthodes peut dépendre soit des données dont on dispose pour traiter le problème multicritères considéré, soit de la façon avec laquelle le décideur modélise ses préférences [Hammami, 03]. Ces deux points sont détaillés ci-après :

- *Choix des méthodes élémentaires ou des méthodes d'aide à la décision multicritères* : ces méthodes sont utilisées quand le problème posé possède plusieurs solutions. Dans ce cas, le problème considéré se réduit au choix de la meilleure solution. Néanmoins, le choix de la meilleure solution est conditionné par la façon avec laquelle le décideur exprime ses préférences. Ce qu'on appelle en théorie de la décision, la modélisation des préférences. C'est ce qui différencie les deux types de méthodes. En effet, dans les méthodes d'aide à la décision multicritères, le décideur peut se montrer indifférent entre deux solutions possibles. Dans les méthodes élémentaires cette indifférence ne peut être modélisée.
- *Choix des méthodes d'optimisation mathématiques* : ce type de méthode permet le traitement de problèmes avec contraintes mais dont les solutions ne sont pas connues. Les modèles obtenus peuvent être linéaires, linéaires avec variables entières, linéaires mixtes, quadratiques, non linéaires, etc.

Tel que nous l'avons présenté tout au début de ce chapitre, le processus d'auto-évaluation proposé dans cette étude est basé sur deux étapes: dans la première étape, il s'agit pour chacun des partenaires de faire un classement des différents AOs reçus selon plusieurs critères, ce qui lui permet de mettre en évidence l'AO sur lequel il est le plus performant. Par la suite dans la deuxième étape, et afin de se positionner vis-à-vis de ses partenaires du réseau, le fournisseur doit calculer sa performance vis-à-vis de cet AO classé premier. Ainsi, les deux étapes supposent une connaissance des différentes solutions possibles sur lesquelles le décideur devra, dans un premier temps, effectuer un tri puis dans un deuxième temps, calculer la performance du fournisseur sur la meilleure solution (AO classé premier) par rapport à l'ensemble des critères. De ce fait, l'utilisation des méthodes d'optimisation mathématique n'est pas possible. Par conséquent, nous nous limitons dans cette section, à la présentation des méthodes élémentaires et des méthodes d'aide à la décision multicritères.

II.1.1.1 Méthodes élémentaires

Ce sont les méthodes qui viennent immédiatement à l'esprit lorsqu'on est confronté à un problème multicritères. Elles sont d'ailleurs souvent mises en œuvre dans la pratique [Vincke, 89]. De façon générale, dans ces méthodes le décideur procède d'abord à l'association d'un poids " P_c " à chaque critère. Ce poids représente l'importance relative des critères. Par la suite, le décideur associe une note à chaque action¹¹ vis-à-vis de chaque critère notée " P_{ac} ". La note finale de chaque action " F_a " par rapport à " n " critères, se calcule comme suit :

$F_a = \sum_{c=1}^n (p_c)(p_{ac})$. Parmi ces méthodes, on peut citer :

II.1.1.1.1 La méthode catégorique :

a) Fondement de la méthode : Cette méthode consiste à faire une évaluation des performances de chaque action par rapport à chaque critère. Cela peut, par exemple, prendre la forme d'un score compris entre 1 et 5 avec 1 pour "inacceptable". La performance peut aussi être exprimée sous forme d'un terme catégorique simple, par exemple : "bonne", "moyenne", "mauvaise", "satisfaite" ou "insatisfaite". L'évaluation globale ou le score global par action est obtenue par le calcul de la somme des évaluations de cette action par rapport à chaque critère.

b) Avantages et inconvénients de la méthode : La méthode catégorique est l'une des méthodes les plus simples et les plus faciles à mettre en œuvre dans le cadre du traitement de problème de choix ou d'évaluation. C'est une méthode compensatoire¹². Elle permet la classification des actions les unes par rapport aux autres en utilisant le même ordre d'importance pour tous les critères.

Toutefois, la méthode catégorique fait appel à des jugements basés sur la mémoire et l'expérience du décideur. Par conséquent les évaluations des actions par rapport aux critères ne sont pas précises et manquent d'objectivité. Notons par ailleurs qu'au cours de l'utilisation de cette méthode, si deux actions ont atteint le même niveau de performance, il peut être difficile de décider laquelle des deux est réellement la meilleure.

II.1.1.1.2 La pondération linéaire

Les méthodes décrites dans la présente section se basent sur la méthode catégorique précédente. Elles comblent les lacunes de cette dernière (subjectivité, basée sur l'expérience et l'intuition) [Arnaldi, 04].

Dans les modèles pondérés linéaires, des poids sont associés aux critères notés (P_c), un critère d'une importance plus élevée se verra attribué le plus grand poids. Des estimations sur les critères sont alors multipliées par leurs poids (P_{ca}) et additionnées afin d'obtenir une estimation simple pour chaque fournisseur. Cette estimation correspond à la valeur de la fonction F_a décrite ci-dessus. En règle générale, le fournisseur ayant l'estimation globale la plus élevée peut alors être choisi. Ci-dessous sont présentées deux approches similaires de par leur nature mais différentes sur le calcul final de la performance. En effet, ces deux méthodes se basent sur une pondération des critères mais les performances calculées sont d'une part issues d'une simple sommation, et d'autre part d'un ratio.

¹¹ Une action est la représentation d'une éventuelle contribution à l'aide à la décision globale, susceptible d'être envisagée de façon autonome et de servir de point d'application à l'aide à la décision [Roy, 85].

¹² Une bonne performance sur un critère peut être facilement contrebalancée par une faible performance sur un autre critère [Hammami, 03]

a) Pondération linéaire (calcul d'une somme) : Dans [Timmerman, 87], l'auteur a décrit 7 étapes pour parvenir à l'évaluation de la performance d'un fournisseur. Cette méthode consiste à se fixer un ensemble de critères et à les classer en affectant à chacun d'eux un poids (Cf page 195 de l'Annexe I). Cette méthode permet de choisir un fournisseur en faisant une évaluation à partir de plusieurs critères pondérés. Le score final est obtenu en multipliant les notes des critères par leur poids respectif, par la suite, une addition est faite avec tous les résultats partiels obtenus.

b) Pondération linéaire (calcul d'un ratio) : Cette méthode fonctionne sur les mêmes principes que le procédé précédent. Le choix d'un fournisseur se fait suite à l'évaluation de sa performance par rapport à plusieurs critères pondérés. L'entreprise doit ensuite donner une note pour chaque critère. Le score final est calculé à partir de ce travail et est donné par un ratio (la page 196 de l'annexe II présente les mécanismes de cette procédure). Elle doit permettre de rendre la plus objective possible l'évaluation complexe d'un fournisseur.

En résumé, la méthode de pondération permet à l'entreprise qui réalise l'évaluation d'être plus objective et surtout plus systématique dans un processus très subjectif et qui manipule beaucoup de paramètres. Cette méthode prend en compte plusieurs critères et indicateurs qui ne sont pas basés sur des coûts. Elle propose une approche ordonnée, et permet de faire un choix étape par étape d'un fournisseur plutôt que d'un autre.

c) Avantages et inconvénient de la méthode de pondération linéaire : Les méthodes de pondération sont les méthodes les plus utilisées. Elles ont l'avantage d'être faciles à comprendre et à mettre en œuvre. Toutefois leur difficulté réside dans la définition de procédures de conversion des évaluations qualitatives en évaluations quantitatives [Hammami, 03].

II.1.1.1.3 Méthode lexicographique

a) Fondements : La méthode lexicographique s'applique dans certaines situations où nous sommes en mesure d'établir une relation de dominance dictatoriale entre les critères. Ainsi, on ne tiendra compte des critères les moins importants que lorsque les comparaisons effectuées sur ceux de plus grande importance ne permettent pas la discrimination entre les actions. En effet, dans cette méthode, le décideur calcule d'abord les "Fa" (la note finale de l'action a) par rapport à un sous-ensemble des critères qui lui paraissent les plus importants. L'action ayant la valeur de "Fa" maximum sera choisie. Si toutes les actions ont une note pratiquement identique, alors on calcule le "Fa" par rapport à tous les critères et le décideur choisit l'action ayant le meilleur "Fa" [Akbari Jokar, 01].

Expliquons ci-dessous les mécanismes de cette méthode :

- Etape 1 : ranger les critères par ordre d'importance
- Etape 2 : comparer toutes les actions par rapport au critère le plus important.
- Etape 3 : choisir celle(s) qui a (ont) la meilleure performance (Fa) par rapport au critère retenu (le plus important en premier lieu).
- Etape 4 : si plus d'une action sont retenues et s'il reste des critères non encore considérés, alors procéder de la même manière sur la base du critère suivant en terme d'importance.

b) Avantages et inconvénients de la méthode : La méthode lexicographique a le mérite d'être facile à utiliser. Elle permet la mesure des critères sur des échelles hétérogènes. Par ailleurs, elle n'exige pas de fixer des coefficients d'importance pour les critères. Toutefois cette méthode ne prend pas forcément tous les critères en compte.

II.1.1.1.4 Méthode conjonctive

a) Fondements : Cette méthode consiste à se fixer des niveaux minima d'acceptation sur chacun des critères. Ensuite, le décideur élimine dans un premier temps toutes les actions ayant au moins un p_{ac} inférieur au seuil minimal fixé. Dans un deuxième temps, le décideur choisit l'action ayant la valeur de F_a maximum [Akbari Jokar, 01]. La méthode conjonctive se présente comme suit :

- Etape 1 : fixer un niveau minimal n_j pour chaque critère j .
- Etape 2 : vérifier pour chaque action si sa performance sur chaque critère égale ou excède ce niveau minimal fixé.
- Etape 3 : rejeter les actions qui ne respectent pas les exigences minimales.

b) Avantages et inconvénients de la méthode : La procédure conjonctive est facile à utiliser. Elle permet la mesure des critères sur des échelles hétérogènes. Elle exige de fixer des seuils d'admissibilité pour chaque critère et permet ainsi d'extraire un ensemble d'actions jugées assez bonnes parmi toutes les actions possibles. Par ailleurs, elle n'assure pas la comparaison des bonnes actions les unes par rapport aux autres : elle est ainsi totalement non compensatoire. De plus, dans le cas où le décideur est intéressé par le choix d'une seule action, il doit appliquer une autre méthode de sélection aux résultats obtenus par l'application de la méthode conjonctive.

II.1.1.1.5 Méthode disjonctive

a) Fondements : La méthode disjonctive consiste à se fixer des niveaux de satisfaction désirés pour chacun des critères et à sélectionner les actions qui ont les évaluations les plus élevées sur n'importe lequel des critères. Elle conduit à sélectionner les actions qui ont des performances exceptionnelles sur certains critères. La méthode disjonctive se présente comme suit :

- Etape 1 : fixer un niveau désiré n_j pour chaque critère j .
- Etape 2 : vérifier pour chaque action 'a', si sa performance sur au moins un critère est égale ou excède ce niveau désiré.
- Etape 3 : rejeter les actions qui ne satisfont pas cette condition.

b) Avantages et inconvénients de la méthode : La procédure disjonctive est facile à utiliser. Elle permet la mesure des critères sur des échelles hétérogènes. La méthode disjonctive est totalement non compensatoire. Puisqu'il est très rare qu'une action soit la meilleure sur tous les critères, le résultat de l'application de la méthode disjonctive est souvent un ensemble d'actions et non pas une solution unique. Ainsi, dans le cas où le décideur est intéressé par le choix d'une seule action, il doit appliquer une autre méthode de sélection aux résultats obtenus par l'application de la méthode disjonctive.

II.1.1.2 Méthodes d'aide à la décision multicritères

Les méthodes d'analyse multicritères ou, plus exactement, les méthodes d'aide à la décision multicritères sont des techniques assez récentes et en plein développement [Ben Mena, 00]. Par leur manière d'intégrer des critères très divers et souvent antagonistes, les méthodes d'aide à la décision multicritères ont été développées pour traiter des problèmes à objectifs multiples. En effet, ces méthodes s'avèrent d'une aide précieuse pour le décideur au cours de l'affinement de son processus de décision qui porte sur le choix d'une action parmi un ensemble d'actions potentielles, ou sur le classement d'un ensemble d'actions ou de scénarios, en examinant la logique et la cohérence de ses préférences.

Les méthodes d'aide à la décision multicritères sont nombreuses et diverses, toutes comportent quatre grandes étapes dont les trois premières sont communes à toutes les méthodes et ne présentent que de faibles variations [Ben Mena, 00], contrairement à la quatrième étape qui, elle, présente une diversité nettement supérieure. Nous verrons plus loin que cette quatrième étape peut être définie selon trois approches différentes. Une description de chacune de ces étapes est présentée ci-après.

II.1.1.2.1 Les différentes étapes d'une méthode d'aide à la décision multicritères

Dresser la liste des actions potentielles à étudier : Une action potentielle est une action réelle provisoirement jugée réaliste par le décideur en vue de l'aide à la décision.

Dresser la liste des critères à prendre en compte : Ces critères découlent des conséquences des actions. Une conséquence d'une action donnée correspond à tout attribut de cette action susceptible d'interférer avec les objectifs de l'acteur du processus de décision considéré, en tant qu'élément primaire à partir duquel il élabore, justifie ou transforme ses préférences. Les différents types de critères sont alors définis grâce aux notions d'indifférence, de préférence stricte, de préférence faible ou de non comparabilité. Les types de critères les plus utilisés sont : Pseudo critère, Vrai critère, Quasi critère, Pré critère.

L'ensemble des critères ainsi élaborés dans le cadre d'un processus de décision devra former une famille cohérente, c'est-à-dire respecter des exigences d'exhaustivité, de cohésion et de non redondance [Roy, 85].

Etablir le tableau des performances : Ce tableau est constitué de l'ensemble des actions évaluées selon chaque critère. Les lignes représentent les actions et les colonnes représentent les critères selon lesquels les actions seront évaluées. Ce tableau peut contenir également des informations complémentaires sur ces critères telles que : les poids éventuels associées à chaque critère.

Agréger les performances : L'agrégation des préférences consiste à exploiter les évaluations des actions sur les différents critères définis dans l'étape précédente afin de générer une évaluation globale. Selon [Roy, 85], dans certains contextes décisionnels, une modélisation élaborée des préférences du décideur est requise. L'approche de modélisation de préférences multicritères consiste à bâtir une famille de critères reflétant des points de vue spécifiques à partir desquels ils convient de construire, d'argumenter, voire de faire évoluer des opinions ou convictions relatives à des préférences. Chaque action potentielle reçoit alors non plus une performance mais autant qu'il y a de critères dans la famille. Ces performances peuvent être situées sur des échelles très hétérogènes : prix, qualité, risque, part de marché, pollution, durée, confort, etc. La comparaison de deux actions potentielles n'est immédiate que dans le cas très particulier où elle s'opère de la même façon pour chacun des critères. Pour asseoir cette comparaison dans le cas général, on peut (entre autre procédure) bâtir un critère unique de synthèse. Cette approche reste néanmoins multicritères. Elle ne doit pas être assimilée à une approche monocritère qui fait tout d'abord l'économie d'une analyse mettant en évidence des points de vue structurants, ensuite celle d'une modélisation des préférences propres à chacun de ces points de vue [Barthélemy et Lema, 05]. Pour conclure, la modélisation de préférences consiste à élaborer une représentation formalisée de préférences relativement aux actions potentielles. Selon les exigences du décideur, il est possible de distinguer trois approches opérationnelles pour l'agrégation des préférences :

- *Agrégation complète* : Dans cette approche d'inspiration américaine, les différents critères sont synthétisés dans une seule fonction mathématique monotone (à sens d'évaluation unique). A partir des évaluations des différents critères, la fonction d'optimisation résultante dite d'utilité ou d'agrégation, produit donc une valeur unique évaluant

globalement la solution [Jaziri, 04]. Cette approche est utilisée dans le cas où le décideur est capable de juger toute paire d'actions {a, b} et ce selon un des cas suivants : a est préféré à b, b est préféré à a ou le décideur est indifférent entre a et b. L'approche suppose que tous les jugements soient commensurables¹³ et transitifs et exclut toute incomparabilité¹⁴ entre deux actions. Les méthodes relevant de cette approche conviennent bien aux problèmes dont les critères sont indépendants, autrement dit, lorsque tous les critères interagissent sur la décision finale.

- *Agrégation partielle* : Appelé encore "approche du surclassement de synthèse", cette approche accepte l'incomparabilité et l'intransitivité des indifférences¹⁵. Dans cette approche, la technique consiste à comparer les actions deux à deux et à vérifier si selon certaines conditions préétablies, l'une des deux actions surclasse l'autre ou pas. Une solution S1 surclasse (ou domine) S2 si, par exemple, S1 est meilleure que S2 sur au moins un critère tout en étant au moins aussi bonne qu'elle sur tous les autres critères. A partir de cette comparaison, on tente ensuite de réaliser une synthèse ou un graphe des relations entre les solutions qui permet suivant le type de résultat escompté, d'établir un tri, un classement, une description ou un choix de solutions [Jaziri, 04]. Les méthodes d'agrégation partielle vont donc se différencier par leurs façons de réaliser ces deux étapes. Notons par ailleurs, que dans ce type de méthodes, des seuils d'acceptation pour chaque critère peuvent être introduits afin de cerner l'évolution des critères pris en compte.
- *Agrégation locale* : Contrairement aux deux précédentes approches où l'on suppose que l'ensemble des actions est fini et de dimension raisonnable, cette approche s'applique à des ensembles d'actions d'une très grande dimension voire infinis lorsque les actions varient en continu. Partant d'une solution de départ, la technique permet de chercher au voisinage de cette solution s'il n'y en a pas de meilleure et ce de manière répétitive. Développées dans le cadre de la programmation mathématique aux objectifs multiples, ce type de méthode alterne les étapes de recherches des solutions et les étapes d'interaction avec les décideurs [Jaziri, 04].

1. *Etape de recherche/exploration* : à partir d'une solution de départ aussi bonne que possible, un processus itératif à base d'exploration locale de l'espace de recherche consiste à rechercher les solutions relativement proches de la solution initiale.

2. *Etape d'interaction* : l'ensemble des solutions retenues est communiqué aux décideurs afin de collecter les informations concernant leurs préférences vis-à-vis de ces solutions. La solution préférée par le décideur est retenue pour constituer la solution de départ pour l'itération suivante.

La critique adressée à cette approche est la difficulté de définir les conditions d'arrêt du processus de recherche de solutions ou de garantir la satisfaction du décideur après un nombre déterminé d'itérations.

II.1.1.2.2 Choix de la méthode d'aide à la décision multicritères

Le choix d'une méthode à appliquer face à une situation donnée dépend en grande partie des informations contenues dans les critères et des relations de commensurabilité, de dépendance

¹³ Les critères se basent sur la même échelle de mesure.

¹⁴ Intervient par exemple lorsqu'une personne se retrouve face à des alternatives sans qu'elle puisse dire laquelle elle préfère.

¹⁵ Etre indifférent entre a et b et entre b et c ne signifie pas forcément que l'on est indifférent entre a et c.

ou de transitivité qui peuvent exister entre elles [Laaribi, 95]. Dans [Rousseaux et Apostol, 00] les auteurs rappellent par ailleurs que le choix de la méthode adéquate est lié à la manière dont les critères interagissent entre eux. Ils proposent trois notions qui permettent d'appréhender cette interaction et de faciliter le choix de la méthode. Ces trois notions sont résumées ci-dessous :

Le choix d'un type de compensation : Il s'agit là de la manière dont une mauvaise évaluation dans un critère peut être compensée ou non par une bonne évaluation dans un autre critère. L'agrégation globale est l'exemple type d'une méthode fortement compensatoire, ce qui n'est pas le cas pour les méthodes d'agrégation partielle qui sont des méthodes non compensatoires.

Le choix primordial des coefficients de pondération : On parle de pondération de critères dès l'instant où l'on se préoccupe de caractériser le rôle respectif qui doit être dévolu à chacun des critères d'une famille pour asseoir des comparaisons sur la base de toutes performances. Ce sujet est source de difficulté pour la mise en œuvre de la plupart des approches d'agrégation multicritères [Barthélemy et Lema, 05]. Notons par ailleurs que quelque soit l'approche choisie, une part de subjectivité est inhérente au choix des coefficients de pondération [Garbely et Genoud, 02], l'important reste cependant de pouvoir identifier clairement la part de subjectivité et la part d'objectivité.

L'indépendance des critères : Si certains critères interagissent sur la décision finale, il faut trouver une solution permettant de tenir compte de cette interaction. Une solution envisageable consiste à agréger les critères interactifs par une méthode d'agrégation globale (ou complète) prenant en compte les interactions.

Ainsi et au vu de l'analyse présentée ci-dessus, nous pouvons conclure que seules les méthodes relevant de l'approche de l'agrégation complète peuvent répondre aux objectifs attendus dans le processus de l'évaluation proposé dans cette étude. En effet, l'évaluation de la performance d'un fournisseur donné vis-à-vis d'un ensemble d'AOs doit être le résultat de l'interaction de tous les critères considérés dans cette étude. Par conséquent, aucun critère ne peut être mis à l'écart au cours du processus de l'évaluation. Pour cela, nous présentons dans ce qui suit, uniquement les méthodes d'agrégation complète.

II.1.1.2.3 Méthodes d'agrégation complète

1. La méthode TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution)

a) Fondement : La méthode TOPSIS est une méthode multicritères développée par Hwang et Yoon en 1981. Cette méthode se base sur la relation de dominance qui résulte de la distance par rapport à la solution idéale. Son fondement consiste à choisir une solution qui se rapproche le plus de la solution idéale (meilleure sur tous les critères) et de s'éloigner le plus possible de la pire solution qui dégrade tous les critères [Hammami, 03]. Les différentes étapes de la méthode TOPSIS sont décrites dans la page 198 de la L'annexe II.

b) Avantages et inconvénients : La méthode TOPSIS se caractérise par l'introduction des notions d'idéal et d'anti-idéal. Elle est facile à appliquer. Toutefois, cette méthode présente certaines limites telles : les critères doivent être de nature cardinale, elle prend en compte l'indépendance des critères mais pas l'interdépendance. Notons par ailleurs que la méthode TOPSIS est partiellement compensatoire.

2. La méthode MAVT (Multiple Attribut Value Theory)

a) Fondement : La méthode MAVT repose sur l'idée fondamentale suivante : chaque décideur essaie inconsciemment (ou implicitement) de maximiser une fonction $V=V [g1, g2, \dots, gn]$ qui agrège tous les critères. La particularité de la méthode MAVT réside dans l'idée de

construction d'une fonction de valeur partielle pour chaque critère. La meilleure action sur un critère aura une valeur partielle (par rapport au critère étudié) égale à 1 et la pire des actions aura une valeur partielle égale à 0. En posant des questions au décideur, les fonctions de valeurs partielles sont construites. Ensuite, la fonction de valeur V est construite, et ce en fonction des caractéristiques des préférences du décideur. La méthode MAVT s'applique dans un contexte caractérisé par un ensemble d'actions explicite, une articulation a priori des préférences et un univers déterministe (les évaluations des actions par rapport à chaque critère sont certaines). Les différentes étapes de la méthode MAVT sont présentées en page 199 de l'annexe II.

b) Avantages et inconvénients : La méthode MAVT est une procédure très exigeante du point de vue informationnel. Par ailleurs la construction des fonctions de valeurs n'est pas toujours une tâche évidente. La construction de la fonction analytique V est une tâche ardue. L'exploitation de la forme additive n'est possible que sous des hypothèses très restrictives du point de vue théorique. La méthode MAVT est partiellement compensatoire [Hammami, 03].

3. La méthode MAUT (Multiple Attribut Utility Theory)

a) Fondement : Comme son nom l'indique, cette méthode est basée sur la théorie de l'utilité. Elle est basée sur l'affectation d'un niveau d'utilité à la performance d'une action potentielle sur un critère. Il s'agit d'une utilité au sens de Von Neumann and Morgenstern, 1947, reposant sur une prise en compte probabiliste de la mauvaise connaissance et reflétant l'attitude face au risque. Les évaluations d'une action sur chacun des critères prennent ici la forme d'une espérance d'utilité. Celles-ci se situent toutes sur une échelle commune qui est une échelle d'intervalle et cela même si à l'origine certains des critères font intervenir des appréciations qualitatives pourvu qu'elles se situent sur une échelle ordinale [Damart *et al*, 00]. La méthode MAUT s'applique dans un contexte caractérisé par un ensemble d'actions explicite (fini), une articulation a priori des préférences et un univers incertain (les évaluations des actions par rapport à chaque critère sont incertaines) [Hammami, 03]. De plus cette approche est considérée comme une méthode formelle et transparente se basant, dans la modélisation des préférences, sur un modèle d'utilité multi-attributs qui lui, agrège un ensemble de fonctions d'utilités partielles. Cette agrégation permet une compensation complète entre utilités partielles. La méthode MAUT est donc complètement compensatoire [Aouni, 98]. La méthode MAUT exige les mêmes étapes que la méthode MAVT. Notons par ailleurs que MAUT et MAVT diffèrent de leur attitude face au risque. Alors que la méthode MAUT se base sur une fonction d'utilité, permettant la prise en compte des connaissances probabilistes incertaines. MAVT affecte une valeur déterministe (non imprégnée d'incertitude ou qui n'est pas une utilité au sens de Von Neumann and Morgenstern) prise sur une échelle commune à l'ensemble des évaluations des actions potentielles sur chacun des critères agrégés. Autrement dit, les fonctions d'utilité ou les fonctions de valeurs servent à modéliser mathématiquement la structure de préférence du décideur. En effet, la fonction d'utilité est utilisée si le problème est stochastique. En revanche si le problème est déterministe une fonction de valeur est alors utilisée. Ces fonctions sont ensuite utilisées, pour identifier la meilleure solution [De Montis *et al*, 00].

b) Avantages et inconvénients : La méthode MAUT présente quelques inconvénients notamment son recours à l'utilisation de beaucoup de suppositions dans la fonction d'utilité globale. Toutefois, les utilisateurs de cette méthode se trouvent quelques fois dans l'obligation de simplifier la démarche prescrite par cette théorie pour pouvoir l'appliquer dans des cas où les hypothèses qu'elle présuppose ne sont pas satisfaites. Cependant la lourdeur et l'opacité de la démarche que prescrit MAUT ne paraît pas de nature à pouvoir favoriser la concertation ni

accroître la légitimité des décisions [Damart *et al*, 00]. La méthode MAUT est complètement compensatoire.

4. La méthode SMART (Simple Multiple-Attribut Rating Technique)

a) Fondement : La méthode SMART est basée sur la forme additive dans l'agrégation des évaluations sur les différents critères. L'explicitation des fonctions d'utilité passe par plusieurs étapes où le décideur est appelé, en premier lieu, à ranger les attributs selon un ordre de préférence et, en deuxième lieu, à faire du classement. Par la suite, une procédure de normalisation est utilisée avant de procéder au calcul des utilités partielles des alternatives [Aouni, 98]. Le détail de chacune de ces étapes est présenté en page 200 de l'annexe II.

b) Avantages et inconvénients : La méthode SMART permet la prise en compte de critères qualitatifs et quantitatifs. Néanmoins, comme la méthode MAUT, la méthode SMART repose sur les fonctions d'utilités qui sont difficiles à concevoir. Cette méthode ne prend pas en compte l'interdépendance qui peut exister entre certains critères.

5. La méthode UTA (Utility Theory Additive)

a) Fondement : La méthode peut être utilisée pour résoudre les problèmes de choix ou de rangement multicritères sur un ensemble A d'actions. Son principe est basé sur la construction d'une fonction d'utilité à partir d'un pré ordre défini par l'utilisateur sur un sous-ensemble A' d'actions de référence. La procédure, basée sur un principe de régression ordinale¹⁶, consiste à résoudre un programme linéaire. Les différentes étapes nécessaires à l'application de la méthode UTA sont présentées en page 201 de l'annexe II.

b) Avantages et inconvénients : La méthode UTA utilise la même base axiomatique que la méthode MAUT. Toutefois, elle ne cherche pas à fixer directement les fonctions d'utilité partielles comme dans MAUT. Dans UTA, les fonctions d'utilité partielles découlent toutes à la fois de la préférence globale exprimée par le décideur. On assiste donc à une sorte de désagrégation de la fonction d'utilité totale en des utilités partielles. La méthode UTA exige des données cardinales, une articulation à priori des préférences. Par ailleurs, UTA exige l'indépendance au sens des préférences. UTA est une méthode compensatoire [Hammami, 03]

6. La méthode Evamix (EVALuation of MIXed Criteria)

a) Fondement : Dans cette méthode l'évaluation matricielle des actions peut contenir des types différents de données à savoir les données qualitatives et quantitatives. Développée par Henk Voogd, l'application de cette méthode se base sur cinq étapes différentes. Dans une première étape il s'agit de distinguer entre les critères cardinaux et ordinaux, par la suite calculer l'indice de dominance pour chacun des deux types de critères (cardinal et ordinal) ce qui correspond à la deuxième étape. Dans la troisième étape, ces deux indices sont normalisés. Pour pouvoir calculer en quatrième étape la mesure globale de la dominance puis enfin, le score global par action est calculé à la cinquième étape [De Montis *et al*, 00].

b) Avantages et inconvénients : Partant d'une matrice d'évaluation qui elle, est construite à la première étape de l'application de la méthode Evamix, cette méthode ne prend pas en compte l'interdépendance qui peut exister entre certains critères d'évaluation. Notons par ailleurs que cette méthode permet la prise en compte de tous les critères d'évaluation considérés dans une étude donnée [De Montis *et al*, 00].

¹⁶ Cette étape consiste à déterminer la fonction d'utilité totale qui colle le mieux avec les données (classement des actions et la matrice des jugements) [Hammami, 03].

7. La méthode AHP (Analytic Hierarchy Process)

a) Fondement : Développée par Thomas Saaty en 1980, AHP est un outil de prise de décision pour des problèmes multicritères complexes pour lesquels des aspects qualitatifs et quantitatifs doivent être incorporés. La méthode AHP aide les décideurs à structurer les composantes importantes d'un problème en une structure hiérarchique semblable à une arborescence. Puis les résultats sont synthétisés en ramenant des décisions complexes à une série de comparaisons et de rangements. AHP est donc un processus de prise de décision qui interprète directement les données et les informations en formant des jugements sur lesquels on exécute une échelle de mesure à l'intérieur d'une structure hiérarchique. AHP s'effectue en quatre phases [Ounnar, 99] :

- Etape 1 : construction d'une structure hiérarchique pour le problème de décision.
- Etape 2 : comparaison par pair des éléments de chaque niveau de la hiérarchie construite.
- Etape 3 : estimation d'un poids relatif entre les éléments de deux niveaux adjacents. Ce qui développe des priorités pour les alternatives.
- Etape 4 : agrégation des poids relatifs des différents niveaux de la hiérarchie afin de pouvoir fournir un classement des alternatives de décision.

Une description détaillée de chacune des quatre étapes est présentée au paragraphe I.2.3.1.1.

b) Avantages et inconvénients : Contrairement à toutes les méthodes d'aide à la décision multicritères citées ci-dessus, la méthode AHP est la seule méthode qui permet d'une part la mesure de la cohérence des préférences du décideur et d'autre part la prise en compte à la fois de l'indépendance et de l'interdépendance des critères d'évaluations considérés. La prise en compte de l'interdépendance se traduit par la construction d'une structure hiérarchique reflétant ainsi les différents niveaux selon l'interdépendance entre les critères. Les éléments de la hiérarchie (critères, sous critères, alternatives) ne sont pas forcément liés entre eux, néanmoins ils peuvent être groupés dans des ensembles disjoints. Si une interdépendance entre quelques éléments est recommandée, ces derniers seront placés au même niveau de la hiérarchie puis, ils seront connectés au même élément du niveau supérieur adjacent. Par conséquent, cette méthode permet l'utilisation de liste complète des critères d'évaluation sans en exclure aucun. Notons également que la méthode AHP permet la prise en compte de critères qualitatifs et quantitatifs. Toutes ces caractéristiques constituent les points forts de la méthode AHP.

Après avoir présenté un état de l'art sur les différentes méthodes multicritères existantes et après avoir mis en évidence les points forts et les points faibles de chacune d'elles, il convient maintenant de choisir la méthode à utiliser dans l'approche que nous proposons (processus d'auto-évaluation). Avant d'effectuer un choix sur l'une ou l'autre des méthodes présentées ci-dessus, nous présentons pour arriver à l'évaluation de la performance d'un fournisseur sur un AO donné. Cette description sera suivie d'une justification de la méthode multicritères retenue et d'une illustration de cette dernière. Rappelons que le processus d'évaluation que nous proposons est basé sur deux étapes : classement des AOs et calcul de la performance du fournisseur sur l'AO classé premier.

II.2 Classement des AOs : Première étape du processus d'auto-évaluation

Dans le fonctionnement de l'approche que nous proposons, lorsqu'un client lance un Appel d'Offre (AO), ce dernier sera muni d'informations définies par le client, telles que le nom de l'entité émettrice, la description du travail à effectuer sur le produit, la quantité désirée, la date de fin de négociation, le délai de livraison souhaité, ... Toutes les EPAs qui sont connectées au

réseau vont réceptionner cet AO. Une fois l'AO reçu par une EPA, le module d'interaction va vérifier la faisabilité de l'AO en terme de métier et procède ensuite à la transmission des caractéristiques de l'Appel d'Offre au module d'optimisation en vue d'une auto-évaluation. A cet effet, le module d'optimisation procède au classement des AOs reçus selon plusieurs critères, ce qui correspond à l'objectif de la première étape. Le classement de tous les AOs est basé sur un système d'indicateurs. Quels sont ces indicateurs ? Comment élaborer le système d'indicateurs ? Nous proposons de répondre à toutes ces questions par la description de la démarche suivie dans l'élaboration du système d'indicateurs. Notons que la démarche que nous allons décrire est tirée du travail de [Glacet, 02].

II.2.1 Elaboration des indicateurs

Dans l'élaboration de notre système d'indicateurs, nous nous sommes basés sur une méthode existante et fiable. La présente section présente de façon explicite cette méthode pour présenter par la suite l'application de celle-ci à notre cas d'étude avant de passer à la formalisation de l'ensemble des indicateurs retenus.

II.2.1.1 Méthode de construction des indicateurs

Accepter de mesurer les activités, les moyens et les résultats par le biais d'indicateurs est souvent une étape importante, permettant de passer d'une culture floue à une culture du quantifier. Il existe aujourd'hui, tant dans la littérature que dans la vie des entreprises, une liste impressionnante d'indicateurs types. La réelle pertinence d'un indicateur ne peut découler que du contexte et du terrain propres à chaque entreprise. Or on ne peut obtenir les informations nécessaires à l'élaboration des indicateurs, qu'en menant une réflexion qui permet de sélectionner un indicateur en le reliant étroitement à une zone d'action. C'est à cette condition seule, que l'indicateur sera pleinement efficace.

II.2.1.1.1 Critères de sélection d'un indicateur

Un indicateur doit rendre fidèlement compte d'un élément mis sous contrôle; c'est donc une donnée objective qui décrit un élément. De nombreux documents portant sur l'évaluation de performance proposent des critères de sélection des indicateurs. Avant de formaliser un indicateur, il y a lieu de se poser un certain nombre de questions qui permettront de le fiabiliser. A partir d'ouvrages [Cerruti et Gattino, 92] [Selmer, 97], nous avons extrait les critères suivants :

a) Pertinence

- Pertinence/besoins : Les indicateurs doivent fournir une information répondant à un besoin de l'entreprise ou des parties intéressées.
- Objectif : Chaque indicateur doit être lié à un objectif auquel il se compare.
- Lisibilité : Simplicité d'interprétation et de compréhension, non ambiguïté.
- Existence d'un consensus des parties intéressées quant à la validité de l'indicateur.

b) Justesse d'analyse

- Représentativité : Représentation fidèle et synthétique de la situation ou du phénomène auxquels on s'intéresse.
- Justesse d'analyse : Construction sur une base scientifique et technique saine. Objectivité et non ambiguïté des résultats.

- Cohérence dans le temps et dans l'espace, pour permettre la comparaison (entre site, au niveau national, international...), le suivi et le dégagement de tendances.
- Existence de valeurs de référence permettant de situer l'indicateur.

c) Données

- Mesurabilité : Accessibilité des données.
- Sensibilité : Variation de l'indicateur pour une faible variation du phénomène observé et avec un temps de réponse acceptable.
- Précision : Marge d'erreur acceptable.

Les indicateurs doivent être *quantitatifs* dans la mesure du possible, c'est-à-dire que les indicateurs ne doivent être *qualitatifs* que lorsque le quantitatif est impossible.

Dans la pratique, il est souvent difficile de réunir l'ensemble de ces critères, mais il est souhaitable de s'en approcher au maximum pour obtenir des indicateurs réellement utiles et fiables.

I.2.1.1.2 Présentation de la méthode de construction du système d'indicateurs

Le choix des critères de sélection permet de vérifier la validité d'un indicateur, mais ne constitue pas une réelle aide à sa construction. L'ouvrage [Cerruti et Gattino, 92], édité par l'AFNOR, propose une méthode de construction des indicateurs, qui s'attache au suivi des différentes étapes permettant d'arriver à la définition finale d'un indicateur. La méthode proposée par l'AFNOR vise plus particulièrement à la construction d'indicateurs pour la gestion de production, mais les principes et les étapes suivies restent parfaitement appropriés pour les indicateurs que nous devons définir et formaliser, dans le cadre de l'évaluation de fournisseurs. La Figure II.2 1 représente ces étapes successives.

La première étape consiste donc en la *définition du champ de mesure*, c'est à dire du domaine auquel on s'intéresse et sur lequel va porter la mesure.

Une fois le champ de mesure défini, on passe à la définition du but que l'on cherche à atteindre dans ce champ. C'est l'étape suivante, le *choix des objectifs*. A ce stade de la réflexion, les objectifs n'ont pas besoin d'être quantifiés, leur définition permet en fait de passer à l'étape suivante, *l'identification des variables*. On recherche à ce stade les éléments qu'il est nécessaire de suivre pour se situer par rapport aux objectifs. Ces variables doivent être traduites par des paramètres mesurables, qui peuvent être nombreux et parmi lesquels il est nécessaire de faire un tri selon l'importance du paramètre ou son accessibilité. C'est l'étape de *choix des paramètres mesurables*.

Une fois cette sélection des paramètres menée à bien, il est nécessaire de les transcrire en données quantifiables, et éventuellement de les combiner pour obtenir un indicateur global. C'est l'étape de *sélection des indicateurs*. On obtient ainsi un corps d'indicateurs, censés être représentatifs du domaine ou du phénomène que l'on veut observer ou suivre.

Avant de les mettre en œuvre, il est préférable de vérifier leur cohérence et leur pertinence. C'est l'étape de *validation des indicateurs sélectionnés*. La lecture de l'indicateur doit permettre, sans ambiguïté, de faire le point sur le champ de mesure choisi. A ce stade, on réalise en fait une simple vérification de la cohérence dans le suivi des étapes précédentes. Une vérification approfondie doit être régulièrement effectuée pendant l'utilisation réelle de l'indicateur, notamment pour vérifier sa validité dans le temps.

On dispose finalement d'un ensemble d'indicateurs, a priori pertinents. Pour en faire un véritable outil de communication, il est nécessaire de les organiser dans une présentation

offrant une bonne visualisation des résultats. A ce niveau, il est souhaitable de préciser les différents attributs de chaque indicateur. En effet, un indicateur doit avoir un *nom*, une *définition*, un *mode de calcul*, une *unité de mesure*, une *fréquence d'actualisation*, une *source d'origine* et une *maille de validité*.

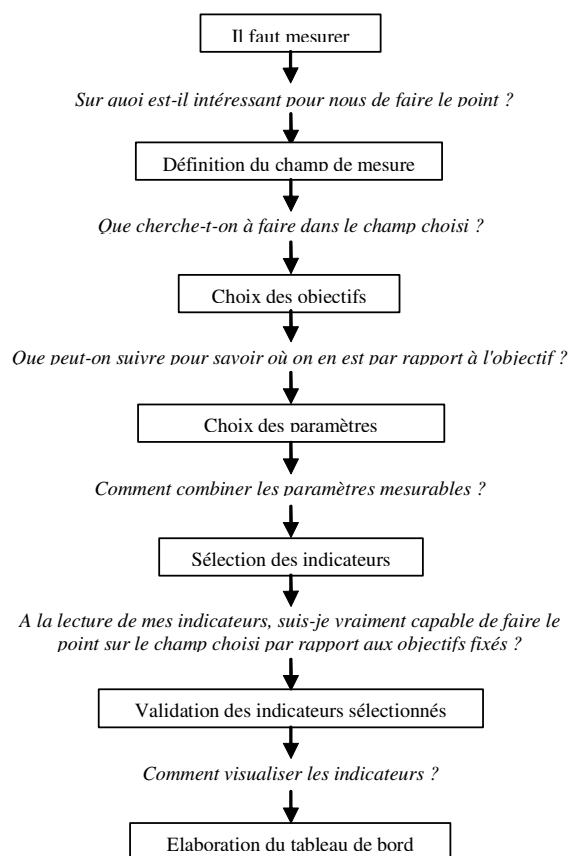


Figure II.2 1 : Processus d'élaboration d'un tableau de bord [Cerruti et Gattino, 92]

Maintenant que nous avons pris connaissance de la méthode, nous allons l'appliquer afin de déterminer avec précision notre objectif global, nos critères ainsi que nos indicateurs.

II.2.1.2 Elaboration du système d'indicateurs

II.2.1.2.1 Définition du champ de mesure

Identifier un champ de mesure revient donc à définir dans un premier temps le cadre et les limites dans lesquels va s'impliquer la mesure. La taille d'un champ importe peu, puisqu'elle ne conditionne en aucune manière le choix des indicateurs. Le champ est donc la cible des actions d'amélioration à mettre en œuvre au sein des entités clients-fournisseurs concernés par les indicateurs à construire. Pour autant il n'y a pas de règle ni de liste préétablie de champs à étudier. On peut toutefois, pour définir celui sur lequel il est bon de faire le point, s'appuyer sur la raison d'être, la véritable mission, la vocation des entités concernées. En effet, formuler la réponse à une question simple telle que "quelle est notre raison d'être ?" ou "pourquoi sommes-nous là ?", aide à choisir les champs d'action prioritaires.

Notre champ de mesure dans le cadre de l'établissement d'une méthode d'évaluation de fournisseur au sein d'un réseau logistique se définit comme "**La capacité d'un fournisseur à répondre aux besoins d'un client**"

Cette première étape franchie, nous avons finalement défini par le champ ce que nous voulons mesurer. Il manque l'élément fondamental qui donne tout son sens à la mesure : le but que l'on cherche à atteindre dans le champ d'action qui a été prédéterminé. "Que cherche-t-on à faire dans le champ choisi ?", telle est, à ce stade, la question à se poser. Y répondre revient à effectuer un choix d'objectif.

II.2.1.2.2 Choix des objectifs

Une fois le champ défini, il convient d'identifier ce vers quoi l'on tend, ce que l'on cherche à atteindre. Ce sont les objectifs qui donnent tous leurs sens à la mesure (Cf. Figure II.2.2). Donc voici les objectifs à atteindre dans le cadre de notre étude :

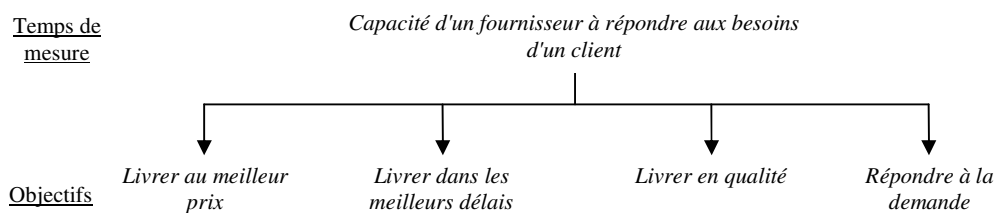


Figure II.2.2 : Choix des objectifs à suivre.

A partir du moment où nous avons défini le champ (vocation), les objectifs (ce que l'on cherche à atteindre) il convient de définir un ou des éléments qui nous permettront de savoir où nous sommes par rapport à ces objectifs lors de la mesure. Ces éléments sont des variables et la question qui se pose est la suivante : Que peut-on suivre ? Où on est par rapport à l'objectif ?

II.2.1.2.3 Identification des variables

Le problème qui se pose maintenant est d'identifier les variables, ce qui permettra de faire le point par rapport à l'objectif. Voici comment se décomposent nos objectifs en terme de variables (Cf. Figure II.2.3).

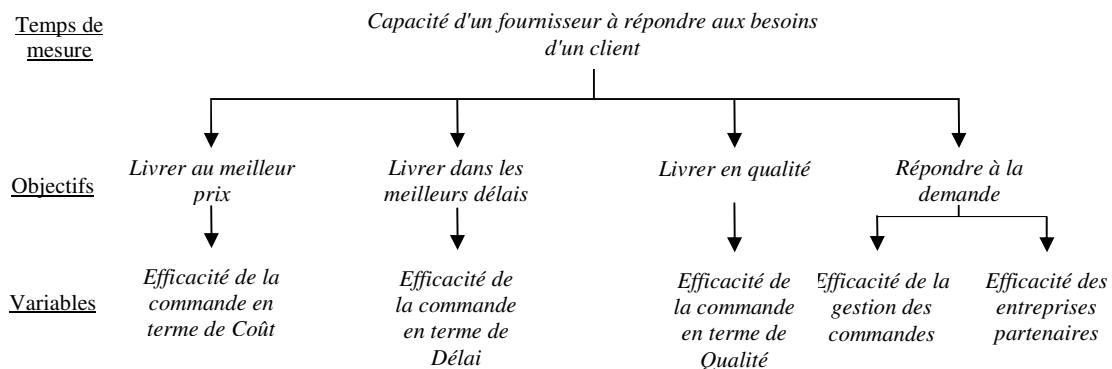


Figure II.2.3 : Choix des variables à suivre

En fait suivre une variable dont nous avons validé la pertinence revient à faire le point par rapport à l'objectif. A ce stade, la principale question que nous nous posons concerne les moyens à employer pour quantifier cette variable. Trouver les paramètres permettant de quantifier la variable, telle est l'étape n 4 de notre méthode.

II.2.1.2.4 Choix des paramètres mesurables

Une variable est en fait un combiné de caractéristiques mesurables. Une fois listés, ces différents paramètres nous serviront à sélectionner les indicateurs pertinents. A ce stade de la méthode, la créativité et le bon sens sont les deux éléments essentiels qui vont garantir la progression du travail (Cf. Figure II.2.4).

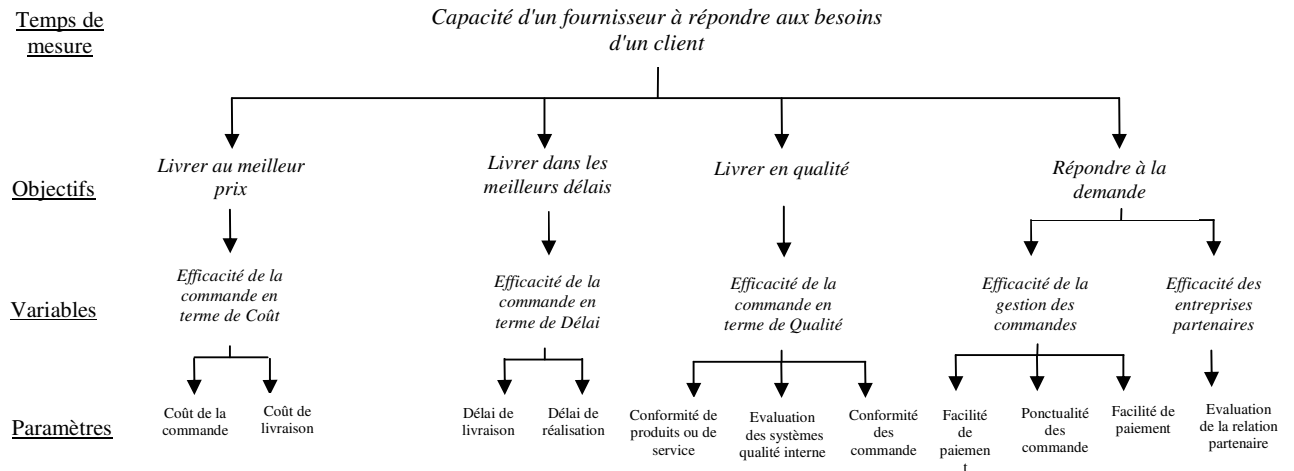


Figure II.2.4 : Choix des paramètres mesurables.

Cet effort de créativité se révèle en fait très utile, d'autant qu'il suffit maintenant de trier et de sélectionner les paramètres apparaissant comme essentiels pour choisir nos indicateurs. Comment combiner les paramètres mesurables est l'ultime problème à résoudre pour mener à bien l'étape à venir : la sélection des indicateurs.

II.2.1.2.5 Sélection des indicateurs

A ce stade de la méthode, la sélection des indicateurs peut se faire aisément puisqu'il s'agit en fait de transcrire les paramètres mesurables des variables suivies en données chiffrées. La difficulté est de trouver l'indicateur le plus pertinent (Cf. Figure II.2.5).

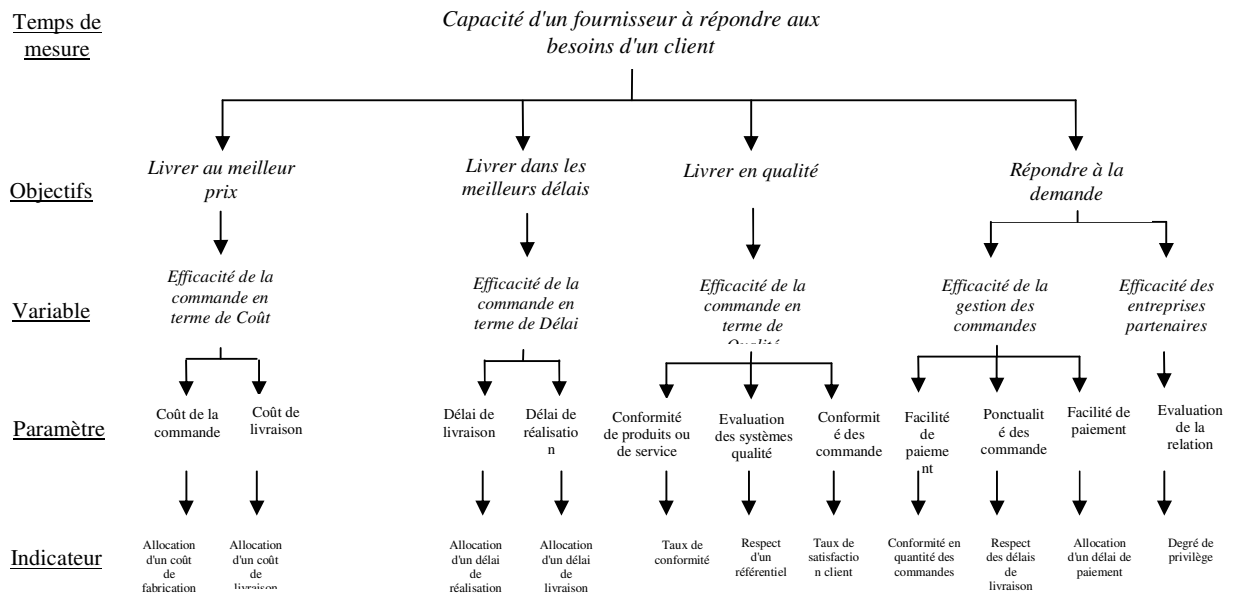


Figure II.2.5 : Choix et sélection d'indicateurs.

Tous les indicateurs issus des paramètres de la variable sont nécessairement corrects, mais certains sont plus complets et donc plus pertinents que d'autres. La Figure II.2.5 présente les indicateurs retenus pour déterminer la capacité d'un fournisseur à répondre aux besoins d'un client.

Une fois que nous avons sélectionné les indicateurs, il convient de valider leur pertinence. Il est par conséquent logique pour valider la pertinence de l'indicateur de se poser la question : A la lecture des indicateurs ainsi sélectionnés, sommes-nous vraiment capable de faire le point sur le champ choisi par rapport aux objectifs fixés ?

II.2.1.2.6 Validation des indicateurs sélectionnés

Avant de mettre en œuvre sur le terrain les indicateurs que nous avons bâtis, il convient de s'assurer de leur cohérence. Dans l'affirmative, la simple lecture de l'indicateur doit permettre de faire le point sur le champ de mesure choisi.

Maintenant que nous avons défini les indicateurs qui nous permettront d'évaluer les fournisseurs selon des critères communs à tous, nous allons les formaliser.

II.2.2 Formalisation des critères et des indicateurs

L'ensemble des indicateurs pré-sélectionnés ci-dessous est réparti sur cinq critères (Coût, Délai, Qualité, Fiabilité et Stratégique). Nous allons passer en revue l'ensemble de ces critères afin de formaliser les indicateurs respectifs qui les composent.

II.2.2.1 Critère Coût "C1"

L'objectif de ce critère est de livrer le client au meilleur prix. Comme vous avez pu le voir sur la Figure II.2.5, le critère coût est décomposé en deux indicateurs. Ce critère tient compte des différents coûts qui entrent en jeu dans le coût d'acquisition du bien. Ce critère est de nature quantitative.

Coût de la commande "I11" : I₁₁ est une évaluation quantitative du prix d'acquisition de la commande hors taxe, en excluant le coût de la livraison de celle-ci [D'Amours *et al*, 01]. Ce coût peut être composé du coût de la matière première, du coût horaire, du coût des consommables, de l'amortissement des stocks d'encours, etc....

Coût de livraison de la commande "I12" : I₁₂ est une évaluation quantitative du prix hors taxe de la livraison de la commande en question. Il est à noter que d'un fournisseur à l'autre la méthode de facturation de la livraison peut être très différente. En effet, il peut s'agir d'un forfait dépendant du poids ou de la quantité de la commande ou encore le coût de la livraison peut être fonction de la distance entre le site de production et celui à livrer. Certains fournisseurs effectuent la livraison de la commande sans la facturer.

II.2.2.2 Critère Délai C2

L'objectif de ce critère est de livrer le client dans les meilleurs délais. Le délai est le temps qui s'écoule entre l'expression d'un besoin par le client et la satisfaction effective de ce besoin, en fournissant le produit ou le service demandé dans la qualité demandée et en quantité demandée, la disponibilité immédiate correspond au délai zéro.

Date de réalisation I21 : I₂₁ est une évaluation quantitative de la date à laquelle la commande sera prête. Il peut s'agir de la somme des temps opératoires nécessaires à l'élaboration de la commande [Ounnar, 99].

Délai de livraison "I22" : I₂₂ est une évaluation quantitative du délai de transfert ou d'expédition de la commande du fournisseur au client [Shin *et al*, 00].

II.2.2.3 Critère Qualité "C3"

Ce critère vise à garantir que les produits livrés sont de qualité et qu'ils sont conformes aux spécifications [D'Amours *et al*, 01], c'est à dire à minimiser la non qualité. Ces indicateurs sont de nature quantitative ou qualitative et visent à décrire la continuité du service, la conformité aux règles et aux attentes du produit.

Taux de conformité "I31" : I₃₁ est une évaluation quantitative du ratio exprimant le nombre de produits fabriqués sans défaut et qui sont conformes aux spécifications du client, sur le nombre total de produits fabriqués [Movahedkhah *et al*, 01], [Shin *et al*, 00], [D'Amours *et al*, 01].

Respect d'un référentiel "I32" : I₃₂ est une évaluation qualitative de la performance technique, du respect des normes par le produit ainsi que le niveau d'assurance qualité du fournisseur [Selmer, 97] [D'Amours *et al*, 01]. Cette évaluation qualitative s'effectue en sommant les points qualité obtenus, c'est à dire qu'à chaque accréditation de l'entreprise, elle se voit affecter un certain nombre de points (Cf. Tableau II.2 1).

Voici les différents systèmes de certification qui accroît les performances des entreprises :

La certification NF : La « marque NF » est une marque volontaire de certification délivrée par AFNOR.

La déclaration CE de conformité : Il s'agit de la procédure par laquelle le fabricant, ou son mandataire, établi dans la Communauté Européenne, assure et déclare que les produits concernés satisfont aux dispositions de la directive qui leur sont applicables. Cette déclaration technique permet d'évaluer la conformité du produit par rapport aux exigences de la directive.

La Norme ISO 9000 : Les normes ISO 9000 ont été rédigées à l'origine, pour servir de référence dans les relations contractuelles bilatérales entre les fournisseurs et leurs clients. Aujourd'hui, ces normes sont utilisées pour la certification des systèmes qualités des

entreprises, en tant que modèle de référentiel. La norme ISO 9000 référentiel 2000 n'a pas uniquement trait à l'assurance qualité d'un produit ou d'un service, mais prend en considération le fait de satisfaire un client.

La Norme ISO 14000 ou SME : Cette famille ISO 14000 traite des Systèmes de Management de l'Environnement (SME) en fournissant un cadre pour une approche stratégique globale des politiques, des plans et de l'organisation à mettre en place. Elle fournit les lignes directrices relatives aux éléments d'un système de management environnemental pour sa mise en œuvre.

La Norme BS 8800 ou OHSAS 18001 : Il s'agit d'un guide des systèmes de management de santé et de sécurité du travail, son intégration permet de créer un système global, qui facilite la compréhension des salariés et se fait avec le maximum de bon sens dans un souci de simplification. Cette cohérence aboutit sur un seul manuel qualité.

La Norme SA 8000 ou ISO 35000 : Cette norme vise à mettre en place un système d'éthique et à définir une politique en matière de responsabilité sociale au sein des entreprises.

Voici le tableau qui permet de sommer les points obtenus pour chaque accréditation par le fournisseur, afin d'obtenir son degré de certification en fonction des attentes du client.

Système de certification	Certification NF	Déclaration CE de conformité	Norme ISO 9000	Norme ISO 14000	Norme BS 8800	Norme SA 8000
Points affectés	7	5	9	7	3	3

Tableau II.2 1 : Points qualités affectés pour chaque accréditation de l'entreprise.

Dans le contexte de l'approche que nous proposons, ce tableau devra être rempli par le client et envoyé à l'ensemble des fournisseurs lors de l'envoi du premier Appel d'Offre. Une mise à jour de ce tableau est à prévoir.

Taux de satisfaction client "I33" : I₃₃ est une évaluation quantitative du nombre de livraisons effectuées par le client à son fournisseur avec une qualité du service rendu. Il s'agit d'un ratio exprimant le nombre de livraisons non retournées sur le nombre total de livraisons effectuées [Berchet, 00].

II.2.2.4 Critère Fiabilité "C4"

La fiabilité est l'aptitude d'un dispositif à accomplir une fonction requise, dans des conditions données, pendant une durée donnée. Au sens mathématique, la fiabilité est mesurée par la probabilité que l'entité accomplisse une ou plusieurs fonctions requises dans les conditions données, pendant une durée donnée.

Ce critère vise à garantir que les produits livrés sont fiables, mais on évalue aussi à l'aide de ce critère la capacité de l'entreprise à livrer le produit dans les délais convenus. Pour ce faire nous évaluons les délais et l'exactitude des livraisons, c'est à dire l'efficacité de la gestion des commandes.

Conformité en quantité des commandes "I41" : I₄₁ est une évaluation quantitative du nombre de commandes livrées à temps en bonne quantité. Il s'agit d'un ratio, basé sur l'historique des livraisons, exprimant le nombre de livraisons effectuées en bonne quantité, sur le nombre total de livraisons [Berrah et Vernadat, 02] [D'Amours *et al*, 01].

Respect des délais de livraison "I42" : I₄₂ est une évaluation quantitative du nombre de livraisons complètes effectuées dans les délais. Il s'agit d'un ratio, basé sur l'historique des livraisons, exprimant le nombre de livraisons effectuées dans les temps sur le nombre total de livraisons [Berchet, 00] [Cerruti et Gattino, 92].

II.2.2.5 Critère Stratégique "C5"

Allocation d'un délai de paiement "I51" : I₅₁ est une évaluation qualitative du délai de paiement accordé au client. Ce délai peut être différent d'un fournisseur à l'autre [Selmer, 97]. Il s'agit d'un avantage financier important pour le client. Cette évaluation est basée sur un barème à définir. Le Tableau II.2.2), représente une illustration de barème.

Délai de paiement accordé	Avant livraison	Le jour de la livraison	1 mois	> 1 mois
Poids relatifs au délai	1	3	7	9

Tableau II.2.2 : Barème pour les délais de paiement.

Degré de privilège "I52" : Il s'agit de l'évaluation qualitative de la relation privilégiée ou concurrentielle qu'il existe entre client et/ou fournisseur [Ounnar et Pujo, 01]. L'évaluation du degré de privilège entre deux entreprises est basée sur une échelle de notation de préférence (Cf. Tableau II.2.3). Ce degré de préférence, fixé par le client se situera au niveau de l'évaluation du fournisseur, donc chez le fournisseur. Il faudra prévoir une mise à jour, afin de modifier la valeur de cet indicateur si le client le souhaite. Une illustration de cette évaluation est donnée sur le Tableau II.2.3.

Type de la relation	Faiblement concurrentielle	Aucune Préférence	Faiblement Privilégiée	Fortement Privilégiée
Degré de privilège	1	3	5	9

Tableau II.2.3 : Echelle de notation de préférence.

	Indicateur	Description	Unité	Nature
Critère Coût C ₁	I ₁₁	Coût de la commande	Prix en Euro	Quantitatif
	I ₁₂	Coût de la livraison	Prix en Euro	Quantitatif
Critère Délais C ₂	I ₂₁	Délai de réalisation de la commande	Délai en jours	Quantitatif
	I ₂₂	Délai de livraison de la commande	Délai en jours	Quantitatif
Critère Qualité C ₃	I ₃₁	Taux de conformité	Ratio basé sur historique	Quantitatif
	I ₃₂	Respect d'un référentiel	Points de certification	Qualitatif
	I ₃₃	Taux de satisfaction client	Ratio basé sur historique	Quantitatif
Critère Fiabilité C ₄	I ₄₁	Conformité en quantité des commandes	Ratio basé sur historique	Quantitatif
	I ₄₂	Respect des délais de livraison	Ratio basé sur historique	Quantitatif
Critère Stratégique C ₅	I ₅₁	Allocation d'un délai de paiement	Points de délais	Qualitatif
	I ₅₂	Degré de privilège	Points de privilège	Qualitatif

Tableau II.2.4 : Tableau récapitulatif des indicateurs

Nous avons donc à notre disposition le système d'indicateurs adéquat (Cf. Tableau II.2.4) pour la mise en œuvre de la méthode multicritères et pouvoir ainsi évaluer et quantifier la performance locale de nos fournisseurs. Reste à savoir quelle méthode multicritères devrions-nous utiliser. Dans ce contexte, le paragraphe suivant présente la description détaillée de la première étape. Cette description sera accompagnée d'une justification de la méthode multicritères retenue et d'une illustration de cette dernière.

II.2.3 Méthode multicritères retenue

Dans cette première étape il est question d'un classement de tous les AOs reçus selon la capacité du système de production à les traiter, en utilisant le système d'indicateurs décrit plus haut. Ce classement va permettre par la suite l'émergence de l'AO sur lequel le fournisseur est meilleur. Il s'agit donc de choisir une solution opportune parmi un ensemble de solutions possibles. Par ailleurs, le fournisseur peut bien se montrer indifférent entre deux solutions possibles, néanmoins ce cas ne peut avoir lieu dans les méthodes élémentaires. Par conséquent, nous nous sommes orientés vers le choix du troisième type de méthodes : méthodes d'aide à la décision multicritères. Une question se pose alors quelle est la méthode d'aide à la décision multicritères à utiliser ? Pour répondre à cette question nous avons procédé à une étude comparative entre les différentes méthodes d'aide à la décision multicritères présentées dans la section II.1.1.2.3 (Cf Tableau II.2.5).

Cette étude comparative est basée sur les contraintes à respecter pour aboutir à l'évaluation du fournisseur et sur les objectifs attendus au niveau de cette première étape. En effet, le classement des AOs est effectué selon un ensemble de critères qualitatifs et quantitatifs. Tel que nous l'avons décrit ci-dessus, le système d'indicateurs considéré est composé de certains indicateurs interdépendants entre eux. Par exemple, l'indicateur délai de réalisation est interdépendant avec l'indicateur délai de livraison, en revanche ils sont tous les deux indépendants de l'indicateur coût de la commande. Ainsi, la comparaison entre les différentes méthodes d'aide à la décision multicritères, illustrée sur le Tableau II.2.5 montre que contrairement à toutes les autres méthodes d'aide à la décision multicritères considérées à savoir : TOPSIS, MAVT, MAUT, SMART, UTA et EVAMIX, la méthode AHP permet à la fois la prise en compte de l'interdépendance et de l'indépendance entre les indicateurs. Elle permet également la décomposition d'un problème complexe en plusieurs niveaux et la vérification de la cohérence des valeurs attribuées par le décideur à chaque niveau de la hiérarchie. Cette vérification se fait via le calcul d'un indice dit "Coefficient de cohérence". Cette méthode prend en compte les critères quantitatifs et qualitatifs.

Critères	Méthodes d'aide à la décision multicritères						
	TOPSIS	MAVT	MAUT	SMART	UTA	EVAMIX	AHP
Facile à appliquer	x			x	x	x	x
Prise en compte de critères qualitatifs		x	x	x		x	x
Prise en compte de critères quantitatifs	x	x	x	x	x	x	x
Prise en compte de l'indépendance entre les	x	x	x	x	x	x	x
Prise en compte de l'interdépendance entre les							x
Décomposition d'un problème en plusieurs niveaux.							x
Vérification de la cohérence de l'évaluation à chaque niveau de décomposition du problème.							x

Tableau II.2.5 : Comparaison des méthodes d'aide multicritères à la décision

Dans le but d'expliquer l'application de cette méthode dans notre contexte, nous présentons dans le paragraphe suivant une description détaillée de la méthode AHP suivie d'une illustration.

II.2.3.1 Démarche suivie

Rappelons que l'application de la méthode AHP est basée sur quatre phases. Nous présentons ci-après, une description détaillée de chacune de ces phases. Cette description est tirée de la thèse de [Ounnar, 99].

I.2.3.1.1 Les différentes phases de l'application de la méthode AHP

1) Construction d'une structure hiérarchique pour le problème de décision : Dans cette phase, il s'agit de représenter le problème de décision posé par une structure hiérarchique de niveaux¹⁷ reflétant les interactions entre les éléments du problème. Cette décomposition du problème en niveaux est effectuée en partant des directives suivantes :

- Identifier les objectifs généraux¹⁸ (niveau1).
- Identifier les critères (sous objectifs) qui satisfassent chaque critère (niveau2)
- Identifier les sous critères en dessous de chaque critère (niveau3).

Une question centrale dans une hiérarchie est : Comment est influencé le facteur d'un niveau supérieur par les facteurs situés dans le niveau inférieur ? Cette influence n'étant pas uniforme par rapport à tous les facteurs, il est donc nécessaire d'identifier leur intensité (leurs priorités). Cette détermination des priorités des plus bas facteurs par rapport à l'objectif global peut être ramenée à une séquence de problèmes de priorité, un pour chaque niveau, et chaque problème peut être ramené à une séquence de comparaison par paires. Ces comparaisons demeurent "l'ingrédient" central de la méthode AHP.

2) Comparaison par paire des éléments de chaque niveau de la hiérarchie construite : Une comparaison par paire, appelée "pair-wise comparaison" par les anglophones, évalue l'importance relative de deux éléments vis à vis de l'opérateur (ou décideur) contribuant à la réalisation de l'objectif du niveau supérieur adjacent. Un décideur compare donc des éléments d'un même niveau (par exemple, les critères), par paire, ce qui lui permet d'établir ses préférences. Pour cela, il faut choisir une échelle de valeurs pour spécifier le degré d'importance d'un élément par rapport à un autre. Nous adoptons l'échelle de valeur (1-9) utilisée dans la méthode AHP [Harker, 89]. Dans le but de mieux comprendre les comparaisons exploitées dans l'algorithme, nous présentons dans Tableau II.2.6 l'échelle (1-9) exploitée :

Valeurs numériques	Définition
1	Egalement important (aucune préférence)
3	Légèrement plus important
5	Fortement plus important
7	Très fortement plus important
9	Absolument plus important (une préférence absolue)
2, 4, 6, 8	Valeurs intermédiaires pour mettre en évidence des compromis
Valeurs inverses	Utilisées pour montrer la dominance du second élément par rapport au premier.

Tableau II.2.6 : Echelle de mesure de la prépondération entre deux éléments dans la méthode AHP

¹⁷ Le nombre de niveaux dans une hiérarchie dépend de la complexité du problème et du degré de détails souhaité par l'analyste

¹⁸ L'objectif principal doit être identifié en haut de la hiérarchie.

La comparaison par paire étant effectuée, il faut rechercher un vecteur de priorité qui classe les alternatives par ordre croissant ou décroissant. Le classement par priorité des éléments d'un niveau de la hiérarchie contribuant à l'accomplissement d'un objectif du niveau supérieur adjacent est appelé "poids relatif" ou "ordre de priorité".

3) Estimation d'un poids relatif entre les éléments de deux niveaux adjacents ce qui développe des priorités pour les alternatives : La comparaison par paire, permet d'obtenir pour chaque élément, une matrice carrée qui compare (par paire) ses sous éléments du niveau inférieur adjacent. T.L. Saaty a proposé une approche par vecteur propre pour estimer les poids à partir de la matrice des comparaisons par paire. Le vecteur propre obtenu représente l'ordre de priorité recherché, c'est-à-dire le poids relatif des sous éléments. En résumé :

- La comparaison par paire permet d'obtenir l'importance relative d'un élément par rapport à un autre (d'un même niveau).
- Le vecteur de priorité ou poids (vecteur d'importance relative) exprime quant à lui le rangement relatif des éléments d'un niveau par rapport à chacun des éléments du niveau adjacent supérieur. Ce dernier est estimé par la formule suivante :

$$w = \frac{A^* e^t}{e^* A^* e^t} \quad \text{où} \quad e = (1, 1, \dots, 1).$$

Avec A : la matrice des préférences établie à la deuxième étape (2).

Cette étape est réitérée en remplaçant dans la formule de calcul du vecteur w, la matrice A par les puissances successives de A (A^2 , A^3 , ...) jusqu'à ce que la différence entre les vecteurs d'importance relative soit égale à zéro.

La question qui se pose est : comment remonter jusqu'au niveau 1, c'est-à-dire l'objectif global (Og) ? En d'autres termes, comment classer les alternatives (niveau 4) par ordre de priorité contribuant à l'achèvement de l'objectif global (Og) ?

4) Agrégation des poids relatifs des différents niveaux de la hiérarchie afin de pouvoir fournir un classement des alternatives de décision : Le principe de l'agrégation consiste à effectuer un produit de matrices. Le résultat final obtenu est un vecteur de performances des alternatives considérées. Il fournit l'importance relative des alternatives par rapport à l'objectif global (Og).

Un grand avantage de la méthode est qu'elle calcule un indice dit " coefficient de cohérence " C.R. qui permet d'évaluer les calculs effectués. En d'autres termes, il permet de vérifier si les valeurs de l'échelle (1-9) attribuées par le décideur sont cohérentes ou non. Il fournit une mesure de la probabilité que la matrice a été complétée purement au hasard ; c'est-à-dire, C.R représente une comparaison de la matrice actuelle et d'une réponse purement aléatoire des questions. Le numéro 0.1 qui est la limite supérieure reçue pour C.R. indique qu'il y a une chance de 10% que le décideur ait répondu aux questions d'une façon purement aléatoire. Si C.R. > 0.1, il est recommandé que le décideur révise quelques jugements. Ainsi, AHP n'exige pas des décideurs d'être "cohérents" mais plutôt, fournit une mesure d'incohérence et permet de réduire cette incohérence.

- Calcul du C.R. [Saaty, 96] [Harker et Vargas, 87] :

$$C.R. = C.I. / R.I. \quad (1)$$

Où $CI = \frac{(\lambda_{\max} - n)}{(n - 1)}$, indicateur de cohérence (2)

n étant le nombre d'éléments à comparer (rang de la matrice de préférences).

- Calcul de λ_{\max} :

Soit A la matrice (n*n) des préférences et w le vecteur de priorité (d'importance relative)

$$\lambda_{\max} = \frac{\sum_{j=1}^n (a_{ij} * w_j)}{w_i} \quad \forall i \quad (3)$$

En effet, Il est démontré dans [Harker, 89] que dans le cas d'une cohérence absolue, on peut écrire $Aw = nw$. La matrice reflétant une cohérence absolue a pour valeur propre n. Il est par ailleurs démontré que, dans le cas d'incohérence, la plus grande des valeurs propres, λ_{\max} est supérieur à n et est calculée par la formule (3). [Saaty, 80] propose une formule "normalisée" de l'indice de cohérence qui est donné par la formule (1).

R.I. : "Random Index", les valeurs des différents R.I. sont illustrées dans le Tableau II.2.7 suivant :

N=number of compared elements	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
RI	0	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49	1.51

Tableau II.2.7 : Random Inconsistency Index (RI)

Pour pouvoir appliquer la méthode AHP pour le classement des AOs au niveau de la première étape du processus d'auto-évaluation, nous avons utilisé l'algorithme suivant :

1.2.3.1.2 Description de l'algorithme

L'algorithme est composé de cinq étapes [Ounnar, 99].

Etape 1 : Importance Relative des critères (niveau N_2) par rapport à l'objectif global (niveau N_1)

- Il s'agit d'établir un classement des critères par rapport à l'objectif global. Pour cela une matrice [CC] de rang nc est construite dans laquelle chaque élément (i,j) est un jugement ou une comparaison d'un couple de critères C_{ri} et C_{rj} . La valeur de cette comparaison $CC[i,j]$ est une valeur de l'échelle 1-9 (Cf. Tableau II.2.6). Par conséquent, $CC[j,i] = 1/CC[i,j]$ et $CC[i,i] = 1$.
- La matrice [CC] permet de déterminer le vecteur de priorité [CrOg]. Ce dernier est estimé par la formule suivante : $CrOg = CC * e^T / e * CC * e^T$ où $e = (1,1, \dots, 1)$.
- A ce niveau on calcule le coefficient de cohérence C.R. = C.I. / R.I. Si C.R. > 0.1, il faut revoir les jugements de la matrice des préférences [CC]¹⁹. Le calcul de cet indice permet de corriger les poids affectés, si ces derniers ne sont pas cohérents, au niveau de l'étape et non pas à la fin de l'algorithme. Le dernier vecteur trouvé correspondra au vecteur

¹⁹ La méthode du vecteur propre procure une mesure naturelle de l'incohérence (l'incohérence des comparaisons par paire, données dans la matrice [CC]).

d'importance relative retenu. Il exprime l'importance relative des critères (niveau N2) par rapport à l'objectif global (niveau N1).

Etape 2 : Importance relative des indicateurs (niveau N₃) par rapport aux critères (niveau N₂)

- Pour l'ensemble des critères du niveau N2, il faut établir un classement de chacun des indicateurs par rapport à son critère correspondant. A cet effet, une matrice carrée [Indk] de rang nk est construite où chaque élément (i,j) est un jugement ou une comparaison d'un couple d'indicateurs Ik,i et Ik,j, nk étant le nombre d'indicateurs du critère k.
- Pour chaque matrice [Indk] estimer le vecteur de priorité [ICrk]. Le vecteur retenu exprime l'importance relative des indicateurs (niveau N3) par rapport à chacun des critères (niveau N2).

Etape 3 : Importance relative des alternatives (N₄) par rapport aux indicateurs (N₃)

- Considérer l'ensemble des indicateurs par critères et établir un classement des alternatives par rapport aux indicateurs de chaque critère. Pour chaque indicateur Ik,l du niveau N3 appartenant à l'ensemble Ik, comparer les valeurs Ik,l,i entre les Appels d'Offres AOi de l'ensemble des Appels d'Offres considérés ce qui construit les matrices [Mk,l]. Où $Mk,l(i,j) = Ik,l(j) / Ik,l(i)$, dans le cas d'une minimisation de l'indicateur et $Mk,l(i,j) = Ik,l(i)/Ik,l(j)$, dans le cas d'une maximisation.
- Pour chaque matrice [Mk,l] estimer le vecteur d'importance relative [MIk,l].
- Une fois que le plus bas niveau (niveau N4) est atteint, il faut remonter dans la hiérarchie, car le but est de déterminer l'importance relative des alternatives (niveau N4) par rapport à l'objectif global (niveau N1).
- La matrice [MIndk] (n*_{nk}) est construite où chaque colonne est un vecteur [MIk,l]. Les différentes solutions obtenues sont classées suivant leur capacité à satisfaire l'ensemble des critères.

Etape 4 : Importance relative des alternatives (niveau N₄) par rapport aux critères (niveau N₂)

- Cette étape consiste à parcourir de manière ascendante l'arborescence et d'effectuer les comparaisons de l'ensemble des Appels d'Offres par rapport à tous les critères. Un vecteur donnant l'importance relative des machines par rapport aux critères est construit et ce, pour chacun des critères : $[MCRk] = [MIndk] * [ICrk]$.
- Les vecteurs [MCRk] permettent de construire une matrice [MCR] de la façon suivante : $[MCR] = [MCR1, MCR2, \dots, MCRc]$

Etape 5 : Importance relative des alternatives (N₄) par rapport à l'objectif global (N₁)

- Le vecteur de priorité déterminé à l'étape 1 ainsi que le classement effectué à l'étape 4 permettent le classement des solutions finales, ceci obtenu par le produit $[MCR]*[CrOg] = [MOg]$ et donne le vecteur de priorité des Appels d'Offres considérés c'est-à-dire, l'importance relative des alternatives par rapport à l'objectif global (Og).
- Le choix du meilleur Appel d'Offre s'effectue à partir du vecteur de priorité [Perf], qui établit un classement des valeurs du vecteur [Perf] par ordre décroissant. Deux cas sont possibles : Le plus grand élément de [Pref] est unique : cette valeur correspond donc à l'Appel d'Offre qui fournit le " meilleur" compromis entre les critères (la meilleure performance) ; Le plus grand élément de [Pref] n'est pas unique : on laisse donc le choix au responsable de choisir un Appel d'Offre correspondant à ces valeurs maximums.

II.2.3.2 Application de la méthode multicritères AHP

Considérons un exemple de réseau de partenariat composé de trois fournisseurs (F1, F2 et F3) et de deux clients (C1 et C2). Les deux clients lancent alors trois Appels d'Offres sur le réseau (AO1, AO2 lancés par le client C1 et AO3 lancé par le client C2). Tous les partenaires du réseau à savoir les fournisseurs (F1, F2 et F3) vont alors recevoir ces AOs. A la réception de ces AOs, chaque fournisseur va devoir dérouler l'algorithme AHP pour avoir un classement de ces AOs selon le système d'indicateurs établie ci-dessus. Une description de l'application de l'algorithme AHP au niveau du fournisseur F1 est donnée ci-après.

L'application de cette méthode multicritères est basée sur un ensemble d'informations extraites de deux sources. Certaines de ces informations sont définies par le client à travers l'AO lancé, d'autres sont paramétrées par des caractéristiques propres au fournisseur. Le Tableau II.2.8 ci-dessous présente les données nécessaires au lancement de la méthode AHP au niveau du fournisseur F1, avec :

- Fournisseur (Fi) : représente les données définissant l'historique du Fournisseur Fj.
- Client (Ci/Fj) : représente les données du client Ci par rapport au fournisseur Fj, il s'agit des indicateurs qui définissent le délai de paiement accordé au Client Ci (I51) et la relation de privilège existante entre le Fournisseur Fj et le Client Ci (I52).
- Fj (Ci/AOk) : représente les données proposées par le fournisseur Fj au Client Ci concernant l'AOk.

Critères	Indicateurs	Fournisseur (F1)		
		Client (C1/F1)		Client (C2/F1)
		F1(C1/AO1)	F1(C1/AO2)	F1(C2/AO1)
Critère Coût C1	Coût de la commande (I11)	733	681	1017
	Coût de la livraison (I12)	121	94	309
Critère Délai C2	Délai de réalisation de la commande (I21)	5	30	6
	Délai de livraison de la commande (I22)	2	2	3
Critère Qualité C3	Taux de conformité (I31)	0.98		
	Respect d'un référentiel (I32)	2.3		
	Taux de satisfaction client (I33)	0.93		
Critère Fiabilité C4	Conformité en qualité des commandes (I41)	0.96		
	Respect des délais de livraison (I42)	0.9		
Critère Stratégique C5	Allocation d'un délai de paiement (I51)	9		3
	Degré de privilège (I52)	9		3

Tableau II.2.8 : Données relatives aux Appels d'Offres

La Figure II.2 6 ci-dessous représente la décomposition du problème posé ci-dessus en une structure hiérarchique.

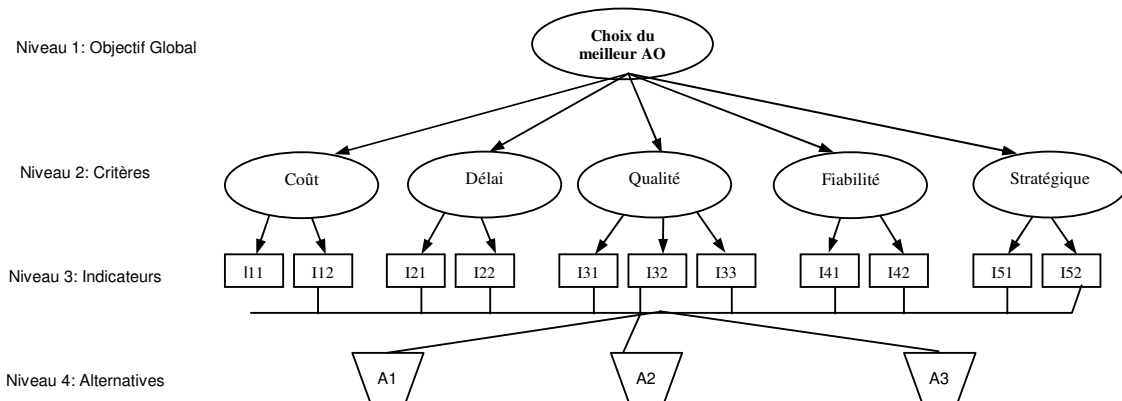


Figure II.2 6 : Hiérarchie du processus de décision.

Application de l'algorithme établie au paragraphe I.2.3.1.2

Etape 1 : établissement des comparaisons binaires entre les cinq critères et calcul du vecteur d'importance relative CrOg : Dans le présent exemple, nous avons supposé que l'importance relative entre les trois critères coût, délai et qualité sont égales. En revanche, ces trois critères sont légèrement plus importants que le critère fiabilité et fortement plus important que le critère stratégie (Cf Tableau II.2.9). Une fois la matrice des comparaisons binaires établie, il s'agit de calculer le vecteur d'importance relative (CrOg) qui représente la classification des cinq critères considérés vis-à-vis de l'objectif global (Cf. Tableau II.2.10).

Critère	Coût	Délai	Qualité	Fiabilité	Stratégie
Coût	1	1	1	3	5
Délai	1	1	1	3	5
Qualité	1	1	1	3	5
Fiabilité	0.33	0.33	0.33	1	5
Stratégie	0.2	0.2	0.2	0.2	1

Tableau II.2.9 : Importance relative des critères

	Og
C ₁	0.286898
C ₂	0.286898
C ₃	0.241827
C ₄	0.119816
C ₅	0.06639

Tableau II.2.10 : Vecteur d'importance relative (CrOg)

Etape 2 : Calcul du vecteur d'importance relative des indicateurs par rapport aux critères, noté ICrk : Partant des matrices représentant l'importance relative des indicateurs par rapport au critère correspondant (Cf Figure II.2.7), cette étape permet de calculer le vecteur d'importance relative des indicateurs d'un critère donné par rapport à ce critère. En effet, nous devons établir cinq vecteurs ICrk, correspondant aux cinq critères (k=1..5). Ainsi, le Tableau II.2.11 représente le vecteur d'importance relative (ICr1) des deux indicateurs I11 et I12 par rapport au critère correspondant C1.

	I11	I12
I11	1	3
I12	1/3	1

(a)

	I31	I32	I33
I31	1	1	3
I32	1	1	3
I33	1/3	1/3	1

(c)

	I21	I22
I21	1	3
I22	1/3	1

(b)

	I51	I52
I51	1	1/5
I52	5	1

(d)

	I41	I42
I41	1	1/3
I42	3	1

(e)

Figure II.2.7 : Matrices des importances relatives des indicateurs

	C ₁
I ₁₁	0.75
I ₁₂	0.25

Tableau II.2.11 : Vecteur d'importance relative (ICr1)

Etape 3 : Importance relative des alternatives par rapport aux différents indicateurs :

Partant des valeurs des indicateurs pour chaque alternative, nous devons calculer les onze vecteurs d'importance relative correspondant aux différents indicateurs. Ce vecteur de priorité est noté : MI_{ij} (i=1..5 et j=1..k, avec k le nombre d'indicateurs par critère).

Dans le but d'établir le vecteur d'importance relative des alternatives par rapport aux critères: il est nécessaire d'établir la matrice MInd_k (critère k) où chaque colonne de cette matrice est représentée par un vecteur d'importance relative aux indicateurs correspondants (MI_{k1}, MI_{k2}, MI_{k3}, ...). A titre d'exemple, nous présentons dans le Tableau II.2.12 la matrice MInd₁.

	MI ₁₁	MI ₁₂
AO1	0.25	0.417
AO2	0.375	0.083
AO3	0.375	0.5

Tableau II.2.12 : Matrice MInd₁

Etape 4 : Importance relative des alternatives par rapport aux critères : Il s'agit d'établir le vecteur MCr_k (critère : k), où MCr_k = MInd_k*ICr_k. Ainsi, le Tableau II.2.13 présente le vecteur MCr₁ correspondant au critère C₁.

	C ₁
AO1	0.375
AO2	0.271
AO3	0.354

Tableau II.2.13 : Vecteur MCr₁.

Après avoir établi le vecteur MCr_k pour chaque critère k , il convient maintenant d'établir la matrice MCr où chaque colonne de cette matrice est représentée par le vecteur MCr_k , correspondant au critère k . Nous présentons dans le Tableau II.2.14 la matrice MCr obtenue pour cet exemple.

	MCr_1	MCr_2	MCr_3	MCr_4	MCr_5
AO1	0.375	0.361	0.333	0.333	0.428
AO2	0.271	0.409	0.333	0.333	0.428
AO3	0.354	0.230	0.333	0.333	0.143

Tableau II.2.14 : Matrice MCr

Etape 5 : Importance relative des alternatives par rapport à l'objectif global :

A cette étape, il s'agit de calculer l'importance relative des alternatives par rapport à l'objectif global (niveau 1), Pour cela, nous calculons le vecteur MOg (Cf. Tableau II.2.15 :). Ce vecteur est calculé en utilisant la formule suivante :

$MOg = MCr * CrOg$, où: $MCr = [MCr_1, MCr_2, MCr_3, MCr_4, MCr_5]$.

	Og
AO1	0.35706
AO2	0.34129
AO3	0.30164

Tableau II.2.15 : Vecteur d'importance relative MOg

Du Tableau II.2.15, nous pouvons déduire la classification des trois AOs (AO1, AO2 et AO3) selon la capacité du fournisseur (F1) à les traiter. Ainsi, nous pouvons conclure également que le fournisseur F1 est meilleur sur le premier AO (AO1).

Notons par ailleurs, que ce processus de classification est effectué au niveau de chaque entité appartenant au réseau de partenariat considéré, nous obtenons en conséquence que le fournisseur F2 est meilleur sur le deuxième AO (AO2 Cf Tableau II.2.16 (a)), et le fournisseur F3 est meilleur sur le troisième AO (AO3 Cf Tableau II.2.16 (b)).

	Og
AO1	0.29528
AO2	0.39699
AO3	0.30772

(a)

	Og
AO1	0.28228
AO2	0.32229
AO3	0.39542

(b)

Tableau II.2.16 : Vecteurs d'importance relative [MOg] obtenus pour les deux fournisseurs : F2 (a) et F3 (b).

Une fois le classement effectué, le fournisseur doit se positionner vis-à-vis des autres partenaires du réseau. Pour cela, une évaluation locale du meilleur AO (classé premier) est nécessaire. Cela correspond à la deuxième étape du processus d'auto-évaluation.

II.3 Calcul de la performance : Deuxième étape du processus d'auto-évaluation

Il s'agit d calculer la performance du fournisseur par rapport à l'AO classé premier pour pouvoir se positionner par rapport à la meilleure réponse circulant sur le réseau pour cet AO.

Cette évaluation de performance est basée sur les critères utilisés dans le processus de classification effectué par la méthode AHP présenté ci-dessus. Nous allons donc faire appel une deuxième fois à une méthode multicritères. Notons par ailleurs que cette fois-ci l'objectif est différent. En effet, à ce niveau il n'est plus question de tri ou de classement, mais plutôt d'établir une formule permettant le calcul de la performance de l'entité vis-à-vis de l'AO classé premier au cours de l'étape précédente. Il s'agit donc de faire une évaluation de performance d'une action donnée par rapport à un ensemble de critères. De ce fait, et d'après la synthèse des méthodes multicritères présentée dans le paragraphe II.1.1, la méthode à retenir au niveau de cette étape ne peut être qu'une méthode élémentaire. Reste à savoir quelle méthode élémentaire utiliser ?

II.3.1 Méthode multicritères retenue au niveau de la deuxième étape

Avant d'effectuer notre choix sur l'une des méthodes présentées dans le paragraphe II.1.1.1, nous devons d'abord mettre au point les éléments essentiels que cette méthode sera en mesure de prendre en compte : la méthode choisie doit permettre la prise en compte des critères qualitatifs et quantitatifs, s'appuyer sur l'ensemble des critères utilisés dans l'étude sans en exclure aucun, renvoyer comme résultat une seule action et non plusieurs.

En nous appuyant sur les trois points soulevés ci-dessus, nous avons effectué une comparaison entre les différentes méthodes élémentaires que nous avons présentées au paragraphe II.1.1.1. De cette comparaison ressort le Tableau II.2.17 ci-dessous:

Critères	Méthodes élémentaires				
	Catégorique	Pondération linéaire	Lexicographique	Conjonctive	Disjonctive
Prise en compte de critères qualitatifs & quantitatifs	x	x	x	x	x
Prise en compte de l'ensemble des critères considérés	x	x		x	x
Le résultat est une action et non pas un ensemble d'actions	x	x	x		

Tableau II.2.17 : Comparaison des méthodes élémentaires

La deuxième et la troisième condition font exclure plusieurs méthodes élémentaires. En effet, la méthode lexicographique ne vérifie pas la deuxième condition, de même la troisième condition exclue deux autres méthodes, à savoir : la méthode conjonctive et la méthode disjonctive. Au final le choix porte sur une des deux méthodes restantes (la méthode catégorique et la méthode de pondération). Notons que la seule et unique différence entre les deux est liée à l'adjonction d'une pondération aux différents critères retenus. Par conséquent, la méthode de pondération représente une complémentarité de la méthode catégorique. Par ailleurs, dans la méthode de pondération la conversion des évaluations qualitatives en des évaluations quantitatives s'avère très difficile à faire. Afin de palier à ce problème [Glacet, 02] et [Arnaldi, 04] se sont inspirés de la méthode de pondération pour mettre en place une nouvelle formule d'évaluation de performance. La section suivante présente les démarches suivies dans l'établissement de cette formule.

II.3.2 Formalisation de la méthode de pondération multicritères

L'objectif est d'évaluer la performance d'un fournisseur donné à partir de l'ensemble des indicateurs présentés dans le Tableau II.2.4. La méthode de pondération linéaire ne peut être appliquée directement dans notre cas d'études pour trois principales raisons.

- Les indicateurs considérés ne sont pas tous forcément de même nature, autrement dit, l'unité de mesure peut être différente d'un indicateur à l'autre. En effet, la formule considérée dans la méthode de pondération linéaire suppose que tous les indicateurs ont la même unité de mesure.
- La méthode de pondération linéaire telle qu'elle est définie présente un problème de monotonie. En effet, dans notre cas, nous devons prendre en compte la minimisation de certains critères et la maximisation des autres critères. Par exemple, les deux critères coût et délai sont à minimiser alors que les trois autres critères qualité, fiabilité et stratégique sont à maximiser.
- Dans le calcul de la performance, notre objectif était non seulement de pouvoir pondérer les différents critères mais nous souhaitions également pouvoir pénaliser ou neutraliser un indicateur par rapport au souhait du client. Si le fournisseur a un coût supérieur au coût souhaité par le client alors ce fournisseur devra être pénalisé grâce à un coefficient K_i , par rapport à son indicateur coût. Si au contraire, le fournisseur propose un coût inférieur ou égale au coût souhaité par le client cela implique que $K_i=1$, le fournisseur n'est donc pas pénalisé.

Dans le but de pallier aux problèmes soulevés ci-dessus, [Arnaldi, 04] a proposé une formule de pondération mathématique partant de la formule de pondération linéaire. Cette formule est basée sur deux points, que nous allons détailler ci-après.

II.3.2.1.1 Eliminer le problème d'unité de mesure

Afin d'éliminer le problème de l'unité de mesure et rendre homogène la formule globale, nous proposons de travailler avec des valeurs algébriques. Pour cela, nous avons considéré les cinq critères comme les coordonnées d'un élément de \mathfrak{R}^5 , ce qui implique que nous allons travailler dans un \mathfrak{R} -espace vectoriel de dimension finie 5.

L'espace vectoriel \mathfrak{R}^5 est muni d'une base orthonormale (e_1, e_2, e_3, e_4, e_5) où $P_{locale} (x_1, x_2, x_3, x_4, x_5)$ est le vecteur colonne des coordonnées de la performance locale dans cette même base.

Voici comment s'écrit la norme usuelle ou euclidienne dans les espaces vectoriels de dimension finie, dont l'auteur s'est servi pour évaluer numériquement la performance locale de chacun des fournisseurs.

$$\|P_{locale}\| = \sqrt{\sum_1^5 |x_i|^2} \quad \text{Avec } x_i = \{C_{coût}; C_{délais}; C_{qualité}; C_{fiabilité}; C_{stratégique}\}$$

II.3.2.1.2 Eliminer le problème de monotonie et possibilité de pénaliser un fournisseur

Pour prendre en compte ces deux caractéristiques, une note a été attribuée aux indicateurs dans le but de discriminer, à terme, suffisamment bien les différentes performances des fournisseurs sur les critères choisis de la même manière. Notons par ailleurs, que dans l'attribution des notes aux différents critères, l'auteur a été amené à garder la même échelle pour chaque critère (donc indicateur), sans quoi une pondération involontaire serait alors à l'origine de résultats faussés. Autrement dit, l'établissement de la formule de calcul de performance est basé sur trois principaux points :

- Le respect des échelles entre les indicateurs : Les indicateurs associés aux différents critères considérés dans cette étude, ne sont pas définis sur la même échelle. Ainsi, l'indicateur "I32" du critère "C3" et les indicateurs du critère "C5" sont définis sur l'échelle [0, 9] (Cf Tableau II.2 1, Tableau II.2.2 et Tableau II.2.3) alors que les autres

indicateurs sont définis sur l'échelle [0, 1]. Pour ramener toutes les valeurs associées aux différents indicateurs à la même échelle, l'auteur a proposé une division par "9" des valeurs définies sur l'échelle [0, 9].

- Avoir une échelle cohérente entre les critères : Le nombre d'indicateurs associé à chaque critère diffère d'un critère à l'autre. Le critère "C3" est composé de trois indicateurs, alors que les deux critères "C4" et "C5" sont composés de deux indicateurs. Pour garder une échelle cohérente pour tous les critères, l'auteur a proposé de diviser la somme des valeurs des indicateurs d'un critère donné par le nombre d'indicateurs associés à ce critère. En effet, pour le critère "C3", l'auteur a divisé la somme des valeurs associées aux indicateurs (I31, I32 et I33) par "3", et la somme des valeurs associées aux indicateurs des critères "C4" et "C5" par "2".
- Les deux critères Coût (C1) et Délai (C2) ont été remplacés par des Ki afin de pouvoir pénaliser le fournisseur et que les Ki sont définis sur une échelle de [0, 1].

A partir de là, la performance du fournisseur peut être calculée à partir de la formule suivante :

$$\|P_{locale}\| = \sqrt{\left[p_1 \times k_1 \right]^2 + \left[p_2 \times k_2 \right]^2 + \left[p_3 \left(\frac{I_{31} + \frac{I_{32}}{9} + I_{33}}{3} \right) \right]^2 + \left[p_4 \left(\frac{I_{41} + I_{42}}{2} \right) \right]^2 + \left[p_5 \left(\frac{\frac{I_{51}}{9} + \frac{I_{52}}{9}}{2} \right) \right]^2}$$

Avec :

p1, p2, p3, p4 et p5 des constantes permettant aux clients de pouvoir privilégier un critère par rapport aux autres, en leur affectant un poids respectif dont la somme est égale à "1".

Le coefficient $k1$ est déterminé par $\frac{Coût_souhaité}{Coût_possible} = k1$; le «Coût_souhaité» correspond au coût que le client est en mesure d'accepter et le «Coût_possible» reflète le coût que le fournisseur propose au client (I11+I12).

Ce coefficient $k1$ est égal à 1 si le coût possible est inférieur au coût souhaité par le client. Pour décrire ce calcul, établissons l'algorithme suivant :

Si $Coût_souhaité < Coût_possible$

$$\text{Alors } k1 = \frac{Coût_souhaité}{Coût_possible}$$

Sinon $k1=1$

Comme pour le critère C1, un coefficient $k2$ a été introduit pour le critère C2. L'objectif était de pénaliser un «mauvais» fournisseur proportionnellement à l'écart existant entre ses prestations et les attentes du client. L'algorithme suivant permet de traiter cela :

Si $Date_souhaitée < Date_possible$

$$\text{Alors } k2 = \frac{Date_souhaitée}{Date_possible}$$

Sinon $k2=1$

Les coefficients k_i apportent le double avantage de régler le problème des échelles et celui d'utiliser les indicateurs de manière cohérente (un délai élevé dénote à présent un manque de

performance). De plus, ces coefficients permettent de faire un calcul fin ; cela est nécessaire pour discriminer deux fournisseurs très proches.

II.3.3 Application de la méthode de calcul de performance

La méthode de pondération mathématique proposée a été appliquée dans l'exemple présenté dans le paragraphe II.2.3.2. L'objectif étant de calculer la performance de chacun des trois fournisseurs par rapport aux AOs sur lesquels ils sont meilleurs. Nous avons alors calculé la performance du Fournisseur F1 par rapport à l'AO1, la performance du fournisseur F2 par rapport à l'AO2 et la performance du fournisseur F3 vis-à-vis de l'AO3. Pour le calcul de la performance nous avons supposé les valeurs suivantes, pour les poids π_i attribués par les deux clients :

Le client C1 donne plus d'importance aux trois critères (coût, délai et stratégique). Nous avons donc $P1=0.25$, $P2=0.25$ et $P5=0.2$; et un peu moins d'importance aux deux autres critères (qualité et fiabilité): $P3= 0.15$ et $P4=0.15$. Contrairement au client C2 qui lui, donne plus d'importance aux trois critères (qualité, fiabilité et stratégique). Nous avons donc : $P3=0.25$, $P4=0.25$ et $P5=0.2$; et un peu moins d'importance aux deux autres critères (coût et délai) : $P1= 0.15$ et $P2=0.15$.

L'application de la formule de pondération élaborée ci-dessus, nous renvoie les résultats suivants :

Les Fournisseurs	La performance du fournisseur par rapport à l'AO classé premier
F1/AO1	0.443
F2/AO2	0.430
F3/AO3	0.405

Tableau II.2.18 : Calcul de la performance locale des Fournisseurs F1, F2 et F3

II.4 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons présenté de façon détaillée le processus de choix et d'évaluation du fournisseur utilisé dans cette étude et dont la description a été présentée de façon très brève dans le premier chapitre. Nous avons alors précisé que ce processus englobe deux étapes. Dans la première étape, il s'agit d'un classement des différents Appels d'Offres reçus selon la capacité du fournisseur à les traiter. Dans la deuxième étape une évaluation de performance locale vis-à-vis de la l'AO classé premier est effectué par le fournisseur afin que celui-ci puisse répondre et participer à la négociation sur l'AO en question. Les deux étapes se basent sur cinq critères à savoir : Coût, Délai, Qualité, Fiabilité et Stratégique. Par conséquent l'utilisation d'une méthode multicritères s'impose au niveau de chaque étape. La justification du choix de la méthode multicritères à utiliser au niveau de chaque étape a été effectuée dans ce chapitre.

Après avoir présenté en détail l'approche de pilotage auto-organisé basée sur une architecture holonique, proposée dans cette étude, il convient maintenant de valider l'approche proposée afin de mettre en avant les apports de cette approche. Pour cela, nous proposons dans le chapitre suivant une modélisation et simulation de cette approche.

Chapitre III : Modélisation et Validation par Simulation Distribuée via HLA

L'approche de pilotage proposée a pour objectif d'obtenir un équilibre entre charge/capacité au niveau de chaque fournisseur et d'arriver à un lissage de charge entre les différents fournisseurs avec un objectif à plus long terme de proposer un système équitable entre les fournisseurs du réseau.

Après avoir présenté l'approche de pilotage auto-organisé basé sur l'approche holonique, il convient maintenant de valider l'approche via une simulation. A cet effet, nous avons d'une part, modélisé chaque EPA selon le formalisme DEVS. D'autre part, dans le but de respecter la confidentialité des données au niveau de chaque partenaire, l'ensemble de ces modèles ont été intégrés dans une simulation distribuée via la norme HLA. Ce qui nous amène à présenter la maquette de simulation réalisée et dédiée à la validation de l'approche proposée. Cette validation sera basée sur une comparaison entre le fonctionnement des deux approches à savoir : l'approche auto-organisée que nous proposons et l'approche classique pour laquelle existent les différents réseaux de nos jours.

Afin de pouvoir comparer les deux approches, nous présentons le jeu de données élaboré ainsi que le modèle de simulation Arena qui lui est associé pour simuler l'approche classique. Nous présentons alors les résultats des simulations obtenus dans les deux cas (modèle auto-organisé et modèle classique). Une comparaison de ces résultats va nous permettre de mettre en avant les apports de l'approche de pilotage auto-organisée que nous proposons dans ce mémoire.

III.1 Modélisation

Afin de pouvoir modéliser l'approche que nous proposons et pouvoir par la suite l'implémenter, nous avons présenté dans le premier chapitre, les formalismes de modélisation existants pour pouvoir justifier le choix du formalisme DEVS retenu dans cette étude. Après avoir opté pour le formalisme DEVS, il convient maintenant de présenter une description de ce formalisme. Dans ce contexte, la présente section se propose d'une part, de décrire le formalisme DEVS et d'autre part, de présenter les modèles DEVS décrivant le comportement d'une EPA.

III.1.1 Formalisme DEVS

Proposé par Ziegler en 1976 [Ziegler, 76], le formalisme DEVS, basé sur la théorie des systèmes permet une modélisation rigoureuse par événements discrets. Il introduit notamment la possibilité d'évolution autonome du modèle grâce à la durée de vie des états et à la fonction de transition interne. DEVS permet la description du comportement d'un système donné à deux niveaux : le plus bas niveau (DEVS atomique) décrit le comportement du système à événements discrets comme une suite de séquences de transitions entre états de ce système, effectuée à la réception d'un événement de l'extérieur, ou à l'écoulement de la durée de vie d'un état. Le plus haut niveau ou le concept de modèle DEVS couplé décrit le système en tant que réseau de composants, qui peuvent être soit des modèles DEVS atomiques soit des modèles DEVS couplés. Ceci permet d'introduire un concept pour la formalisation de modèles modulaires et hiérarchiques. Nous présentons dans ce qui suit les bases de ce formalisme.

III.1.1.1 Modèle DEVS atomique

Le modèle atomique est représenté par une "boîte" comportant des entrées et des sorties. Il permet de décrire le comportement du système par une séquence de transitions déterministes entre des états séquentiels, la manière dont le système réagit à des événements externes et comment il génère des sorties [Baptiste, 03].

Formellement, un modèle atomique M est spécifié par un septuplet :

$M = \langle X, S, Y, \delta_{int}, \delta_{ext}, \lambda, ta \rangle$: où :

- X : $\{(p, v) \mid p \in \text{Inports}, v \in Xp\}$: ensemble de ports et de valeurs d'entrée pour la réception d'activation externe.
- Y : $\{(p, v) \mid p \in \text{Outports}, v \in Yp\}$: ensemble de ports et de valeurs de sortie pour l'émission d'évènement de sortie.
- S : ensemble des états.
- ta : la fonction d'avancement du temps qui renvoie le temps de vie de l'état courant (temps jusqu'à la prochaine transition interne) : $S \rightarrow \mathbb{R}^+$.
- δ_{int} : la fonction de transition interne: $S \rightarrow S$. cette fonction place le modèle dans l'état suivant après le temps renvoyé par la fonction d'avancement du temps. Etant dans un état s à l'instant t_i , le modèle passe à l'état s' , $s' = \delta_{int}(s)$, si aucun événement externe ne se produit avant $t_i + ta(s)$.
- δ_{ext} : la fonction de transition externe: $Q \times S \rightarrow S$. elle décide des changements d'états en fonction d'activations d'entrées. Elle est appliquée au système lors d'arrivée d'un événement de l'extérieur noté « x » à un instant e où $e \leq ta$. Le système alors, passe de l'ancien état « s » vers le nouvel état donné par cette fonction : $s' = \delta_{ext}(s, e, x)$. à chaque changement d'état e est remis à 0.

Q : l'ensemble des états s_i d'un modèle : $Q = \{(s_i, e) \mid s_i \in S, 0 < e < ta(s_i)\}$.

e : représente le temps écoulé dans cet état.

- λ : la fonction de sortie : $S \rightarrow Y$. Cette fonction est exécutée avant la fonction de transition interne. Elle peut émettre plusieurs sorties pour une même transition.

Notons par ailleurs, qu'un état est dit passif si sa durée de vie égale à l'infini. En effet, si S est passif le modèle évolue seulement quand les événements d'entrée se produisent, dans ce cas, les fonctions de transitions internes (δ_{int}) ne peuvent pas avoir lieu. En revanche, un état est dit actif si sa durée de vie est finie.

III.1.1.2 Sémantique Opérationnelle du formalisme DEVS

Si un événement d'entrée arrive, alors il y a une activation de la fonction de transition externe.

Si le temps écoulé de l'état présent est égal à la durée de vie de cet état, alors il y a d'abord l'activation de la fonction de sortie puis l'activation de la fonction de transition interne.

Un modèle DEVS est directement simulable dans le contexte d'un cadre d'expérimentation donné. La simulation des modèles DEVS est dirigée par les événements qui activent les transitions d'états des modèles.

La figure ci-dessous illustre le fonctionnement d'un modèle DEVS atomique en rapport à ces activations (Cf Figure III.1.1). En effet, quand le système reçoit une entrée X cela implique le

$$IC \subseteq \{((a, opa), (b, ipb)) \mid a, b \subseteq D, opa \subseteq \text{Outports (a)}, ipb \subseteq \text{Inports (b)}\}$$

- Select : définit une priorité entre événements simultanés destinés à des composants différents.

Dans un modèle couplé, un port de sortie d'un modèle $Md \in D$, peut être connecté à l'entrée d'un autre $Md \in D$ mais pas directement à lui-même. Les Modèles couplés comme les modèles atomiques sont autonomes et peuvent être stockés séparément. Suivant les implémentations, la structure interne d'un modèle couplé peut être cachée pour créer des composants de plus haut niveau.

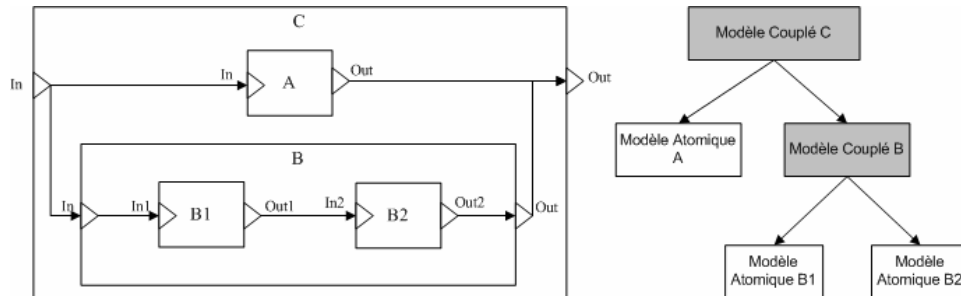


Figure III.1.2 : Modèle couplé à événements discrets

La Figure III.1.2 ci-dessus, montre une hiérarchie d'un modèle DEVS couplé C, qui est formé d'un modèle atomique A couplé avec un modèle DEVS B, ce dernier est aussi un modèle DEVS couplé composé de deux modèle DEVS atomique B1 et B2.

Après avoir présenté le formalisme DEVS et décrit ces principales fonctionnalités, nous présentons dans la section suivante la modélisation de l'entité de pilotage autonome (EPA) dont le comportement global a été décrit dans le premier chapitre. Rappelons par ailleurs, que le but envisagé par la suite, est d'intégrer les modèles ainsi élaborés dans un environnement de simulation distribuée HLA, pour pouvoir valider l'approche de pilotage proposée dans ce mémoire.

III.1.2 Modélisation d'une EPA par le formalisme DEVS

III.1.2.1 Modèle DEVS-EPA couplé

Rappelons que les informations reçues et diffusées par l'entité sont les suivantes:

- AO : Appel d'Offre émis par l'EPA d'un autre HR du réseau logistique et reçu par l'EPA (il s'agit là d'un objet reprenant la totalité des informations nécessaires au traitement de l'AO et provenant des HP et HO en interaction).
- RAO : Réponse reçue par l'EPA suite à l'Appel d'Offre précédent et émise par une tierce EPA (il s'agit là de la valeur de la performance d'un autre HR pour cet AO).
- AOL : Appel d'Offre Local émis par l'EPA elle-même.
- RAOL : Réponse à un AOL, émise par une autre EPA et reçue par l'EPA.
- RAOE : Réponse émise par l'EPA, suite à un Appel d'Offre reçu précédemment.

Le comportement d'une EPAs a été modélisé à l'aide du formalisme DEVS [Zahaf, 05]. Les différents modules d'une EPA ont été modélisés par un modèle DEVS couplé (Cf Figure III.1.3).

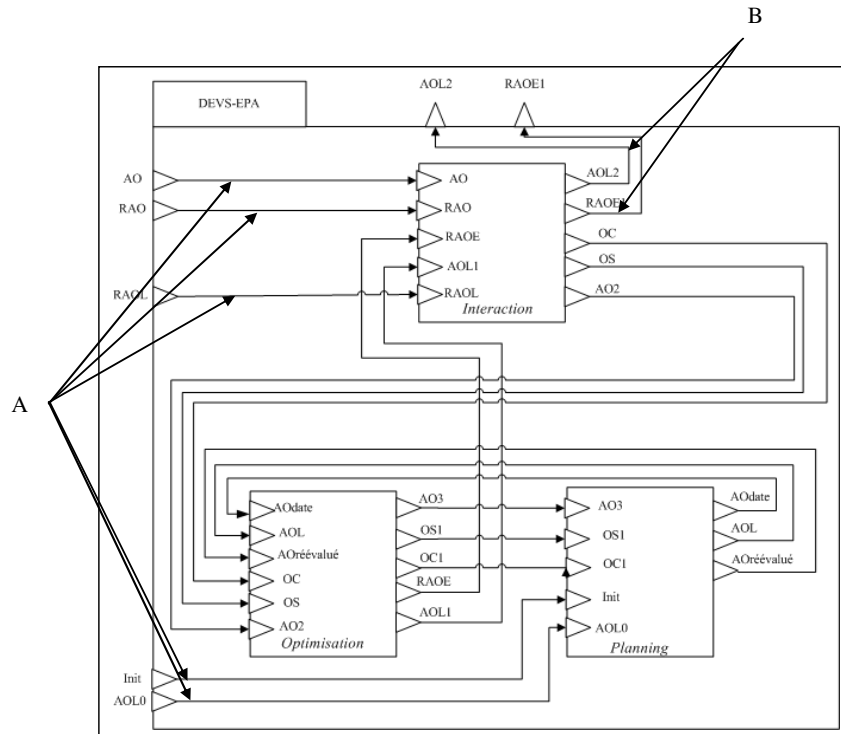


Figure III.1.3 : *Modèle DEVS-EPA.*

Nous présentons ci-dessous une description formelle du modèle DEVS couplé associé à une EPA.

Description formelle du modèle couplé DEVS-EPA

a) Ports d'entrée :

- $XI = \{AO, RAO, RAOL, AOL0, Init\}$ avec :
 - $AO = \{AO_i\}$: indique l'arrivée d'un AO_i via le réseau représenté par une Trame AO.

Une Trame AO contient les informations suivantes :

- Numi : Numéro de l' AO_i défini sur l'ensemble des entiers.
- Entitéi: le nom de l'Entité émettrice de l' AO_i défini par une chaîne de caractères.
- Typei : décrit la faisabilité de l' AO_i en terme de métier. Il prend ses valeurs sur l'ensemble suivant : {faisable, non faisable}.
- Etati : il décrit l'Etat de l' AO_i . Les valeurs possibles pour l'état d'un AO_i donné sont définies sur l'ensemble suivant : {négociable, engageable, pré-engageable, engagé}²⁰.
- Qi : la Quantité désirée par le client concernant l' AO_i , elle est représentée par une valeur réelle.
- Date-Receptioni : Date de Réception de l' AO_i définie sur l'ensemble des réels.
- CEi: décrit la disponibilité des Conditions d'Exécution. Il prend ses valeurs sur l'ensemble {OK, non OK}.

²⁰ Voir le paragraphe I.5.4.2.3 pour la définition des différents états.

- DRi : Date de Réalisation de l'AOi.
- DDi : Date de Début d'exécution définie sur l'ensemble des réels.
- Di : Durée d'exécution définie sur l'ensemble des réels.
- DLi : Délai de Livraison défini sur l'ensemble des réels.
- DFNi : Date de Fin de Négociation définie sur l'ensemble des réels.
- RAO= {RAOi}: indique l'arrivée d'une réponse à un AO représentée par une Trame RAO.

Une Trame RAO contient les informations suivantes :

- Numi : Numéro de l'AOi défini sur l'ensemble des entiers.
- Entité : le nom de l'Entité émettrice de l'AOi défini par une chaîne de caractères.
- Pi : la Performance de l'entité en réponse à l'AOi, définie par un nombre réel.
- Date-Receptioni : Date de Réception de l'AOi définie sur l'ensemble des réels.
- DFNi : Date de Fin de Négociation définie sur l'ensemble des réels.
- DE : Date d'Engagement.
- RAOL= {RAOi} indique l'arrivée d'une réponse à un AOL proposée par une entité sur le réseau.
- AOL0= {AOi}. permet la réception d'un signal sous forme de trame AO, venant du système de production qui se traduit par une panne ou un manque au niveau de ressources.
- Init= {AOi} : une liste des TrameAOs, nécessaire pour initialiser le planning.

b) Ports de sortie :

- YI= {AOL3, RAOE2} avec:
 - AOL3 = {AOi}: permet l'envoi d'un AO local défini par une TrameAO.
 - RAOE2 = {RAOi} : permet l'envoi d'une réponse de l'entité à un AO, définie par une TrameRAO.

TrameAO et TrameRAO sont des classes d'objets définissant respectivement des AOs et des RAOs.

c) L'ensemble des composants :

- D = {Interaction, Optimisation, Planning}.

d) Les liens d'entrée :

- EIC = {((EPA, AO), (Interaction, AO)), ((EPA, RAO), (Interaction, RAO)), ((EPA, RAOL), (Interaction, ROAL)), ((EPA, Init), (Planning, Init)), ((EPA, AOL0), (Planning, AOL0))} = A.

e) Les liens de sortie :

- EOC = {((Interaction, AOL2)), (EPA, AOL2), ((Interaction, RAOE1), (EPA, RAOE1))} = B.

Les liens internes :

- IC = {((Interaction, OC), (Optimisation, OC)), ((Interaction, OS), (Optimisation, OS)), ((Interaction, AO2), (Optimisation, AO2)), ((Optimisation, AO3), (Planing, AO3))},

((Optimisation, OS1), (Planning, OS1)), (Optimisation, OC1), (Planning, OC1)), (Optimisation, RAOE), (Interaction, RAOE)), ((Optimisation, AOL1), (Interaction, AOL1)), ((Planning, Aodate), (Optimisation, Aodate)), ((Planning, AOL), (Optimisation, AOL)), (Planning, AOrévalué), (Optimisation, AOrévalué))}.

Les modèles DEVS interaction, optimisation et planning sont des modèles DEVS couplés. Ces modèles sont décrits dans la section suivante.

III.1.2.2 Description des modèles DEVS

Nous présentons dans cette section les modèles DEVS associés aux différents composants d'une EPA.

III.1.2.2.1 Module d'interaction

Le module d'interaction permet essentiellement de comparer les réponses proposées par l'entité concernant des AOs lancés au préalable, par les autres partenaires du réseau. En d'autres termes, il permet la mise en négociation des entités du réseau. Afin d'assurer ces fonctionnalités, ce module a été modélisé à l'aide d'un modèle DEVS couplé composé de trois modèles atomiques (Cf Figure III.1.4) :

- Gestion RAO/RAOE : ce sous module gère les réponses à un AO. En effet, puisque les RAOs et les RAOEs concernent des réponses à des AOs lancés par les autres partenaires, nous les avons regroupés dans un même modèle.
- Gestion AO/AOL : ce sous module gère les AOs et les AOLs. Il reçoit et diffuse seulement les AOs et les AOLs.
- Gestion RAOL : il permet de gérer les réponses à un AO local.

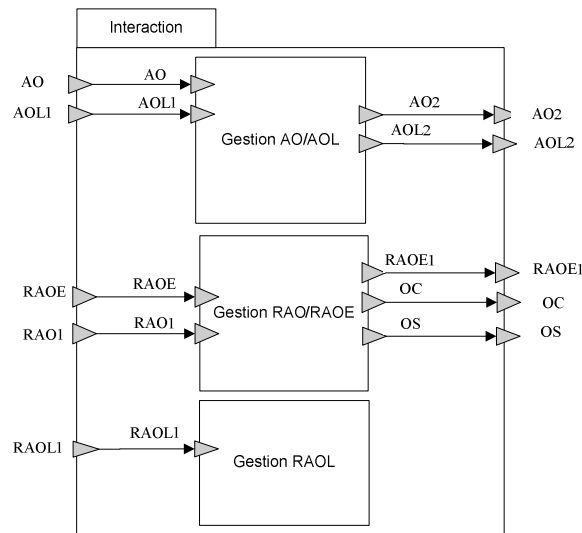


Figure III.1.4 : Module d'interaction

1. Description formelle du Modèle couplé associé au Module Interaction

a) Ports d'entrée :

- $XI = \{RAOE, RAO1, AO1, AOL1, RAOL1\}$

b) Ports de sortie :

- $YI = \{RAOE1, OC, OS, AO2, AOL2\}$

c) L'ensemble des composants :

- o $D = \{\text{Gestion RAO/RAOE, Gestion AO/AOL, Gestion RAOL}\}$

d) Les liens d'entrée :

- o $EIC = \{((\text{Interaction, RAOE}), (\text{Gestion RAO/RAOE, RAOE})), ((\text{Interaction, RAO1}), (\text{Gestion RAO/RAOE, RAO1})), ((\text{Interaction, AO1}), (\text{Gestion AO/AOL, AO1})), ((\text{Interaction, AOL1}), (\text{Gestion AO/AOL, AOL1})), ((\text{Interaction, RAOL1}), (\text{Gestion RAOL, RAOL1}))\}$.

e) Les liens de sortie :

- o $EOC = \{((\text{Gestion RAO/RAOE, RAOE1}), (\text{Interaction, RAOE1})), ((\text{Gestion RAO/RAOE, OC}), (\text{Interaction, OC})), ((\text{Gestion RAO/RAOE, OS}), (\text{Interaction, OS})), ((\text{Gestion AO/AOL, AO2}), (\text{Interaction, AO2})), ((\text{Gestion AO/AOL, AOL2}), (\text{Interaction, AOL2}))\}$.

f) Les liens internes :

- o $IC = \emptyset$.

1. Sous module de gestion AO/AOL

Description du fonctionnement : Le sous module AOs/AOLs peut recevoir un AO venant d'un des partenaires. A la réception d'un AO, le sous module passe dans l'état "AO_reçu" pour vérifier la faisabilité de l'AO reçu en terme de métier (premier filtre). S'il est faisable, il procède à l'insertion de celui-ci dans une liste (L) qui contient tous les AOs circulants sur le réseau. Pour cela, le sous module passe dans l'état "Insertion", ensuite, il se charge de le transmettre au module d'optimisation.

Ce sous module peut aussi recevoir un AOL proposé par l'entité elle-même. A la réception de cet AOL, le sous module AOs/AOLs l'insère dans la liste (L1) puis il le diffuse vers l'extérieur (Cf Figure III.1.5). Pour cela, il change d'état pour passer dans l'état "AOL_reçu".

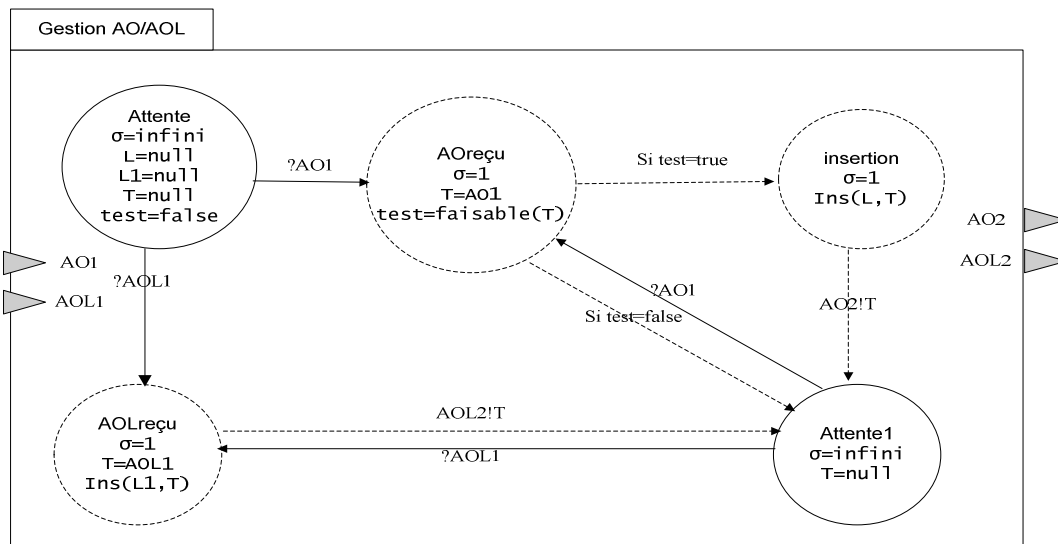


Figure III.1.5 : Sous module de gestion des AOs/AOLs.

Description formelle du modèle AO/AOL

a) Ports d'entrée :

- o $X = \{AO1, AOL1\}$: avec

- AO1 = {AOi},
- AOL1 = {AOi}.

b) *Variables d'états :*

- o S= {phase, T, L, L1}, avec :
 - Phase = {Attente, AOreçu, AOLreçu, insertion}.
 - T: défini une instance de classe d'objets de type TrameAO.
 - L1 : Une liste dans laquelle sont stockés les AOLs proposés par l'entité.
 - L : une liste dans laquelle sont stockés les AOs circulants sur le réseau.

c) *Ports de sortie :*

- o Y= {AO2, AOL2} avec :
 - AO2 = {AOi},
 - AOL2 = {AOi}.

2. *Sous module de gestion RAO/RAOE*

Description du fonctionnement : Ce sous module peut recevoir une réponse à un AOi donné (RAOi). A la réception de cette réponse, ce sous module passe alors dans l'état "Reh_RAO" puis vérifie s'il existe déjà une réponse concernant cet AO (Cf Figure III.1.6). La vérification est effectuée au niveau de la liste (L2). S'il ne trouve pas de réponse pour l'AOi, il passe dans l'état "Insert_fin1" pour insérer cette réponse dans la liste (L2). En revanche, s'il trouve une réponse concernant cet AO, il passe dans l'état "comparaison", pour comparer les deux réponses. A ce niveau, deux cas se présentent :

- Si la réponse que le sous module vient de recevoir est supérieure à celle trouvée dans la liste "L2", le sous module passe alors dans l'état "Ecraser", puis remplace l'ancienne réponse par la nouvelle réponse reçue.
- Si la réponse écrasée provient de l'entité, il envoie alors un ordre de suppression vers le module planning. Cela signifie que l'entité n'est plus meilleure sur cet AO.

Ce sous module peut aussi recevoir une réponse RAOEi pour un AO donné, venant de son module d'optimisation. Avant de diffuser cette réponse sur le réseau, il doit s'assurer qu'il est meilleur. Pour cela, à la réception d'une réponse "RAOE", le sous module passe dans l'état "Rech_RAOE", pour effectuer une recherche au niveau de la liste "L2" et voir s'il existe déjà une réponse à cet AO. S'il ne trouve pas de réponse concernant cet AO, le sous module passe alors dans l'état "Insertion_fin2", pour insérer la réponse "RAOE" dans la liste "L2", puis la diffuser sur le réseau, étant donné qu'il est meilleur à cet instant. Par contre, si une réponse pour l'AO considéré existe déjà dans la liste "L2", le sous module doit alors effectuer d'abord une comparaison en terme de performance. Pour cela, le sous module passe dans l'état "comparaison". A ce niveau, deux cas se présentent :

- Si le sous module possède une meilleure performance, il envoie alors, dans un premier temps, un ordre de changement d'état de l'AO considéré au module planning par le biais du module d'optimisation (il passe de l'état négociable à l'état engageable). Puis, dans un deuxième temps, il passe dans l'état "Ecraser" pour remplacer la réponse trouvée dans la liste par celle de l'entité et enfin, la diffuser sur le réseau.
- Si sa performance est inférieure à celle trouvée, il envoie un ordre de suppression de cet AO au module planning, car l'entité n'est plus meilleure.

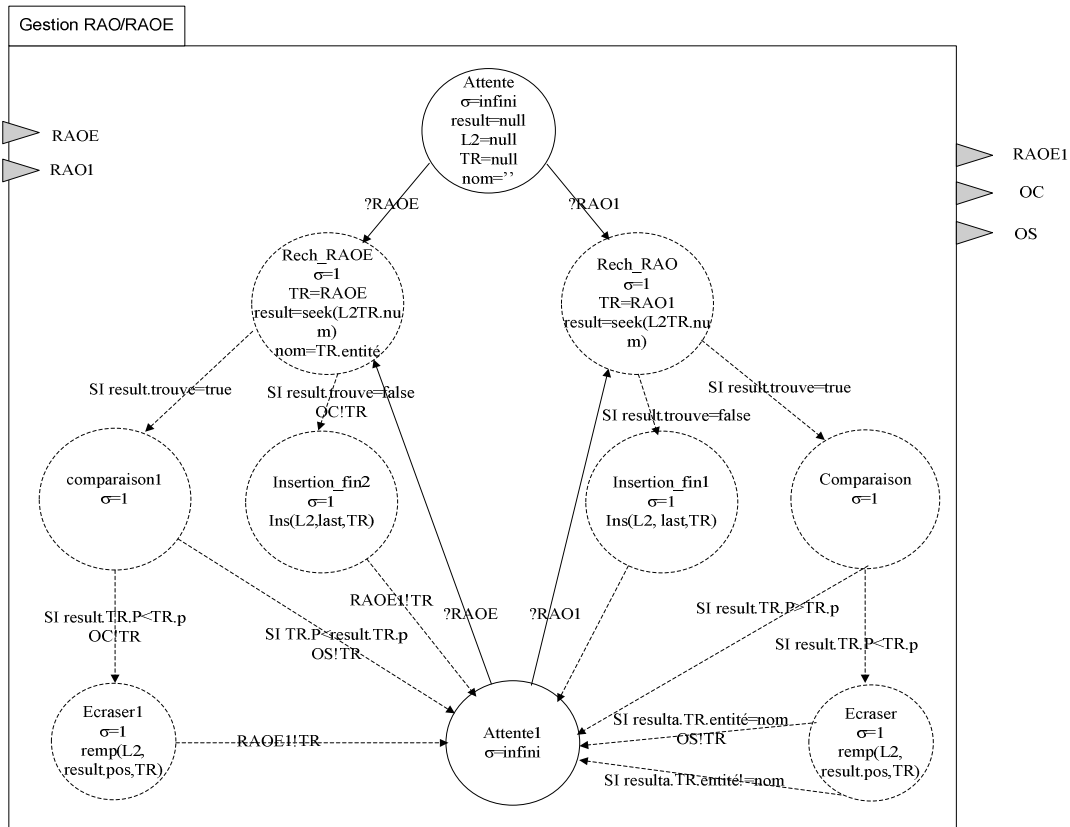


Figure III.1.6 : Sous module de gestion des RAO/RAOE.

Description formelle du modèle Gestion RAO/RAOE

a) Ports d'entrée :

- o $X = \{RAO1, RAOE\}$, avec :
 - $RAO1 = \{RAOi\}$.
 - $RAOE = \{RAOi\}$.

b) Variables d'états :

- o $S = \{phase, TR, L2\}$, avec:
 - $Phase = \{Attente, Rech_RAO, Rech_RAOE, Insertion_fin1, Insertion_fin2, comparaison1, comparaison, Ecraser1, Ecraser\}$.
 - TR : définit une instance de classe d'objets de type TrameRAO,
 - $L2$: liste dans laquelle sont stockés des RAOs et des RAOEs.

c) Ports de sortie :

- o $Y = \{RAOE1, OC, OS\}$, avec :
 - $OC = \{AOi\}$: Ordre de Changement, elle contient l'identification de l'AO à changer au niveau du planning.
 - $OS = \{AOi\}$: Ordre de Suppression, elle contient l'identification de l'AO à supprimer au niveau du planning.
 - $RAOE1 = \{RAOi\}$.

3.Sous module de gestion des RAOLs

Description du fonctionnement :

Ce modèle atomique (Cf Figure III.1.7) permet de recevoir des réponses à un Appel d'Offre local. Il permet essentiellement la sélection de l'entité qui possède la meilleure réponse concernant un AO local après l'achèvement du délai de fin de négociation de celui-ci. Ce module basé sur la fonction "GetMin"²¹ au niveau de l'état pause, permet d'obtenir l'AOL qui possède le temps de fin de négociation le plus petit.

Quand le sous module Gestion RAOL reçoit une réponse, il passe dans l'état "Rech_RAOL", pour vérifier s'il y a eu déjà une réponse pour cet AO. Si c'est le cas, le sous module écrase directement l'ancienne réponse. Pour cela, il change d'état et passe dans l'état "Ecraser". En revanche s'il n'y a pas eu de réponse pour cet AO, alors le sous module passe dans l'état "Ecraser1" pour insérer la réponse reçue dans la liste "L3". Ensuite, il se met en pause en passant dans l'état "Pause" pour attendre l'épuisement du délai de fin de négociation et connaître ainsi, l'entité qui propose la meilleure réponse concernant un de ses AOLS.

Dés l'achèvement du délai de fin de négociation, le sous module Gestion des RAOLs supprime la réponse pour laquelle la date de fin de négociation a été atteinte et ce dans le but de ne pas la sélectionner plus tard, pour cela, le sous module passe dans l'état "Suppression". A ce niveau, il insère la réponse supprimée dans la liste L4 dans laquelle se trouvent toutes les entités qui répondent aux AOs locaux de cette entité.

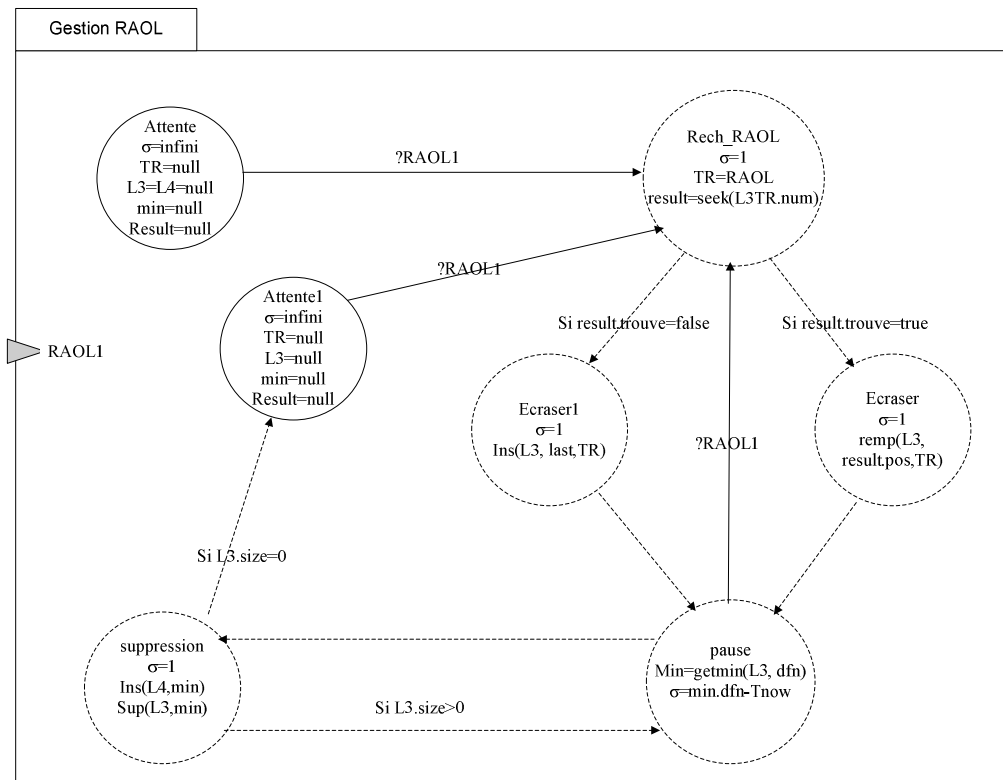


Figure III.1.7 : Gestion des RAOLs.

²¹ Fonction qui permet d'obtenir l'AOL possédant un temps de fin de négociation le plus petit.

Description formelle du modèle Gestion RAOL

a) Ports d'entrée :

- $X = \{\text{RAOL}\}$.

b) Variables d'états :

- $S = \{\text{phase, TR, L3}\}$:
 - Phase = {Attente, Rech_RAOL, Ecraser, Ecraser1, Pause, Suppression}
 - TR : Une instance de classe d'objets de type TrameRAO.
 - L3 : Une liste dans laquelle sont stockées les RAOLs circulants sur le réseau.
 - L4 : Une liste dans laquelle sont stockées les informations concernant toutes les entités qui répondent aux AOs locaux de cette entité pour lesquels la date de fin de négociation est terminée.

c) Ports de sortie :

- $Y = \{\emptyset\}$: ce module atomique ne génère aucune sortie.

III.1.2.2.2 Module d'optimisation :

Le module d'optimisation permet à l'EPA de s'auto-évaluer par rapport à un Appel d'Offre reçu, afin d'estimer sa propre capacité à répondre à celui-ci. Ce module a été modélisé à l'aide d'un modèle DEVS couplé composé de quatre modèles atomiques (Cf Figure III.1.8) [Mekaouche *et al*, 05a].

- Gestion AOL/OC : Ce modèle gère les AOLs et les OCs (Ordres de Changement).
- Gestion AO/OS : Ce modèle permet de fournir au modèle « ApplicationAHP » une liste qui contient les AOs et de transmettre les OSs (Ordres de Suppression) au modèle Planning.
- Application_AHP : Ce modèle est basé sur la méthode multicritères Analytic Hierarchy Process (AHP). Le sous module Application_AHP permet l'application de la méthode AHP sur une liste d'AOs venant du sous module Gestion AO/OS dans le but d'obtenir un classement de ces derniers. Une fois le déroulement de l'AHP terminé, le modèle envoie le premier AO (bestAO).
- Calcul_Performance : Ce modèle permet le calcul de la performance de l'entité par rapport à l'AO classé premier par la méthode AHP.

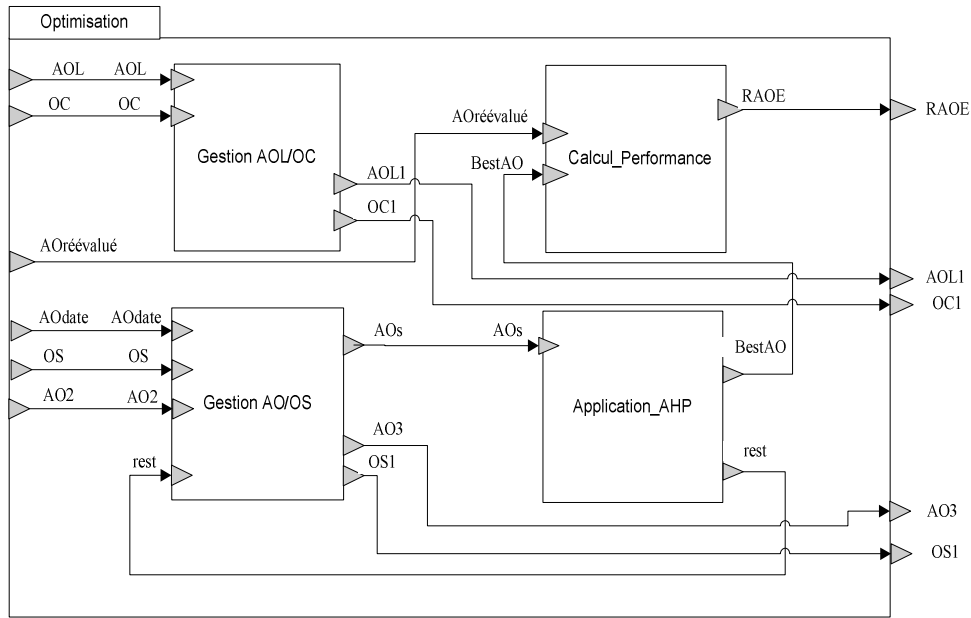


Figure III.1.8 : Modèle DEVS couplé du module optimisation

1. Description formelle du modèle couplé associé au module Optimisation

a) Ports d'entrée :

- $XI = \{AOL, OC, AOrévalué, AOdate, OS, AO2\}$.

b) Ports de sortie :

- $YI = \{AOL1, OC1, RAOE, AO3, OS1\}$

c) L'ensemble des composants :

- $D = \{Gestion\ AOL/OC, Calcul_Performance, Gestion\ AO/OS, Application_AHP\}$

d) Les liens d'entrée :

- $EIC = \{((Optimisation, AOL), (Gestion\ AOL/OC, AOL)), ((Optimisation, OC), (Gestion\ AOL/OC, OC)), ((Optimisation, AOrévalué), (Calcul_Performance, AOrévalué)), ((Optimisation, AOdate), (Gestion\ AO/OS, AOdate)), ((Optimisation, OS), (Gestion\ AO/OS, OS)), ((Optimisation, AO2), (Gestion\ AO/OS, AO2))\}$.

e) Les liens de sortie :

- $EOC = \{((Gestion\ AOL/OC, AOL1), (Optimisation, AOL1)), ((Gestion\ AOL/OC, OC1), (Optimisation, OC1)), ((Calcul_Performance, RAOE), (Optimisation, RAOE)), ((Gestion\ AO/OS, AO3), (Optimisation, AO3)), ((Gestion\ AO/OS, OS1), (Optimisation, OS1))\}$.

f) Les liens internes :

- $IC = \{((Gestion\ AO/OS, AOs), (Application_AHP, AOs)), ((Application_AHP, rest), (Gestion\ AO/OS, rest)), ((Application_AHP, BestAO), (Calcul_Performance, BestAO))\}$.

1. Sous module Gestion AOL/OC

Description du fonctionnement : Ce sous module peut recevoir un AOL venant du module Planning et destiné à être diffusé sur le réseau, il passe alors dans l'état "AOL_reçu", puis diffuse l'AOL reçu au module Interaction. Ce même sous module peut recevoir un OC (Ordre

de Changement) venant du module Interaction. À la réception de cet OC, le sous module passe dans l'état "OC_reçu" puis, diffuse l'OC au module Planning (Cf Figure III.1.9).

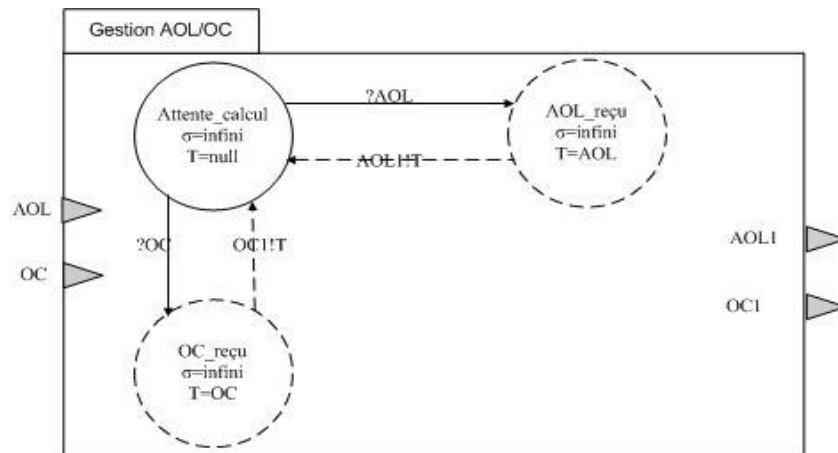


Figure III.1.9 : Gestion des AOLs/OCs.

Description formelle du modèle Gestion AOL/OC

a) Ports d'entrée :

- $X = \{AOL, OC\}$, avec :
 - AOL = {AOi}
 - OC := {AOi}.

b) Variables d'états :

- $S = \{\text{phase}, T, L3\}$:
 - Phase = {Attente, AOLreçu, OCreçu}.
 - T : Une instance de classe d'objets de type TrameAO.

c) Ports de sortie :

- $Y = \{AOL, OC1\}$, avec :
 - AOL1= {AOi}.
 - OC1= {AOi}.

2. Sous module Gestion des AO/OS :

Description du fonctionnement : Ce modèle atomique permet de fournir à la méthode AHP (Application_AHP) la liste des AOs ayant des dates de réalisation. Pour cela il reçoit en premier lieu un AO venant du module interaction, il passe alors dans l'état "AO_reçu", pour l'insérer dans la liste L5 où sont insérés tous les AOs reçus puis il se charge de le transmettre vers le module planning pour le calcul de la date de réalisation (Cf Figure III.1.10).

La réception de la liste « Reste »²² confirme la disponibilité du modèle atomique (Application_AHP). A la réception de cette liste, le sous module change d'état et passe dans l'état "Fusion_L5_LT". A ce niveau, la fusion des deux listes à savoir : la liste restante et la

²² Cette liste contient tous les AOs classés par la méthode AHP, au niveau du sous module Application_AHP, à l'exception de l'AO classé premier.

liste (L5) contenant les différents AOs arrivés pendant que la méthode AHP effectuait le classement des AOs, est effectuée. Après avoir effectué la fusion des deux listes, le sous module envoie la liste fusionnée au sous module Application_AHP. Notons par ailleurs, que la liste des AOs envoyés au sous module Application_AHP doit contenir au moins deux AOs, de plus, le sous module Application_AHP ne doit pas être occupé. Après avoir envoyé la liste des AOs au sous module Application_AHP, le sous module Gestion AO/OS change d'état et passe dans l'état "Lance_AHP".

Ce sous module peut aussi recevoir un AO muni de sa date de réalisation venant du module Planning. A la réception de cet AO, le sous module passe dans l'état "Date_reçue", pour vérifier si la date de réalisation de l'AO reçue est finie. Si c'est le cas, le sous module passe alors dans l'état "Insertion" pour insérer l'AO dans la liste "L5". En revanche, si la date de réalisation de l'AO est infinie, le sous module passe dans l'état "Suppression" afin de supprimer l'AO considéré de la liste "L5".

Par ailleurs, ce sous module peut recevoir un Ordre de Suppression (OS) venant du module d'interaction, il change alors d'état et passe à l'état "AO_sup" puis, il se charge de le transmettre au module planning.

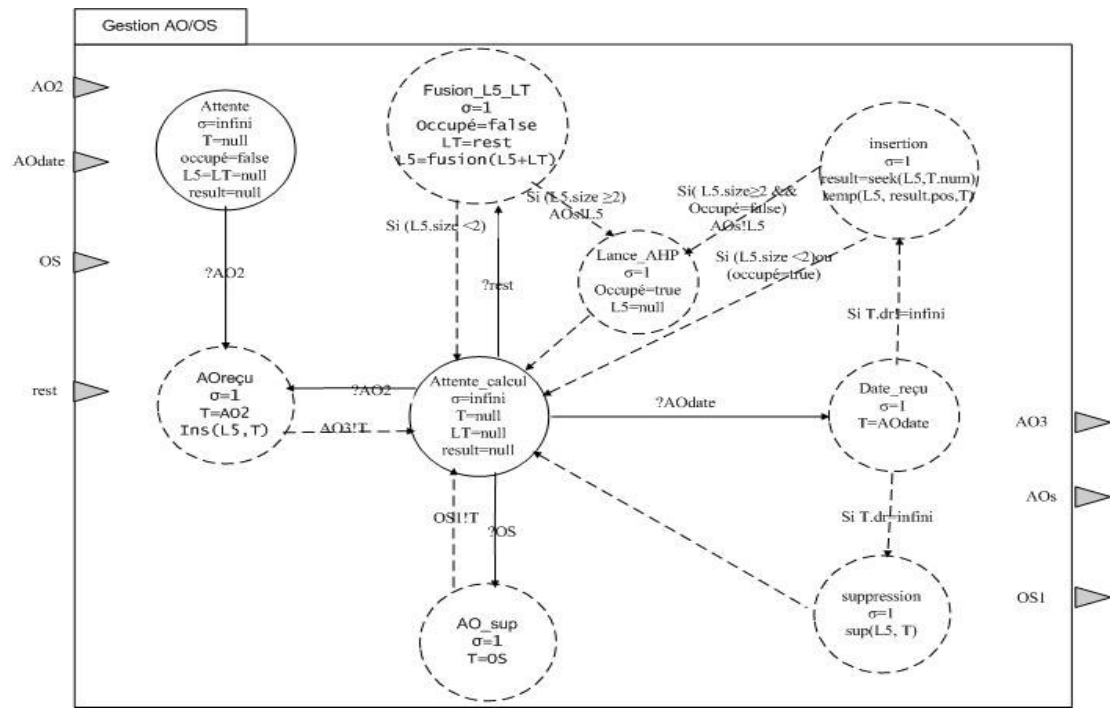


Figure III.1.10 : Sous module gestion des AO/OSs.

Description formelle du modèle DEVS associé au sous module Gestion AO/OS

a) Ports d'entrée :

- o $X = \{AO2, AODate, OS, Reste\}$
- AODate : indique l'arrivée d'un AO ayant une date de réalisation calculée par le module planning.
- $AO2 = \{AOi\}$.
- $AODate = \{AOi\}$.

- OS = {AO_i}.
- Reste = {listeAOs}: permet la réception de la liste des AOs n'ayant pas été traités par la méthode AHP au niveau du sous module Application_AHP. Ce résultat est représenté par une liste des AOs restants. La réception de cette liste par le modèle atomique (Gestion AOs/OSs) implique la disponibilité du modèle atomique (Application_AHP).

b) Variables d'état :

- o S = {phase, σ , T, occupé, LT, L5}:
- Phase = {Attente, AO_reçu, Fusion_L5_LT, Insertion, Attente_calcul, Lance_AHP, Date_reçu, Suppression, AO_Sup}.
- T : Une instance de classe d'objets de type TrameAO.
- Occupé : variable booléenne, qui indique si le sous module Application_AHP est occupé ou non.
- LT : une liste temporaire contenant les différents AOs.
- L5 : Liste contenant des AOs qui vont être envoyés au sous module Application_AHP.

c) Ports de sortie :

- o Y = {AO3, AOs, OS1}:

3. Sous module Application_AHP:

Description du fonctionnement : Comme cela a été mentionné au niveau du sous module précédent (modèle Gestion AO/OS), le sous module Application_AHP permet de classer les différents AOs en appliquant la méthode multicritère AHP (Cf Figure III.1.11). En effet, à la réception d'une liste d'AOs, le sous module applique la méthode AHP, pour cela il passe dans l'état "App_AHP". L'application de la méthode AHP permet l'obtention du bestAO qui sera envoyé au sous module Calcul_Performance, en vue de calculer sa performance. Une fois le bestAO envoyé, le sous module passe dans l'état "suppression", pour supprimer l'AO classé premier de la liste des AOs traités par l'AHP et envoyer la liste restante au sous module Gestion AO/OS pour l'informer de sa disponibilité.

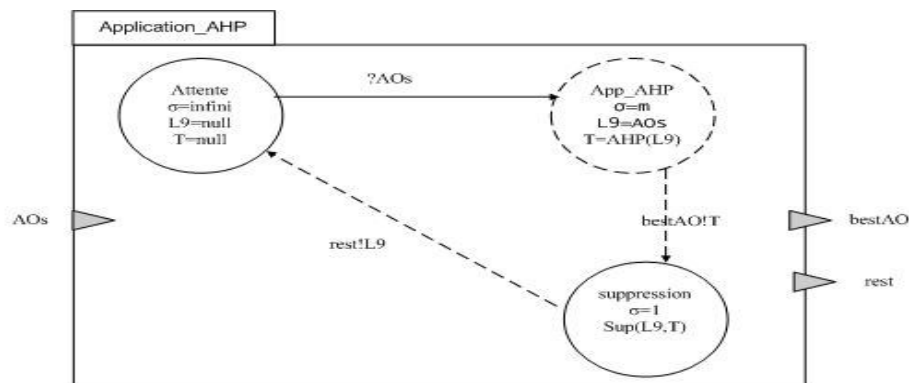


Figure III.1.11 : Sous module ApplicationAHP

Description formelle du modèle DEVS associé au sous module Application_AHP

a) Ports d'entrée :

- o X = {AOs}, avec :

- AOs : une liste contenant des AOs, destinés à être classés par l'application de la méthode AHP.

b) Variables d'états :

- o $S = \{\text{phase}, \sigma, T, L9\}$:
- Phase = {Attente, App_AHP, Suppression}.
- L9: une liste dans laquelle sont stockés les AOs venant du sous module Gestion AOs/OS; et destinés à être classés par la méthode AHP.
- T : une instance de classe d'objets de type TrameAO.

c) Ports de sortie :

- o $Y = \{\text{BestAO}, \text{Reste}\}$:
- BestAO = {AOi}.
- Reste = liste des AOs restants après la suppression du bestAO.

4. Sous module Calcul_Performance :

Description du fonctionnement : Le rôle principal de ce modèle atomique est de calculer la performance de l'AO sélectionné (bestAO) lors de l'application de la méthode AHP. De ce fait, à la réception d'un bestAO, le sous module Calcul_Performance passe dans l'état "Rech_AO pour vérifier dans la liste "L8", si la date de réalisation du BestAO a été réévaluée. Si tel est le cas, il extrait la nouvelle date puis, il passe dans l'état "Insertion_fin1" pour calculer la performance, insérer la réponse proposée par l'entité dans la liste "L7" puis, envoyer la réponse au module Interaction (Cf Figure III.1.12).

Si la date de réalisation du BestAO n'a pas été réévaluée, le sous module passe dans l'état "Insertion_fin", pour calculer la performance du BestAO, l'insérer dans la liste des réponses proposées par l'entité "L7" puis, diffuser la réponse sur le réseau.

Ce modèle peut également, recevoir un AO avec sa date de réalisation réévaluée (AO réévalué). Par conséquent, le sous module change d'état et passe dans l'état "Rech_RAOE". L'objectif étant de vérifier au niveau de liste "L7" si l'entité a déjà envoyé une réponse concernant cet AO, si tel est le cas, le sous module passe dans l'état "Ecraser", il recalcule alors la nouvelle performance de l'AO, remplace la réponse déjà proposée par la nouvelle dont la performance vient d'être recalculée et diffuse alors la performance recalculée.

Si l'AO reçu, dont la date de réalisation a été réévaluée, n'a pas été déjà sélectionné par la méthode AHP, le sous module l'insère dans la liste des AOs réévalués "L8" pour cela il passe dans l'état "Insertion_fin2".

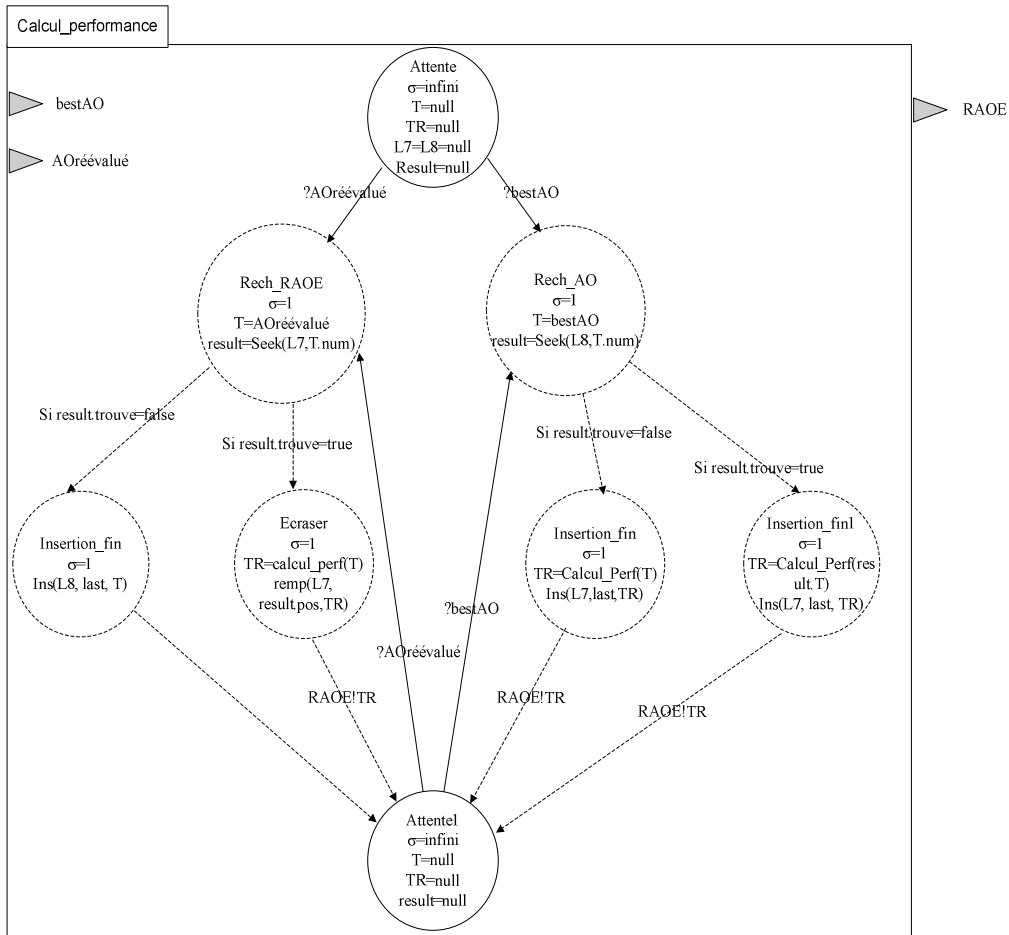


Figure III.1.12 : Sous module Calcul_Performance.

Description formelle du modèle DEVS associé au sous module Caclul Performance

a) Ports d'entrée :

- $X = \{AOrévalué, BestAO\}$:
- $AOrévalué = \{AO_i\}$: indique l'arrivée d'un AO ayant une date de réalisation réévaluée, due à une suppression d'un AO au niveau du planning.
- $bestAO = \{AO_i\}$: permet la réception de l'Appel d'Offre sur lequel l'entité est meilleure. Cet AO est envoyé par le sous module APP_AHP après avoir déroulé l'AHP.

b) Variables d'états :

- $S = \{phase, \sigma, T, TR, L7, L8, result\}$:
- $Phase = \{Attente, Rech_RAO, Rech_AO, InsertionFin, InsertionFin1, InsertionFin2, Ecraser\}$.
- TR : définit une instance de la classe d'objets trame RAO.
- $L7$: liste où sont stockées les réponses (RAOE_i) proposées par l'entité sur les AOs reçus.
- $L8$: liste où sont stockés les AOs réévalués.
- T : Instance de classe d'objets TrameAO.
- TR : Instance de classe d'objets TrameRAO.

- result: Instance de classe d'objets TrameAO

A ces variables sont appliquées l'ensemble de fonctions définies ci-dessous :

- seek(L,T,num) : recherche l'élément T dans la liste L. Cette fonction renvoie un pointeur qui se pointe soit vers l'élément T, si l'élément existe, soit sur la valeur nulle.
- ins(L,last, T) : permet l'insertion de l'élément T à la fin de la liste L.
- remp(L,pos,TR) : remplace l'élément se trouvant dans la position « pos » de la liste L par l'élément TR
- calcul_perf (T) : fonction permettant le calcul de la performance de la trame AO « T » par l'application d'une formule basée sur l'ensemble des indicateurs.

c) Ports de sortie :

- o Y= {RAOE}, où:
 - RAOE= {RAOEi}.permet l'envoi de la réponse de l'entité concernant l'AOi sur lequel elle est meilleure.

III.1.2.2.3 Module planning

Le module planning permet d'étudier la possibilité d'insertion d'un AO dans le planning. Il gère aussi les états des AOs. De même que les deux modules précédents, ce module a été modélisé par un modèle DEVS couplé composé de deux modèles atomiques (Cf Figure III.1.13):

Gestion AOL : le premier modèle atomique gère les AOLs.

Gestion Date_réalisation : le deuxième modèle permet le calcul de la date de réalisation d'un AO par l'exécution d'une méthode analytique qui fait appel aux différents états du planning au niveau du système de production.

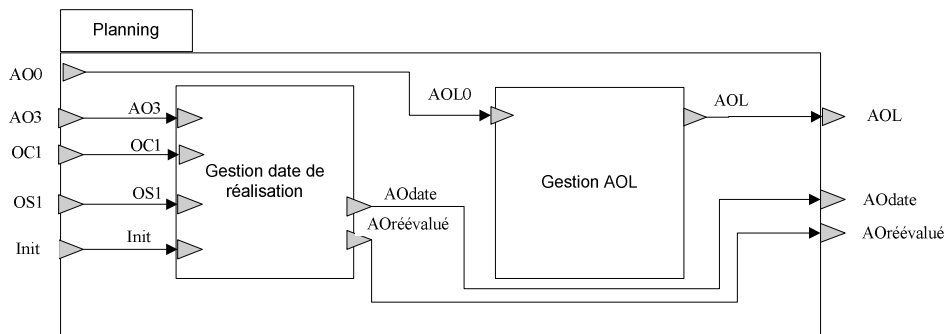


Figure III.1.13 : Modèle DEVS couplé du module planning.

1.Description formelle du modèle DEVS associé au module Planning:

a) Ports d'entrée :

- o XI = {AOL0, AO3, OC1, OS1, Init}.

b) Ports de sortie :

- o YI = {AOL, Aodate, AOréévalué}.

c) L'ensemble des composants :

- o D= {Gestion Date de réalisation, Gestion AOL}.

d) Les liens d'entrée :

- o EIC = {((Planning, AOL0), (Gestion AOL, AOL0)), ((Planning, AO3), (Gestion Date de réalisation, AO3)), ((Planning, OC1),(Gestion Date de réalisation, OC1)), ((Planning, OS1), (Gestion Date de réalisation, OS1)), ((Planning, Init), (Gestion Date de réalisation, Init))}.

e) Les liens de sortie :

- o EOC = {((Gestion AOL, AOL), (Planning, AOL)), ((Gestion Date de réalisation, Aodate), (Planning, Aodate)), ((Gestion Date de réalisation, AOréévalué), (Planning, AOréévalué))}.

f) Les liens internes :

- o IC = \emptyset .

2.Sous module Gestion des Dates de réalisation

Description du fonctionnement : Ce modèle peut recevoir un AO lancé par un des partenaires du réseau. A la réception d'un AO donné, ce sous module passe dans l'état "Calcul_date" pour calculer la date de réalisation de cet AO. Ce calcul est basé sur l'insertion de l'AO au niveau du planning (Cf Figure III.1.14). Ce module peut aussi recevoir un ordre de changement d'état pour un AO donné. De ce fait, il passe d'abord dans l'état "change" puis il fait passer l'état de l'AO considéré de l'état "négociable" à l'état "engageable" en appliquant la fonction "Change". Il peut également recevoir un ordre de suppression d'un AO de son planning sur lequel l'entité était engageable. Par conséquent, il change d'état et passe à l'état "suppression". A ce niveau, le sous module procède à la réévaluation des dates de réalisation de tous les AOs se trouvant en aval de l'AO supprimé. Par la suite, le sous module Gestion Date réalisation se charge de la diffusion de tous les AOs réévalués au module d'optimisation en vue d'une amélioration possible au niveau de la performance proposée. Pour se faire, le sous module change à nouveau d'état et passe dans l'état "Diffusion".

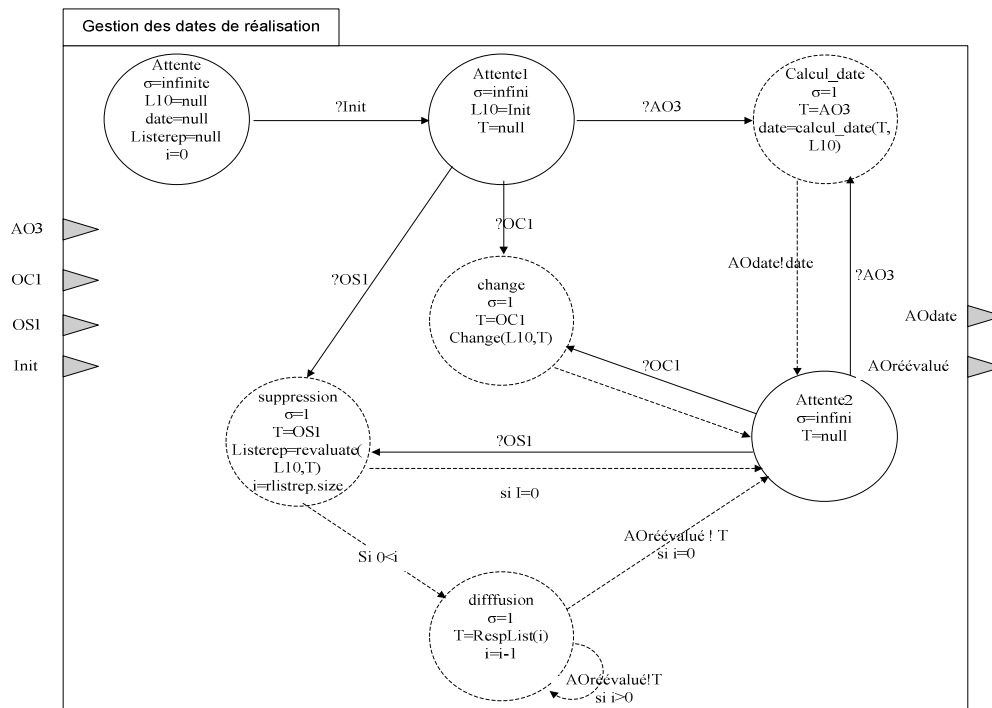


Figure III.1.14 : Sous module de calcul de la date de réalisation.

Description formelle du modèle DEVS associé au sous module Gestion de date de réalisation

a) Ports d'entrée :

- $X = \{AO3, OC1, OS1, Init\}$:
- $AO3 = \{AOi\}$: permet la réception d'un Appel d'Offre venant du module d'optimisation destiné à être inséré dans le planning.
- $OC1=\{AOi\}$: indique l'arrivée d'un Ordre de Changement de l'état de l'AOi.
- $OS1=\{AOi\}$: indique l'arrivée d'un Ordre de Suppression de l'AOi du planning.
- $Init=\{LitseAOs\}$: permet l'initialisation de la liste des AOs se trouvant dans le planning.

b) Variables d'états :

- $S = \{phase, \sigma, T, L10, Date, ListeRep, i\}$:
- $Phase = \{AttentInit, Attent1, Attente2, Calcul_date, change, suppression, diffusion\}$.
- $L10$: liste initiale où sont sauvegardés tous les Appels d'Offres du planning.
- $Date$: définit le vecteur où est sauvegardé l'Appel d'Offre AOi après avoir calculé sa date de réalisation.
- $Listerep$: liste où sont sauvegardés les AOs qui ont subi une réévaluation après un ordre de suppression d'un AO donné.

A ces variables sont associées les opérations suivantes :

- $Cacul_date(T,L10)$: fonction qui permet l'insertion de la trame AO « T » dans le planning. Cette fonction nous renvoie comme résultat la même trame T avec une modification au niveau de la date de réalisation.
- $Revaluate(L10, T)$: fonction qui permet la réévaluation des AOs situés en aval de la trame AO « T ». Cette fonction nous renvoie comme résultat la liste des Appels d'Offres réévalués.

c) Ports de sortie :

- $Y = \{AODate, AOréévalué\}$:
- $AODate = \{AOi\}$.
- $AOréévalué= \{AOi\}$.

3.Sous module Gestion AOL

Description du fonctionnement : Le sous module Gestion AOL peut lancer un AOL vers le module Optimisation. Pour cela, il reçoit l'identification de cet AOL, il passe dans l'état "AOL_reçu" puis, il se charge de le diffuser vers l'extérieur passant par les autres modules (Cf Figure III.1.15).

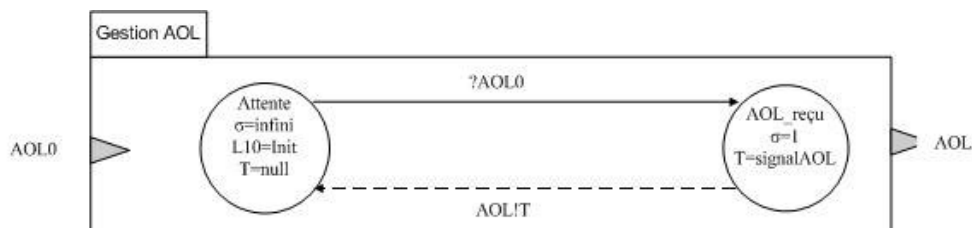


Figure III.1.15 : Gestion des AOLs

Description formelle du modèle DEVS associé au sous module Gestion AOL :

a) Ports d'entrée :

- $X = \{AOL0\}$, avec
 - AOL0 = $\{AOi\}$, permet la réception d'un signal venant du système de production qui se traduit par une panne ou un manque au niveau des ressources.

b) Variables d'état :

- $S = \{\text{phase}, T\}$:
 - Phase = $\{\text{Attente}, \text{AOLreçu}\}$.
 - T : Une instance de classe d'objets de type TrameAO.

c) Ports de sortie :

- $Y = \{AOL\}$, avec :
 - AOL = $\{AOi\}$, envoie un Appel d'Offre local au module optimisation.

Après avoir présenté une description détaillée du formalisme DEVS et après avoir élaboré les modèles DEVS décrivant le comportement interne d'une EPA, nous avons intégré les modèles ainsi élaborés dans un environnement de simulation distribuée HLA.

III.2 Réalisation

Dans cette section, nous présentons l'intégration des modèles DEVS élaborés, dans un environnement de simulation distribuée. Ce travail a été réalisé en collaboration avec A. Zahaf [Zahaf, 05]. Cette simulation va nous permettre la vérification de l'équilibre entre charge/capacité au niveau d'un fournisseur et le lissage de charge entre les différents fournisseurs potentiels pour pouvoir ainsi proposer un système équitable entre les différents fournisseurs du réseau. L'environnement de simulation distribuée développé s'appuie sur la norme HLA. Pour cela, nous présentons dans cette section dans un premier temps, les principes de spécification de simulation distribuée HLA au travers d'une définition des concepts de base. Dans un deuxième temps, nous présentons la maquette de simulation qui a été réalisée dans un environnement de développement Java 2.

III.2.1 Présentation de l'Architecture de Haut Niveau HLA

Après avoir opté pour l'environnement de simulation distribuée, il s'agit désormais de définir une architecture pour cette simulation distribuée. Pour cela, nous nous sommes intéressés à la norme HLA. Pour plus de clarté sur la mise en œuvre de cette architecture, nous proposons dans cette partie d'étudier les concepts de base de l'architecture de haut niveau HLA.

III.2.1.1 « Architecture » et « haut niveau »

Le terme « architecture » désigne ici les éléments fonctionnels principaux, les interfaces et les règles de conception applicables à toutes applications de simulation.

Dans les textes de la norme HLA, on ne fait jamais référence à l'utilisation de plates-formes de développement particulières (système d'exploitation, environnement de développement, protocole réseau, etc.). C'est en ce sens que la HLA peut être qualifiée de "haut niveau". Cela implique également que HLA en elle-même, n'apporte aucune infrastructure technique pour le développement de modèles et de simulations : une fois le choix de HLA fait, il appartient

aux développeurs de choisir leur propre infrastructure en fonction de leurs objectifs et contraintes dans le respect du standard.

III.2.1.2 Description fonctionnelle et notions de vocabulaire

Une *fédération* HLA désigne un système de simulation distribué faisant intervenir un ensemble de simulations élémentaires s'échangeant des informations appelées fédérés. Un fédéré HLA n'est pas obligatoirement une simulation : ce terme désigne tout participant matériel ou logiciel d'une fédération.

HLA est formellement définie par trois composants : Règles HLA, l'OMT (Object Model Template) et. Les Spécifications d'interface. Cette section est consacrée à la présentation de chacun de ces composants, une illustration d'une exécution de fédération est présentée à la fin de cette section.

III.2.1.2.1 Règles HLA

Les règles HLA récapitulent les principes de HLA [Mcleod, 99]. Elles résument sous la forme de 10 règles comment doivent fonctionner les fédérés (5 règles) et les fédérations (5 règles). Les dix règles sont décrites en détail en 204 de l'Annexe III.

III.2.1.2.2 OMT (Object Model Template)

Les modèles d'objets HLA permettent la description des éléments (objets et interactions) qui sont partagés par les fédérés à travers une même fédération. HLA exige que chaque fédéré et fédération, doit documenter son modèle d'objets en utilisant l'OMT. Ces modèles sont prévus pour faciliter la réutilisation des simulations.

En effet, le modèle objets de HLA ne concerne que la communication entre fédérés, il ne se préoccupe pas de l'approche de modélisation utilisée en interne du fédéré, ou du langage de programmation utilisé pour l'implémentation du modèle comportemental des entités simulées. Les classes ne sont pas décrites par leur comportement, c'est-à-dire qu'il n'existe pas de méthodes décrivant ces classes. Ce point est conforme avec l'esprit HLA qui considère que le comportement des entités simulées par un fédéré doit être masqué au sein du fédéré et ne doit en aucun cas apparaître au niveau de la communication. HLA spécifie deux types de modèles d'objets : Modèle d'Objets de Fédération (FOM) et Modèle d'Objets de Simulation (SOM).

- Le FOM : HLA décrit l'ensemble des objets, attributs et interactions qui sont partagés à travers la fédération.
- Le SOM : HLA fournit des informations sur la faculté de simulation d'échanges de l'information. Le SOM est essentiellement un contrat pour la simulation, définissant les types d'informations pouvant être disponibles dans une fédération future. La disponibilité du SOM facilite l'appréciation de la convenance d'un fédéré pour la participation dans une fédération.

Il existe un autre composant documenté selon l'OMT, qui est le MOM (Management Object Model). Ce modèle d'objets peut être utilisé par les fédérés pour obtenir des informations sur la fédération à laquelle ils participent.

Nous allons construire par la suite, notre FOM pour spécifier les informations partagées entre les modèles DEVS-EPA sous format tabulaire.

III.2.1.2.3 Les spécifications d'interface

Les spécifications d'interface de HLA indiquent comment les fédérés interagissent pendant l'exécution de la fédération. Elles définissent les services d'exécution permettant à un ensemble de fédérés de communiquer par échange de données. Ces services sont classés en six familles fondamentales : Gestion de fédération, Gestion de déclaration, Gestion d'objets et Gestion du temps, Gestion des propriétés et Gestion de la distribution des données. Le détail sur chacun des services est présenté dans le TABLEAU III.1.1 de l'Annexe III.

Les services cités ci-dessus sont fournis au fédéré par la RTI (Run-time Infrastructure). La RTI constitue une implémentation informatique des spécifications d'interface d'HLA. Il s'agit d'un ensemble de processus informatiques écrit dans un langage de programmation donné, qui joue le rôle d'un système d'exploitation distribué réduit. Ce logiciel permet à plusieurs fédérés constituant une fédération de s'échanger des données pendant la simulation, au travers d'un réseau local ou longue distance [Adelantado *et al*, 05]

Toutes les interactions entre les fédérés passent par la RTI. La RTI n'est pas un logiciel unique, ni standard, mais son interface avec les fédérés est, elle, normalisée. C'est cette standardisation qui assure l'interopérabilité des simulations et leur capacité à évoluer d'une fédération HLA à une autre. C'est également grâce au RTI (entre autre) que la synchronisation est assurée.

Afin d'illustrer les différents composants d'une RTI, nous nous sommes appuyés sur l'architecture de la RTI NG (Run Time Infrastructure Next Generation), que nous décrivons dans le paragraphe suivant.

III.2.1.2.4 L'architecture RTI NG :

Comme le montre la Figure III.2.1 ci-dessous, la RTI est composée de trois éléments :

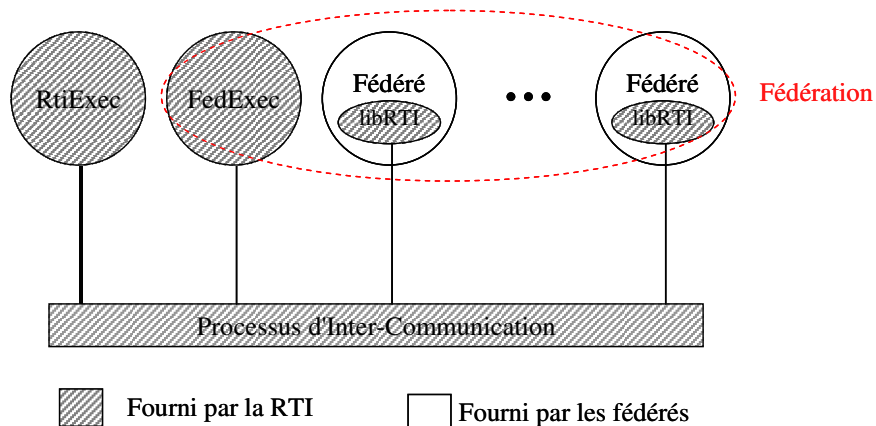


Figure III.2.1 : Vue logique des composants RTI [Mcleod, 99].

- FedExec – l'exécutif de Fédération : c'est le processus qui gère une fédération. Il existe un seul processus par fédération. La création de ce processus est réalisée par le premier fédéré qui joint avec succès la fédération. Il permet aux fédérés de rejoindre la fédération pendant l'exécution et facilite l'échange de données entre les fédérés participants.
- RtiExec - le Cadre RTI : c'est un processus global qui gère la création et la destruction des FedExec. Il assure que chaque FedExec ait un nom unique et il est à l'écoute des ports de communication.
- LibRTI - the RTI Library : rend les méthodes de service HLA disponibles aux fédérés. Les fédérés emploient le libRTI pour invoquer les services HLA. Ces méthodes communiquent avec le RtiExec, FedExec et les autres fédérés.

Au début de cette section nous avons mentionné que tous les échanges de données entre fédérés et autres variétés de services sont assurées par la RTI. A ce niveau et afin de comprendre le rôle de la RTI dans l'exécution d'une fédération, nous avons présenté l'architecture de la RTI NG. Reste à savoir comment un fédéré invoque les services du RTI pour pouvoir communiquer avec les autres fédérés. Pour cela, nous présentons dans le paragraphe suivant une description détaillée d'un fédéré.

III.2.1.2.5 Les composants d'un fédéré

Lors de l'exécution de la fédération, la RTI se compose donc des processus RTIExec et FEDExec, ainsi que d'un composant local, appelé LRC (Local RTI Component) qui sert d'interface de communication entre son fédéré et les 2 autres processus. Les invocations des services HLA par le fédéré passent donc toujours par le LRC. Réciproquement, c'est le LRC qui est responsable de la diffusion des données en provenance de la fédération, vers son propre fédéré [Adelantado *et al*, 05] Par conséquent, le code utilisateur des fédérés est lié au Code Composant RTI Local (*Local RTI Component Code LRC*) de la bibliothèque C++ libRTI pour former un fédéré complet. Ces composants RTI locaux fournissent les services HLA au fédéré pour la communication avec le RtiExec, le FedExec et les autres fédérés [Zacharewicz, 02]. La Figure III.2.2 définit les composants d'un fédéré sachant que :

- RTIAmbassador : Le code du fédéré demande les services de la RTI en appelant les fonctions membres de la classe RTI_Ambassador située dans la bibliothèque LibRti.
- FederateAmbassador : Pour que le fédéré puisse recevoir des messages venants de la RTI, il doit créer une classe qui hérite de la classe FederateAmbassador, dans laquelle il fournit les mises en œuvre de toutes les fonctions de rappels de services qui seront appelées par la RTI.

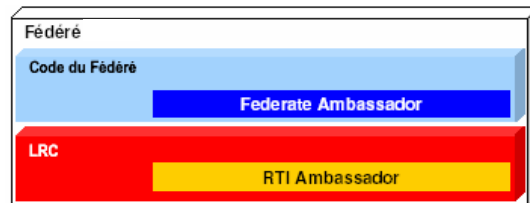


Figure III.2.2 : Composants d'un fédéré [Mcleod, 99]

Les étapes du processus pour lancer une exécution d'une fédération peuvent être décrites comme suit.

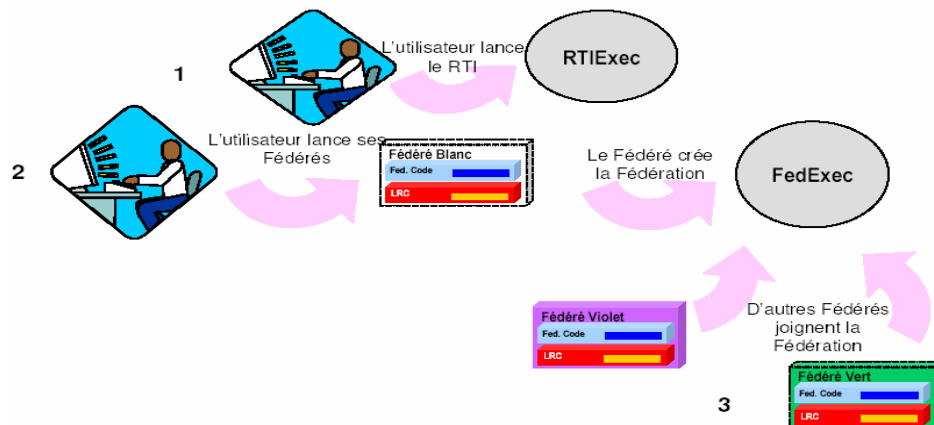


Figure III.2.3 : Etapes d'exécution d'une fédération en exécution [Mcleod, 99].

Le RTIExec est lancé avant toute tentative d'exécution de fédération. Ensuite un fédéré, agissant comme un manager, crée une exécution de fédération en invoquant la méthode RTI "createFederationExecution" de son RTIAmbassador. Le RTIAmbassador réserve alors un nom avec RtiExec, pour engendrer un processus de FedExec. Ce FedExec enregistre son adresse de communication avec RtiExec. L'exécution de fédération est à ce stade lancée. Une fois qu'une exécution de fédération existe, des fédérés peuvent la rejoindre. Le RTIAmbassador consulte alors le RtiExec pour obtenir l'adresse du FedExec, et invoque joinFederationExecution() sur FedExec. Des fédérés supplémentaires peuvent se joindre via le même processus (Cf Figure III.2.3).

Afin de permettre à tout fédéré de contrôler son avance dans le temps logique, vis-à-vis de celle des horloges des autres fédérés participant à la fédération, l'architecture HLA dispose des mécanismes de gestion du temps permettant d'assurer une avance dans le temps qui peut respecter les principes de causalité²³ des événements, lorsque le concepteur de la simulation le souhaite. Dans ce cas, le RTI garantit qu'un fédéré ne peut pas recevoir d'événements (mises à jour d'attribut ou envois d'interaction) à traiter dans son passé. Le premier fondement de HLA est qu'il n'existe aucune référence à une horloge globale de la fédération. En revanche, chaque fédéré doit avoir sa propre référence temporelle²⁴. Dans ce contexte le paragraphe suivant présente une description du service de gestion du temps offert par HLA.

III.2.1.2.6 Gestion du temps

L'architecture HLA supporte 3 mécanismes d'avance dans le temps des fédérés participant à une fédération :

- En temps coordonné, lorsque l'avance dans le temps de chaque fédéré est coordonnée avec celle des autres fédérés.
- Sur événement, lorsque l'avance dans le temps d'un fédéré est rythmée par la répercussion d'un événement (réception de valeurs d'attribut ou de paramètres). Dans ce cas, l'avance dans le temps du fédéré est donnée par l'estampille temporelle²⁵ de l'événement reçu.
- Enfin, de manière optimiste, lorsque chaque fédéré avance dans le temps à sa vitesse propre indépendamment de celle des autres fédérés. C'est aussi le cas des fédérations où tous les fédérés sont "temps réel". Dans le cas de simulation "non temps réel", l'occurrence d'événements dans le passé du fédéré, provoque des mécanismes de retour en arrière "rollback" afin de revenir à un état de la simulation cohérent avec la date de traitement de l'événement.

Pour mettre en œuvre la garantie du principe de causalité, tout fédéré peut se déclarer vis-à-vis de l'avance dans le temps, comme régulateur, contraint, régulateur et contraint ou ni l'un ni l'autre :

- Un fédéré régulateur régule l'avance dans le temps de tous les fédérés contraints participant à la fédération.
- L'avance dans le temps d'un fédéré contraint est régulée par celle de tous les fédérés régulateurs participants à la fédération.
- Si un fédéré n'est ni régulateur, ni contraint, alors il s'agit d'un fédéré "temps réel" qui avance dans le temps indépendamment des autres fédérés, et à sa propre vitesse.

²³ L'effet ne précède pas la cause.

²⁴ Temps logique du fédéré.

²⁵ Date de validité d'un événement

- Lorsqu'un fédéré est à la fois régulateur et contraint, il régule l'avance dans le temps de tous les fédérés contraints, et sa propre avance dans le temps dépend de celle de tous les fédérés régulateurs.

Le rôle d'un fédéré vis-à-vis de l'avance dans le temps (régulateur ou contraint) est déclaré de sa propre initiative, par l'invocation de services particuliers de la classe *RTIAmbassador*.

L'algorithme mis en œuvre dans la RTI est celui de [Chandy et Misra, 79] (Cf Figure III.2.4).

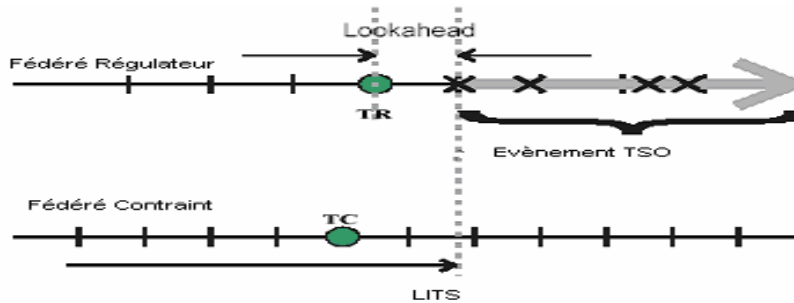


Figure III.2.4 : Représentation de l'avance dans le temps d'un fédéré contraint [Adelantado *et al*, 05].

Tout fédéré régulateur doit déclarer une durée temporelle, appelée lookahead²⁶, par invocation d'une méthode particulière de la classe *RTIAmbassador*. Etant donné L , le lookahead du fédéré régulateur, et TR sa date logique courante, celui-ci, s'engage à ne pas diffuser d'événements avec une date inférieure à $TR+L$.

Dès lors, étant donnée TC la date logique du fédéré contraint, et le $LITS$ ²⁷ désignant la date $TR+L$, supposons maintenant, que le fédéré contraint demande une avance à la date logique T . Deux cas sont alors possibles :

- La date T est supérieure au $LITS$. Dans ce cas, le $LITS$ est la valeur du lookahead du fédéré régulateur. Cette demande ne peut pas être immédiatement accordée par la RTI, car ce fédéré régulateur peut encore diffuser des événements avec une date inférieure à T . Par conséquent, le fédéré contraint pourrait recevoir des événements à traiter dans son passé ;
- La date T est inférieure ou égale au $LITS$. Dans ce cas, le fédéré régulateur a promis, qu'il ne va pas diffuser d'événements avec une estampille temporelle inférieure à T . Dès lors, la RTI peut accorder immédiatement l'avance dans le temps au fédéré contraint en invoquant `TimeAdvanceGrant(T)` implémentée dans le code héritant de la classe abstraite *FederateAmabassador*.

Ce mécanisme d'avance dans le temps se généralise sans difficulté lorsque plusieurs fédérés régulateurs participent à une même fédération, en considérant que le $LITS$ est défini par le minimum des $TR_i + L_i$ de tous les fédérés régulateurs. Enfin, toute avance dans le temps d'un fédéré qui n'est pas contraint, est immédiatement accordée par la RTI.

Tel que nous l'avons mentionné au début de ce chapitre, afin de pouvoir valider l'approche de pilotage proposée, nous avons intégré les modèles DEVS de l'EPA élaborés, dans l'environnement de simulation distribuée HLA.

²⁶ Lookahead : une date jusqu'à laquelle un fédéré ne peut envoyer un message avec une date inférieure à $TR+Lookahead$ (TR étant sa date logique courante).

²⁷ $LITS$: Least Incoming Time Stamp, une date minimale jusqu'à laquelle un fédéré ne peut pas recevoir un message.

III.2.2 Simulation distribuée des modèles DEVS

Dans cette section nous présentons dans un premier temps, un rappel sur les simulateurs DEVS de façon général pour introduire, dans un deuxième temps, d'une part, l'intégration des modèles DEVS dans l'environnement de simulation distribuée HLA, et d'autre part, la maquette de simulation.

III.2.2.1 Simulation de modèles DEVS

Dans le but de simuler les modèles DEVS, Zeigler a développé le concept de simulateur abstrait [Zeigler *et al.*, 00]. Ce simulateur représente une description algorithmique permettant de mettre en œuvre les fonctions d'un modèle DEVS donné afin de générer son comportement. Un tel simulateur est obtenu en faisant correspondre à chaque élément du modèle un composant (processeur) du simulateur. Ainsi, pour effectuer une simulation, une hiérarchie de processeurs, équivalente à la hiérarchie des modèles, est construite. A chaque composant du modèle est associé un processeur de la structure hiérarchique du simulateur. Chaque processeur participe à la simulation en exécutant les fonctions qui expriment la dynamique du modèle. Ces processeurs sont :

- Le simulateur : assure la simulation des modèles atomiques en utilisant les fonctions définies dans le formalisme DEVS.
- Le coordinateur : assure le routage des messages entre les modèles couplés en fonction des définitions de couplages. Il maintient un échéancier contenant les événements planifiés pour ces successeurs. Les événements sont représentés par une date, une valeur et par un simulateur destinataire. Le coordinateur sélectionne l'événement de date minimale dans son échéancier et le fait parvenir par message à son successeur. Dans le cas où plusieurs événements possèdent la même date, le coordinateur fait appel à la fonction Select qui détermine la priorité entre les simulateurs.
- Le coordinateur Racine : assure la gestion globale de la simulation. Il ordonne le début et la fin de la simulation et gère l'horloge globale.

La Figure III.2.5 ci-dessous représente le simulateur abstrait, défini selon l'architecture de Zeigler, correspondant au modèle DEVS couplé illustré dans la Figure III.1.2.

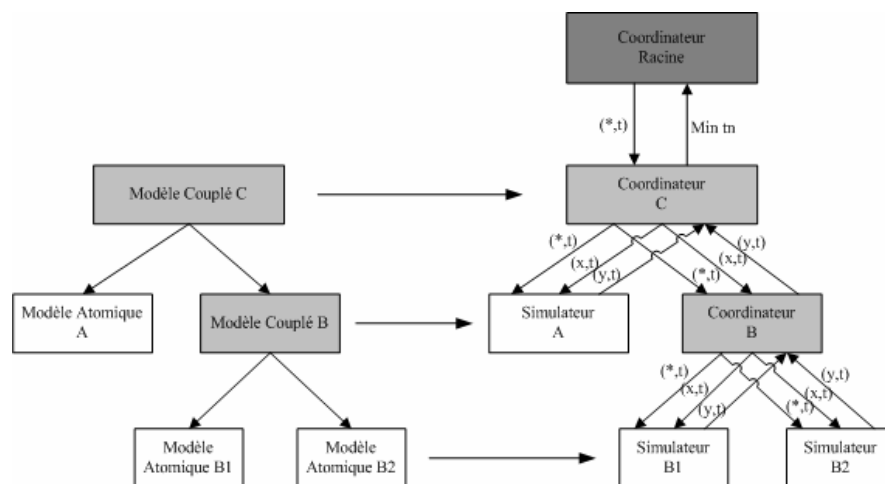


Figure III.2.5 : Correspondance entre modèle et simulateur

La simulation s'effectue grâce à l'échange de messages entre les différents processeurs. Les différents types de messages échangés sont définis comme suit :

- Xmessage noté (x,t) : utilisé lorsqu'un événement externe arrive sur un modèle.
- *message noté (*,t) : utilisé pour simuler un événement interne.
- Ymessage noté (y,t) : utilisé pour simuler un événement de sortie.
- Imessage noté (i,t) : utilisé pour initialiser le modèle (uniquement pour intérêt informatique).

Les trois premiers types de messages représentent les différents événements définis dans un modèle DEVS. En revanche, le quatrième type de message est utilisé uniquement lors du lancement de la simulation. En effet, au lancement de la simulation, ce message est envoyé depuis le coordinateur vers tous ses fils dans le but d'initialiser les états actuels des modèles et de récupérer les informations de prochaines transitions interne planifiées. Par conséquent, ce type de message n'est pas représenté sur la Figure III.2.5 ci-dessus, puisque ce dernier intervient uniquement dans la mise en œuvre du simulateur.

La structure hiérarchique définie ci-dessus par Zeigler conduit à utiliser autant d'échéanciers d'événements et de processeurs coordinateurs que de modèles couplés. Par conséquent, le nombre important de composants entraîne la gestion d'un grand nombre d'échéanciers et de messages échangés entre eux. Pour remédier à ce problème [Zacharewicz, 06] a proposé dans le cadre de son travail de thèse une mise à plat de la structure hiérarchique de simulation abstraite définie par Zeigler. L'auteur a donc proposé de réduire la structure arborescente de coordinateurs intermédiaires entre le coordinateur racine et les simulateurs. Pour ce faire, il a choisit de ne conserver qu'un composant coordinateur auquel les composants simulateurs correspondants aux modèles atomiques seront connectés en successeurs directs. La réduction de la structure de simulation, correspondant à la structure hiérarchisée de la Figure III.2.5 ci-dessus, est illustrée par la suppression des composants barrés sur la Figure III.2.6 (a). La nouvelle structure ainsi obtenue est illustrée sur la Figure III.2.6 (b).

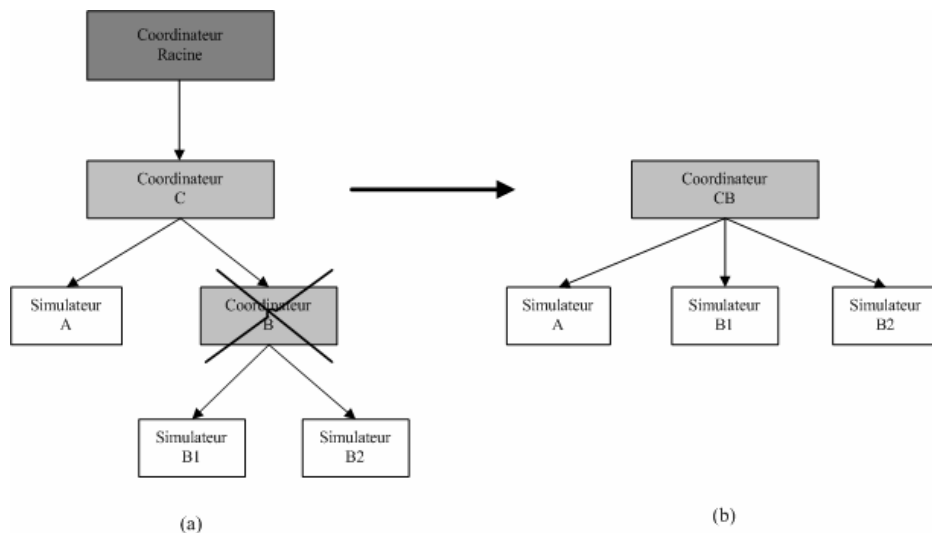


Figure III.2.6 : Mise à plat de la structure hiérarchique de simulation

III.2.2.2 Intégration des modèles DEVS dans un environnement HLA

Le premier algorithme d'intégration a été présenté par [Zeigler *et al*, 99]. L'auteur intègre les modèles couplés DEVS locaux dans des fédérés HLA, dont les coordinateurs de plus haut niveau ont pour responsabilité de gérer la simulation locale mais aussi de communiquer avec un fédéré nommé " Manager de temps".

Partant des travaux de Zeigler ainsi que les travaux de [Lake *et al*, 00] sur l'intégration des modèle DEVS dans HLA ; [Zacharewicz, 06] propose une nouvelle intégration des modèles DEVS ou G-DEVS²⁸ (Generalized Discret Event Specification) dans une structure de simulation distribuée compatible HLA (HLA Compliant). Il propose d'intégrer chaque processeur LCS (groupe Coordinateur Local- Simulateur) dans un fédéré HLA conformément à [Zeigler *et al*, 99] [Zeigler *et al*, 98] mais sans avoir à utiliser le fédéré "Manager de temps". Il intègre directement les fonctionnalités du composant DRC (Coordinateur Racine Distribué) dans le RTI. En effet, la spécification d'interface (RTI) propose des services qui incluent ceux définis dans DRC. Ainsi, il obtient un modèle global distribué (fédération) qui est constitué de fédérés LCS communiquant réciproquement via le RTI. (Cf Figure III.2.7)

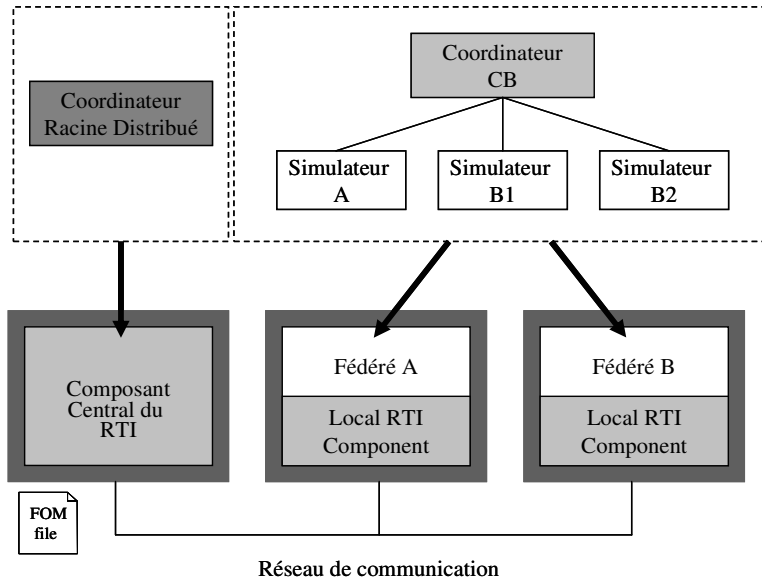


Figure III.2.7 : Intégration du simulateur DEVS dans l'environnement HLA.

Dans l'intégration des modèles DEVS-EPA, élaborés ci-dessus, dans l'environnement de simulation distribuée HLA, nous nous sommes basés sur les travaux de [Zacharewicz, 06] présentés ci-dessus. Ainsi nous avons utilisé la structure mise à plat pour la simulation et l'environnement de simulation DEVS /G-DEVS compatible HLA proposé par l'auteur. Une description détaillée de l'intégration des modèles DEVS des EPAs dans l'environnement de simulation distribuée HLA est présentée dans le paragraphe suivant.

III.2.2.3 Intégration des modèles DEVS-EPA dans un environnement HLA

Pour l'intégration des modèles DEVS-EPA dans l'environnement HLA, nous avons décomposé le fédéré EPA en Simulation des modèles DEVS-EPA, Coordinateur Local, FOM et Interface entre les simulateurs des modèles et le RTI (Cf Figure III.2.8) [Ounnar *et al*, 06]. La description de chacun des composants est présentée ci-dessous.

²⁸ Définit un événement comme une liste de valeurs [Giambiasi *et al*, 00]

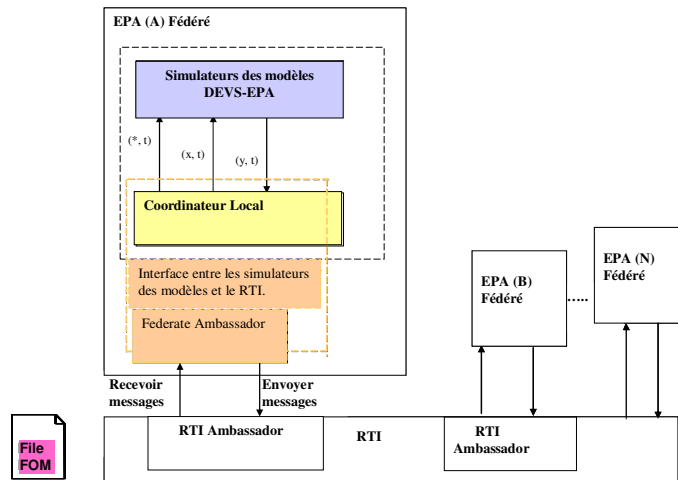


Figure III.2.8 : Relation entre les composants de la simulation

III.2.2.3.1 Simulateurs des modèles DEVS-EPA

Les simulateurs des modèles DEVS-EPA sont définis conformément à la structure de mise à plat proposée par [Zacharewicz, 06]. A chaque modèle atomique défini dans le modèle DEVS couplé d'une EPA est associé un simulateur. Pour la réalisation des simulateurs, nous avons implémenté deux classes abstraites :

- La première classe est la classe "ModelAtomic", à partir de laquelle héritent les modèles atomiques DEVS-EPA, dans laquelle nous trouvons toutes les méthodes définies en DEVS. La classe abstraite correspondant aux modèles DEVS atomiques contient également une méthode (SendMessage) qui permet de recevoir les événements destinés à un modèle atomique.
- La deuxième classe est la classe "ModelCouple", à partir de laquelle héritent les modèles couplés DEVS-EPA. Les différentes méthodes de cette classe sont appelées à partir du coordinateur local afin de sélectionner le modèle atomique influencé par l'évènement sélectionné conformément à la structure proposée par [Zacharewicz, 06].

III.2.2.3.2 Coordinateur Local

Le coordinateur local manipule un échéancier contenant les Xmessages (événements d'entrées), les *messages déduits des durées de vie de ses successeurs c'est-à-dire les simulateurs atomiques des différents modèles atomiques DEVS-EPA. Le coordinateur local s'occupe également de la gestion de l'horloge locale (LocalTime), c'est-à-dire la simulation locale, en sélectionnant le prochain message chronologique de son échéancier par rapport à sa date actuelle, et en le transmettant au simulateur successeur (la destination). Il comporte également une liste d'attente (WaitList) dans laquelle il stocke les messages en cours de traitement (au niveau des successeurs) et une liste d'acquiescement (StopList) qui permet de vérifier que le traitement des messages envoyés est bien terminé. Il conserve aussi les relations de couplage avec ses successeurs dans les listes (EICList, EOCList, ICList).

En se basant sur la spécification du coordinateur locale définie dans [Zacharewicz, 06], nous avons intégré son implémentation dans la classe Noyau (décrite pas la suite). Ce groupe (Coordinateur Local -Simulateur) peut donc simuler localement un modèle couplé de façon autonome. Pour cela, chaque modèle DEVS couplé et son LCS associé doivent avoir un SOM définissant les informations qu'ils sont capables de fournir dans une simulation distribuée respectant HLA.

III.2.2.3.3 FOM

Les données communes des SOM des différents fédérés permettent de produire le FOM de la fédération DEVS/HLA. Elles sont de deux types : les objets et les interactions. Les objets sont des informations partagées persistantes contrairement aux interactions qui sont des données éphémères (simplement émises et reçues) [Zacharewicz, 06]. Les objets et Interactions partagés dans une fédération sont définis sous forme de tables. Ces tables sont à renseigner par le concepteur de fédérés ou de fédérations. Nous présentons ci-dessous les différentes tables nécessaires à la construction de l'OMT permettant de spécifier les informations partagées entre les modèles DEVS-EPA.

1) Table de Structure de Classe d'Objets : Cette table permet la description des classes d'objets, leurs sous classes dans une fédération. Dans notre cas, le FOM de la fédération contient donc une classe d'objets qui définit chaque EPA. Tous les fédérés publient et souscrivent à cette classe d'objets afin de connaître les autres fédérés et de se faire connaître par les autres fédérés. Notre table de structure de classe d'objets sera donc remplie en entrant d'abord la première classe racine « HLAObjectRoot » de toutes les classes d'objets et ensuite la classe d'objets EPA (Cf Tableau III.2.1). Notons que la classe d'objets EPA ne possède aucune sous classe. Les lettres P et S associées à cette classe indiquent respectivement Publishable et Subscribable. Publishable, signifie qu'un fédéré, en utilisant le service Publish Object, peut publier la classe d'objets indiquée. En revanche, Subscribable, signifie que le fédéré est capable d'utiliser et de réagir à l'information sur des objets de la classe donnée.

Object Class Structure Table	
HLAObjectRoot (N)	EPALocal (1) (PS)

Tableau III.2.1 : Table d'objets.

2) Table de structure d'interaction : Les interactions permettent d'établir la communication entre les fédérés. Elles transportent donc les messages contenant les événements de sortie qui influencent d'autres fédérés. Dans le cas d'un fédéré DEVS possédant un port de sortie, celui-ci publie sur une classe d'interaction définissant la relation de couplage de sortie (IC et/ou EOC) par l'invocation du service publishInteractionClass(). Par contre, s'il s'agit d'un fédéré DEVS possédant un port d'entrée, celui-ci doit souscrire à la classe d'interaction (IC et/ou EIC) publiée par le port qui l'influence, en invoquant le service subscribeInteractionClass(). Par conséquent, l'information exigée pour construire les interactions est contenue dans la définition de couplage. A titre d'exemple, dans le modèle couplé DEVS-EPA, nous avons un port au travers duquel l'EPA reçoit un AO. A ce niveau, nous avons défini la classe d'interaction AppelOffre. Cette classe d'interaction doit être PS (PublishSubscribe) puisque chaque fédéré est capable de publier et de souscrire à cette classe d'interaction. De même, pour ce qui est du port RAO, par lequel l'EPA peut recevoir des Réponses aux Appels d'Offres (RAO), nous lui avons défini une classe d'interaction ReponseAppelOffre (Cf Tableau III.2.2). Cette classe d'interaction doit être également, PS (PublishSubscribe) puisque chaque fédéré est capable de publier et de souscrire à cette classe d'interaction. Les deux classes ne disposent pas de sous classes. La table de structure d'interaction sera remplie en entrant d'abord la classe racine HLAInteractionRoot (N), suivie des classes que nous avons définies ci-dessus.

Interaction Class Structure Table	
HLAInteractionRoot (N)	AppelOffre (PS)
	ReponseAppelOffre (PS)

Tableau III.2.2 : Table d'interaction.

3) Table de classe d'attributs : Cette table permet de définir les attributs des objets vus dans la table de structure d'objets. La table de paramètres comporte dix colonnes, les champs définis dans chaque colonne sont décrits ci-dessous [Zacharewicz, 02]:

1. *Object (Objet)* : contient les classes de la table classe d'objets dont les attributs vont être définis.

2. *Attribut* : liste les attributs de la classe d'objets indiquée.

3. *Datatype* : identifie le type de donnée de l'attribut. Les datatypes valables sont décrits en détail dans la Norme IEEE P1516.2. Pour chaque datatype employé par les fédérés, divers détails doivent être fournis dans les tables de datatype séparées.

4. *Update Type (Type de Mise à jour)* : enregistre la méthode pour mettre à jour une instance d'attributs de classe. Les désignations valables pour cette colonne sont définies comme suit :

- Statique : les mises à jour de ces attributs sont faites au lancement et à la demande des fédérés.
- Périodique: les mises à jour de ces attributs sont faites à intervalles de temps réguliers.
- Conditionnel : l'attribut fédéré est mis à jour quand certaines conditions sont remplies.
- NA : le fédéré ne fournit jamais une valeur pour cet attribut.

5. *Update Condition (Condition de Mise à jour)* : définit la politique de mise à jour de l'attribut utilisée. S'il s'agit d'une mise à jour périodique, un taux de nombre de mises à jour par unité de temps sera spécifié dans cette colonne. En revanche, s'il s'agit d'une mise à jour conditionnelle, cette colonne spécifiera ces conditions. Si le type de mise à jour est Statique nous inscrivons sur la colonne NA (No-transfert Acquire).

6. *D/A* : indique si la propriété d'une instance de l'attribut de classe peut être acquise ou elle est privée. Les désignations valables pour cette colonne sont comme suit :

- D (Divest) Privé.
- N (No-transfert) Pas de transfert.
- A (Acquire) Acquise.
- DA (DivestAcquire) Privé Acquise.

7. *P/S* : définit les capacités d'un fédéré ou de la fédération à souscrire et / ou à publier l'attribut de classe.

8. *Available Dimensions (Dimensions)* : enregistre l'association de l'attribut à un jeu de dimensions, dans le cas où un fédéré ou une fédération utilise la Gestion de Distribution de Données (DDM) pour cet attribut.

9. *Transportation (type de transmission)* : spécifie comment les données (les interactions et les valeurs d'instance d'objets) doivent être transmis entre les fédérés. Il y a deux types de transmission fournis par toutes les mises en œuvre RTI :

- HLAReliable (transmission garantie): définie par l'appel aux services suivants : `ChangeAttributTransportType(Reliable)` pour l'attribut, et

ChangeInteractionTransportType(Reliable) pour les paramètres. Ce type de service est assuré en utilisant le protocole TCP29.

- HLABesteffort (transmission non garantie) : définie par l'appel aux services suivants : ChangeAttributTransportType(Besteffort) pour l'attribut, et ChangeInteractionTransportType(Besteffort) pour les paramètres. Ce type de service est assuré en utilisant le protocole UDP³⁰.

10. Order (Ordre) : spécifie le type de message utilisé dans la livraison des instances de cet attribut. Les messages utilisés peuvent être de deux types. : ReceiveOrder (RO), dans ce cas les messages ne sont pas datés, ils sont simplement envoyés et reçus sans contrainte temporelles. La deuxième possibilité consiste à utiliser des messages datés (TimeStampOrder), dans ce cas, ces messages doivent être livrés au fédéré récepteur dans l'ordre correct défini par cet horodatage (Time Stamp).

Dans notre cas, il s'agit d'une seule classe d'objets EPA. Les attributs de cette classe sont définis dans le Tableau III.2.3 ci-dessous :

Attribut Table									
Object	Attribut	Data Type	Update Type	Update condition	D/A	P/S	Available dimensions	Transportation	Order
HLA Object-Root	HLAprivilege toDeleteObject	NA	NA	NA	DA	PS	NA	HLAreliable	Time stamp
EPAlocal	Identification	Iden_EPA	Conditiona	Modification de l'EPA	DA	N	NA	HLAreliable	Time stamp

Tableau III.2.3 : Table d'attributs.

4) Table de Paramètres : Les paramètres d'interaction sont comparables aux attributs des objets. Cette table comporte cinq colonnes, les champs des cinq colonnes sont identiques aux champs définis pour la table d'attribut ci-dessus à l'exception des deux champs suivants :

1. *Interaction* : contient les noms de classes d'interaction de la table de structure de classe d'interaction.
2. *Paramètre* : inscrit les paramètres de chaque interaction.

Pour les deux classes d'interactions définies ci-dessus à savoir : AppelOffre et ReponseAppelOffre, nous définissons le Tableau III.2.4 suivant :

²⁹ Transmission Control Protocol : Protocole utilisé sur le réseau Internet pour transmettre des données entre deux machines.

³⁰ Le protocole UDP (*User Datagram Protocol*) est un protocole non orienté connexion de la couche transport du modèle TCP/IP. Ce protocole est très simple étant donné qu'il ne fournit pas de contrôle d'erreurs.

Parameter Table				
Interaction	Parameter	Data Type	Available Dimension	Transportation
HLAInteractionRoot (N)	NA	NA	NA	HLAReliable
AppleOffre(PS)	Identification AppelOffre	TrameAO	NA	HLAReliable
ReponseAppelOffre	ValeurResponse Appel_Offre	TrameRAO	NA	HLAReliable

Tableau III.2.4 : Table des paramètres.

5) Table de DataType (Fixed Record DataType)

Cette table permet de spécifier les types de données utilisés pour définir des classes d'objets et des classes d'interactions. Ainsi, les types de données utilisées dans les deux classes d'interaction que nous avons défini sont présentés sur le Tableau III.2.5 ci-dessous:

Record name	Field			Encoding	Semantics
	Name	Type	Semantics		
TrameAO	NumAO	HLAInteger32BE	Numéro de l'Appel d'Offre	HLAfixed Record	Identification de l'Appel d'Offre
	EPAEmetrice	HLAASCIIString	L'entité émettrice de l'Appel d'Offre		
	Etat_AO	HLAASCIIString	Etat de l'Appel d'Offre		
	Quantité	HLAASCIIString	Quantité désirée		
	Délailivraison	HLAASCIIString	Délai de livraison souhaité		
	DateDebut Traitement	HLAASCIIString	Date de fin de traitement		
	DateFinNegociation	HLAFloat32LE	Taux de confirmité		
	TauxRetout	HLAFloat32LE	Taux de retour		
TrameRAO	NumAO	HLAASCIIString	Numéro de l'Appel d'Offre	HLAfixed Record	Identification de la réponse à un Appel d'Offre
	EPAEmetrice	HLAASCIIString	L'entité émettrice de la réponse		
	Performance	HLAFloat32LE	Etat de l'Appel d'Offre		
	DateEngagement	HLAASCIIString	date d'engagement		
	DateRéponse	HLAASCIIString	Date de réponse		

Tableau III.2.5 : Table de DataType.

III.2.2.3.4 Interface entre les simulateurs des modèles et la RTI

La Figure III.2.9 ci-dessous montre que la RTI est en relation avec les simulateurs des modèles par le biais du noyau de simulation. En effet, le rôle du noyau de simulation est de diriger la simulation. Il reçoit des messages provenant du RTI via le code héritant de la classe FederateAmbassador, il invoque les méthodes du RTIAmbassador pour interroger le RTI. Enfin il est à l'écoute de tous les évènements produits par la partie interface utilisateur.

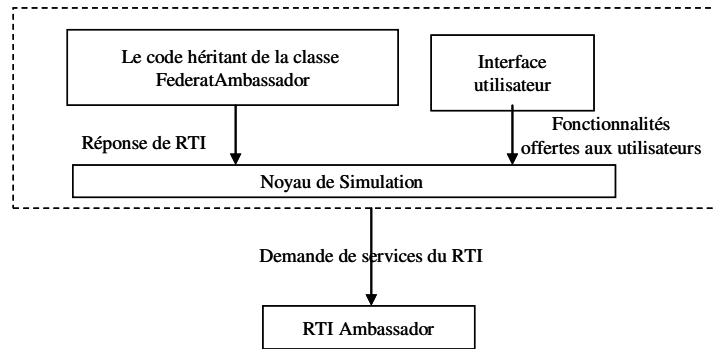


Figure III.2.9 : Interface entre les simulateurs des modèles et la RTI.

Les éléments illustrés sur la Figure III.2.9 ont été implémentés en vue de l'obtention d'une fédération de réseau d'entreprises. Conformément à cette implémentation nous décrivons dans le paragraphe suivant chacun de ces éléments.

1) Interface utilisateur

Cette interface permet à l'utilisateur de proposer des AOLs, d'initialiser son planning, de rejoindre le réseau d'entreprises etc. Cependant, quelques fonctionnalités définies dans cette interface, nécessitent l'invocation des services du RTI en employant les méthodes de la classe RTIAmbassador. Pour cela, il faut d'abord lancer le RTI. Une fois le RTI lancé, il est possible de créer des fédérés. En effet, les fédérés sont des objets héritant de la classe FederateAmbassador, cette classe définit toutes les interfaces des fonctions de rappel de service. Néanmoins, elles ne peuvent pas être employées avant que l'on ne fournisse les mises en œuvre réelles de ces fonctions dans le code du fédéré. En effet, pour que le fédéré puisse invoquer les méthodes du RTI, il doit obtenir un Ambassador du RTI exécuté sur un serveur en invoquant la méthode "GetRTIambassador". Ensuite, s'il s'agit du premier fédéré créé, celui-ci agit comme un manager, il crée alors la fédération en invoquant la méthode RTI "createFederationExecution" de son RTIAmbassador. En revanche, si la fédération existe déjà, le fédéré créé doit juste la rejoindre en invoquant la méthode "joinFederationExecution" du RTIAmbassador. Par ailleurs, dans le cas de la fédération de réseau d'entreprises considérée dans cette étude, les EPAs proposent toutes, des AOs et des réponses à des AOs et reçoivent des AOs et des réponses à des AOs, pour cela, elles doivent publier et souscrire à ces classes d'interaction, en utilisant respectivement "publishInteractionClass(AO)", "publishInteractionClass(RAO)" et "subscribeInteractionClass(AO)", "subscribeInteractionClass(RAO)". De plus, pour avoir connaissance des différents membres du réseau d'entreprises, les fédérés doivent souscrire à la classe d'objets qui identifie chaque entreprise (EPA) en utilisant la méthode suivante : "subscribeObjectClassAttributes(EPA_Classe_Objet, Ensemble_Attribut)". Notons, qu'un fédéré peut démissionner de sa fédération en invoquant la méthode "ResignFederationExecution". Le dernier fédéré qui démissionne de la fédération invoque automatiquement la méthode "destroyFederationExecution" et met fin à la fédération du réseau d'entreprises.

2) Le code héritant de la classe FederateAmbassador

En plus, de toutes les méthodes citées ci-dessus, d'autres méthodes par lesquelles le fédéré reçoit des messages et des réponses produites par le RTI sont implémentées dans la classe héritante de la classe FederateAmbassador. Nous présentons ci-dessous quelques unes de ces méthodes.

- Méthode "receiveInteraction" : pour que le fédéré puisse recevoir des interactions, il doit implémenter la méthode « receiveInteraction ». Cette méthode est appelée par le RTI quand il détecte que ce fédéré a souscrit à une telle interaction et que d'autres fédérés ont envoyé une instance de cette classe d'interaction. C'est au niveau de cette méthode que sont reçus les évènements devant être envoyés au Noyau du simulateur pour être insérés dans l'échéancier.
- Méthode "DiscoverObjetcInstance" : le service de découverte d'une instance d'objets : informe un fédéré de la présence d'une nouvelle instance d'objets (EPA) créée par un autre fédéré.
- Méthode "ReflectAttributValues" : ce service permet de fournir au fédéré (EPA) souscrivant à des attributs d'une classe d'objets les nouvelles valeurs de ces attributs, dans notre cas les différents attributs définissant une EPA. Ce service est couplé avec le service de mise à jour d'attributs en formant le mécanisme primaire d'échange de données entre les fédérés soutenu par le RTI.

3) Noyau de simulation

Le rôle du noyau de simulation est de diriger la simulation. En d'autres termes, il permet la sélection du prochain évènement chronologique de son échéancier, pour ensuite procéder à son traitement. Pour cela, il fait appel aux différentes méthodes du coordinateur local, afin de sélectionner la destination (prochain modèle à activer en fonction de l'évènement). Mais dans le cas d'une simulation distribuée (dans notre cas des simulateurs de modèles DEVS-EPA qui interagissent entre eux via le RTI), le noyau (coordinateur local) devra aussi assurer la gestion des messages provenant des autres fédérés. Pour cela, et en se basant sur les mécanismes de gestion du temps décrits au paragraphe III.2.1.2.6. Nous avons proposé un algorithme (Cf page 206 de l'Annexe III) qui permet d'intégrer des modèles DEVS-EPA dans un environnement HLA, avec comme objectif de s'assurer notamment d'une avance dans le temps qui respecte les principes de causalité des évènements. La description détaillée de l'algorithme est donné au paragraphe III.2 de l'Annexe III.

Le rôle de nos fédérés vis-à-vis de l'avance dans le temps (régulateur ou contraint) est déclaré de sa propre initiative (par invocation des services des spécifications d'interface). Une des propriétés d'un fédéré DEVS est de pouvoir être à la fois régulateur et contraint. Pour une demande d'avance dans le temps, le fédéré invoque le service "NextMessageRequestAvailable (T)" du "RTIAmbassador" qui permet une avance jusqu'à T. Après chaque demande d'avance dans le temps à une date T, le fédéré doit attendre l'émission de la demande d'autorisation ou la répercussion des évènements intéressants le fédéré, par la RTI.

III.2.2.4 Maquette de simulation

Le travail décrit ci-dessus a été implémenté sous forme d'une maquette en utilisant le langage Java. Une simulation permet d'illustrer, d'une part, le comportement interne d'une EPA, et d'autre part, le comportement d'une EPA avec d'autres EPAs (illustration de l'auto organisation) avec comme objectif de rechercher la meilleure réponse concernant un appelle d'offre. A partir de l'interface (Cf Figure III.2.10), on peut lancer le RTI (1), un partenaire peut devenir un membre du réseau d'entreprises (2). Il peut aussi démissionner de ce réseau (3). De même elle offre à chaque EPA la possibilité de lancer des AOs locaux (4). L'interface permet de visualiser les évènements de l'échéancier (5), et les membres de la fédération (8). Chaque EPA peut également recevoir des réponses concernant ses AOs locaux afin de déterminer le meilleur fournisseur qui répondra au mieux (6). Elle peut aussi recevoir des réponses concernant des AOs lancés au préalable par d'autres membres du réseau

d'entreprises afin de comparer sa réponse avec celles qui circulent sur le réseau. De plus, nous pouvons suivre le comportement d'une EPA, en cliquant sur l'onglet Comportement (7).

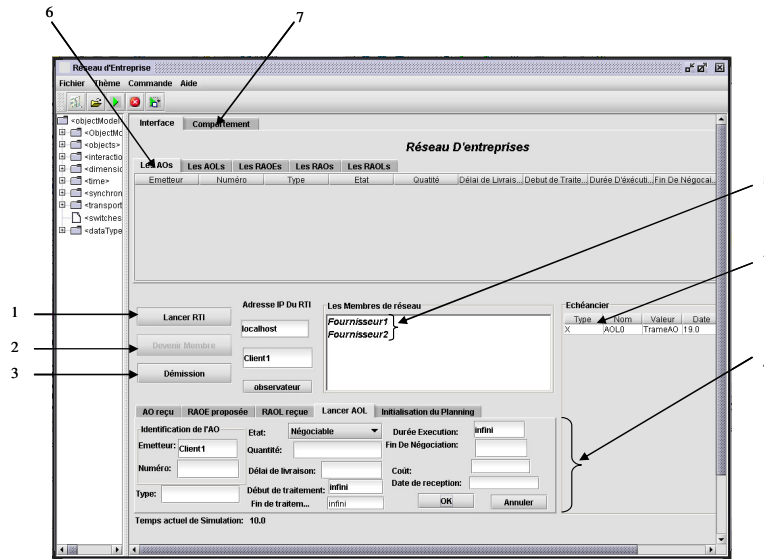


Figure III.2.10 : Interface du fédéré DEVS/EPA

La Figure III.2.11 permet de suivre les états (le comportement) de chacun des modèles atomiques DEVS-EPA. En cliquant sur l'onglet animation (1) de chacun des modèles atomiques, nous affichons le modèle DEVS atomique qui lui est associé. Si nous choisissons une exécution pas à pas et que l'échéancier est non vide, nous voyons apparaître la boîte de dialogue (2). Cette boîte de dialogue nous renseigne sur le prochain évènement à exécuter, sa destination, son type, sa date et le port concerné par cet évènement. Avant de cliquer sur continuer (3) pour visualiser le comportement de l'EPA à la réception d'un évènement, nous devons choisir la destination que l'on veut afficher. Par ailleurs, l'onglet historique (4) permet l'affichage de tous les changements de valeurs de variables d'états ainsi que tous les états précédents par lesquelles un modèle atomique est déjà passé (Cf Figure III.2.12).

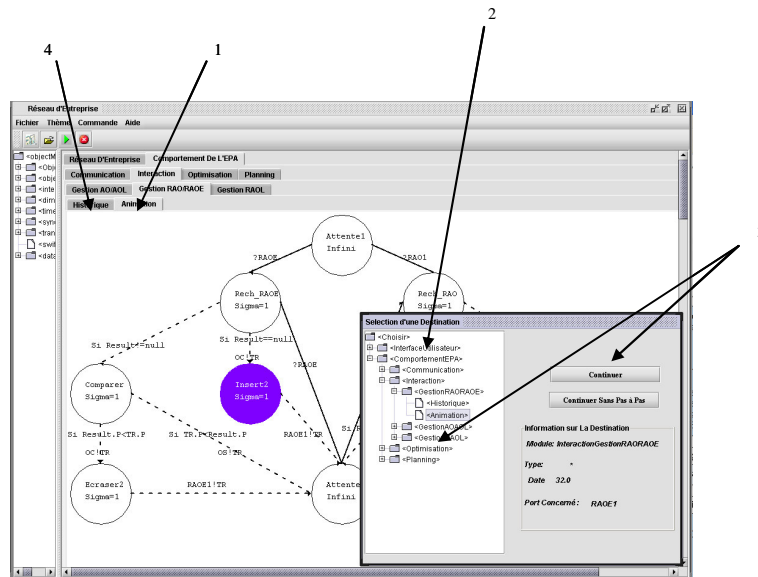


Figure III.2.11 : Déroulement de la simulation

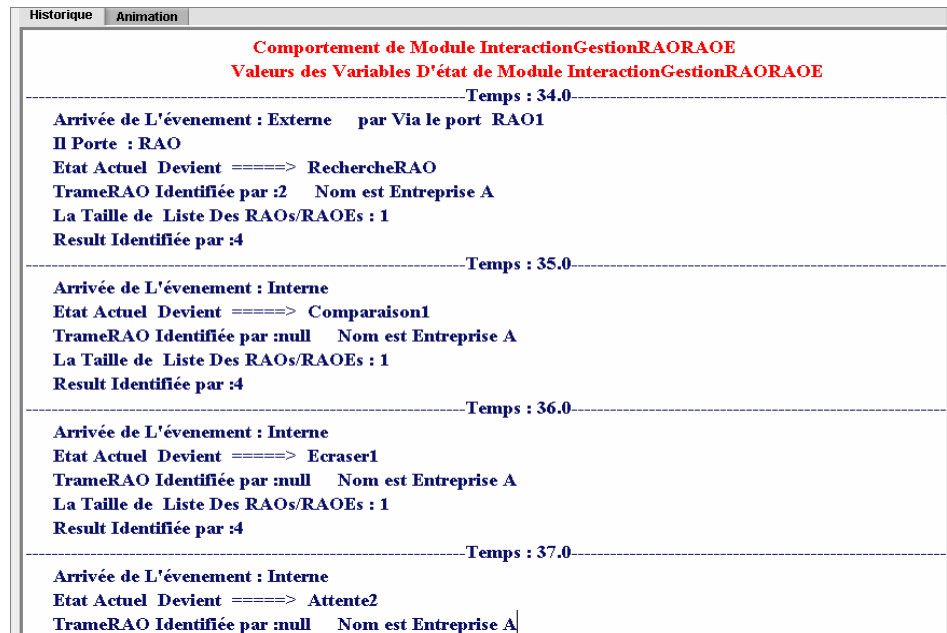


Figure III.2.12 : Affichage de l'historique

Nous avons, par cette maquette, montré le déroulement de la simulation. Le système décrit ci-dessus, permet d'identifier par émergence, pour chaque AO lancé par un client (fédéré) le meilleur fournisseur qui prend en charge l'AO en question. La validation de l'approche proposée est basée sur la comparaison de l'approche auto-organisée proposée avec l'approche classique³¹. Dans ce contexte, la section suivante propose une description détaillée de cette validation.

III.3 Simulation

Notre objectif à travers cette section est de valider l'approche de pilotage auto-organisé d'un réseau logistique proposée. Cette validation sera effectuée autour d'une étude de cas selon deux approches : l'approche auto-organisée que nous proposons et l'approche classique pour laquelle optent les différents réseaux de nos jours [Mekaouche *et al*, 07]. Le cas d'étude présenté porte sur l'élaboration d'un jeu de données que nous avons d'une part, modélisé puis simulé sous Arena, en considérant l'approche classique [Taïbi, 06]. D'autre part, nous avons implémenté le jeu de données sur notre maquette de simulation. Le jeu de données a été ajusté de manière à ce que de petites perturbations (l'augmentation des quantités commandées par le client à son entreprise fournisseur) vis-à-vis du fonctionnement nominal génèrent de fortes perturbations organisationnelles dans l'écoulement des flux (blocage, saturation). Dans un premier temps, le fonctionnement des entreprises dans un contexte de pilotage classique (flux figés et quantités constantes) sera étudié en modélisant et simulant un ensemble de relations inter-entreprises. Dans un second temps, le même réseau (même capacité de production, même produits traités) va être implémenté sur la maquette de pilotage auto-organisé du réseau logistique sous l'environnement de simulation HLA. Les mêmes perturbations seront analysées avec comme objectif de montrer le lissage entre les charges et la diminution des phénomènes de blocages et de saturations. Une comparaison des résultats ainsi obtenus va nous permettre de mettre en avant les apports de l'approche de pilotage auto-organisé proposée dans ce travail. Au vu de cet objectif, nous proposons d'organiser cette section

³¹ L'approche classique a été définie en page 10.

comme suit : dans un premier temps, une présentation détaillée du jeu d'essai ainsi élaboré est donnée, suivie d'une description du modèle Arena associé. Dans un deuxième temps, une étude de l'influence des perturbations introduites dans le modèle Arena correspondant à l'approche classique et l'implémentation du modèle perturbé dans la maquette de simulation sont présentés. Cette étude est focalisée sur trois types de perturbations différentes :

- Le premier type, porte sur l'introduction d'une perturbation dans les entreprises exerçant le plus d'activités. La perturbation a porté sur le lancement de commande sur des lots supplémentaires par les clients des entreprises en question, sur l'horizon d'une même semaine.
- Dans le second type de perturbation, nous nous sommes intéressés aux entreprises impliquées dans la réalisation de plusieurs produits. Dans le même contexte que le premier type de perturbation, nous avons supposé qu'au cours d'une même semaine, les entreprises fournisseurs reçoivent des commandes sur des lots supplémentaires de la part de leurs clients.
- Enfin, dans le troisième type de perturbation, nous sommes partis du deuxième type de perturbation auquel nous avons associé (à certaines des entreprises) la caractéristique de panne.

L'objectif est de montrer comment les entreprises fournisseurs réagissent dans le cadre d'une approche classique devant des situations où les attentes de leurs clients ne seront plus les mêmes que prévues, par exemple, les clients désirent recevoir des quantités supplémentaires avec beaucoup moins de temps. Pour cela, dans chacun des trois types de perturbation, nous avons d'abord simulé le modèle Arena correspondant au fonctionnement classique puis, les mêmes perturbations ont été introduites dans la maquette de simulation correspondant à l'approche auto-organisée que nous proposons, enfin un récapitulatif de l'analyse critique des résultats obtenus sur chacun des deux modèles est présenté. Nous terminons ce chapitre par une analyse des résultats obtenus.

III.3.1 Etude de cas

Nous considérons un réseau constitué de 17 entreprises, réparties sur six activités principales de la manière suivante :

<i>Entreprises</i>	<i>Métier</i>
A1, A2, A3, A4	Conception et Fabrication de produits cosmétiques
B1, B2, B3	Fabrication Papier - Carton et Conditionnement papier
C1, C2, C3	Fabrication de produits plastiques et Conditionnement plastique
D1, D2, D3	Fabrication de produits en verre et Conditionnement en verre Fabrication de tubes souples et Conditionnement en tube souple
E1, E2	Fabrication et transformation de papier
M1, M2	Impression

Tableau III.3.1 : Entreprises répertoriées selon leur métier

Ces entreprises peuvent exercer d'autres activités secondaires (Bouchage de produits, Etiquetage...) en plus de leur métier principal, auxquelles ont été attribués des codes activités. Chaque entreprise est caractérisée par sa capacité maximale/activité sur un horizon d'une semaine, ainsi que par le nombre de ses ressources/activité, comme le montre le TABLEAU III.3.3 de l'Annexe III.

Seize types de produits, émanant de cinq produits principaux (PF1, PF2, PF3, PF4, PF5), sont fabriqués par ces différentes entreprises, sur des niveaux différents. Ainsi chaque entreprise

peut être Client, Fournisseur, ou Sous-Traitant selon le type de produit considéré. Pour chacun des cinq produits finis, les différents types ont la même nomenclature et la même gamme de fabrication, mais n'ont pas les mêmes temps unitaires de fabrication et ne passent pas nécessairement par les mêmes chaînes d'entreprises. Ceci est détaillé pour chacun des seize types dans le TABLEAU III.3.2 de l'Annexe III, qui représente le dimensionnement des chaînes logistiques.

A partir de ce dimensionnement, où l'on retrouve la charge effectuée par l'entreprise pour chaque produit (en heure), la charge globale de chacune a été calculée (Cf. TABLEAU III.3.3 de l'Annexe III).

L'Annexe II représente également, les flux des seize types de produits et les chaînes logistiques associées (Cf le paragraphe III.3.2 de l'Annexe III).

Prenons l'exemple du produit fini PF1, qui donne lieu à deux types de produits, ayant la même nomenclature, la même gamme et des temps unitaires de fabrication différents. Ils passent dans ce cas par la même chaîne logistique comme le montre le Tableau III.3.2 :

<i>Nomenclature</i>	<i>Gamme</i>	<i>Entreprises</i>	<i>Approvisionnement</i>
Produit cosmétique	Fabrication produit	A2	
Emballage plastique	Conditionnement plastique	A2	C1
Emballage papier	Etiquetage	A2	E2
	Impression	M1	
	Conditionnement papier	B1	B1
	Sérigraphie	M1	

Tableau III.3.2 : Nomenclature et gamme de fabrication du produit PF1

L'entreprise A2 reçoit un Ordre de Fabrication d'un client (donneur d'ordre qui n'a pas été représenté ici), pour la fabrication d'une certaine quantité du produit PF1 de Type1 : A2 fabrique le produit, puis fait appel aux fournisseurs C1 et E2 pour s'approvisionner en emballages plastiques (C1) et en étiquettes (E2) afin de pouvoir effectuer le conditionnement et l'étiquetage. Ensuite, elle sous-traite l'impression chez M1 et le conditionnement papier chez B1, qui sous-traite à son tour la sérigraphie chez le sous-traitant de son choix M1. Ceci est résumé sur la Figure III.3.1.

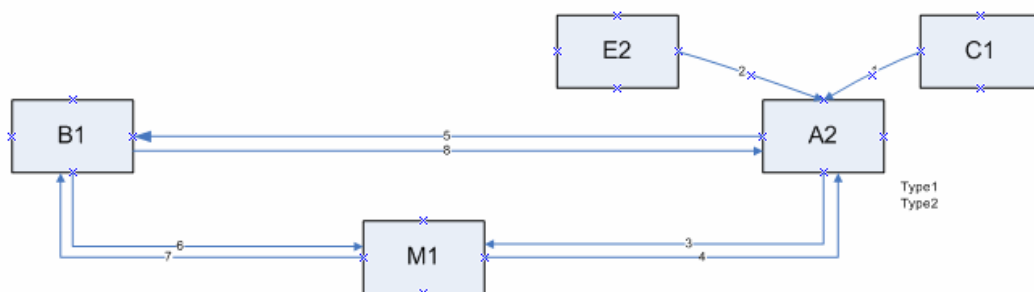


Figure III.3.1 : Représentation des flux des deux types du produit PF1

Après avoir identifié les différentes entreprises, les différentes chaînes logistiques ainsi que les flux de produits, nous présentons ci-dessous les différents modèles construits en utilisant l'outil de simulation Arena.

III.3.2 Modélisation sous Arena

Le but de cette modélisation est de représenter la fabrication des seize types de produits, au travers des 17 entreprises du réseau. L'objectif est de mettre en évidence, par la suite, l'impact des perturbations sur ce type de modèle. Nous allons donc décrire ci-dessous la modélisation obtenue, ainsi que les résultats de la simulation et nous étudierons enfin l'effet des perturbations introduites.

III.3.2.1 Construction du modèle

Arena est un outil de simulation flexible et performant qui permet de réaliser des modèles de simulation animés représentant virtuellement et de manière précise un système quelconque.

III.3.2.1.1 Modèle global

Les différentes entreprises A_i , B_i , C_i , D_i , E_i et M_i sont représentées par des sous modèles (Submodels), ce qui constitue le premier niveau du modèle Arena (Cf. FIGURE III.4.1 de l'Annexe III).

Comme cela a été expliqué précédemment, chaque type de produits passe par une chaîne d'entreprises différentes. Ceci est modélisé sous Arena grâce à un bloc *Branch*, qui sert à diriger le produit vers l'étape suivante (spécifiée dans le TABLEAU III.3.2 de l'Annexe III), dans la chaîne logistique.

III.3.2.1.2 Modèles détaillés

A l'intérieur de chaque sous modèle (entreprise) sont représentées les différentes activités (Process) propres à chaque entreprise, ainsi que les différents produits y circulant.

La méthode de modélisation considérée à l'intérieur de chaque sous modèle est la suivante :

- Les différents produits sont créés (à l'aide du bloc Create) puis leur type leur est attribué (bloc Assign). Chaque type de produit ayant son propre délai, le bloc Branch est utilisé afin de diriger le produit créé, selon son type, vers un deuxième bloc Assign représentant le délai propre à chaque produit. Celui-ci passe ensuite, dans le Process approprié avec la valeur du délai qui lui a été attribuée.
- Les opérations de conditionnement, de bouchage, d'étiquetage et d'assemblage de produits sont des opérations d'assemblage où le Process a besoin des deux lots de pièces afin de l'effectuer. Par exemple, pour que le conditionnement plastique ou l'étiquetage soit effectué par A2, celui-ci doit attendre l'approvisionnement en « Emballages plastiques » du fournisseur C1 et en « étiquettes » du fournisseur E2, pour pouvoir procéder au conditionnement et à l'étiquetage du produit cosmétique (Type1) qu'elle a fabriqué au préalable. L'opération d'assemblage (produit /emballage plastique ou produit /étiquetage) est modélisée grâce au bloc Group.
- Pour ces mêmes opérations d'assemblage, les arrivées des différents lots doivent être synchronisées afin que le Process traite le bon lot. A cet effet, des blocs Wait ont été utilisés, permettant de stocker l'entité qui arrive en premier dans une file d'attente, jusqu'à l'arrivée de la seconde entité (complémentaire), dont le passage par le bloc Signal libère la première. Ceci est valable pour toutes les opérations d'assemblage considérées dans le jeu de données, afin qu'elles puissent avoir lieu correctement.
- Dans un souci de clarté du modèle, chaque type de produits est représenté, à tous les stades de sa fabrication y compris l'approvisionnement, par une même image. Par exemple, le Type1 est représenté par une page jaune, donc l'approvisionnement de A2 par

C1 puis par E2, ainsi qu'à l'issue de chaque étape (impression, conditionnement papier), l'image reste la même. Il y a donc 16 images représentant les 16 types de produits finis.

- Nous présentons, dans la Figure III.3.2, le sous modèle représentant l'entreprise A2. L'Annexe II contient l'ensemble des sous modèles d'entreprises, modélisées de la même manière selon leurs activités (Cf la page 219 de l'Annexe III).

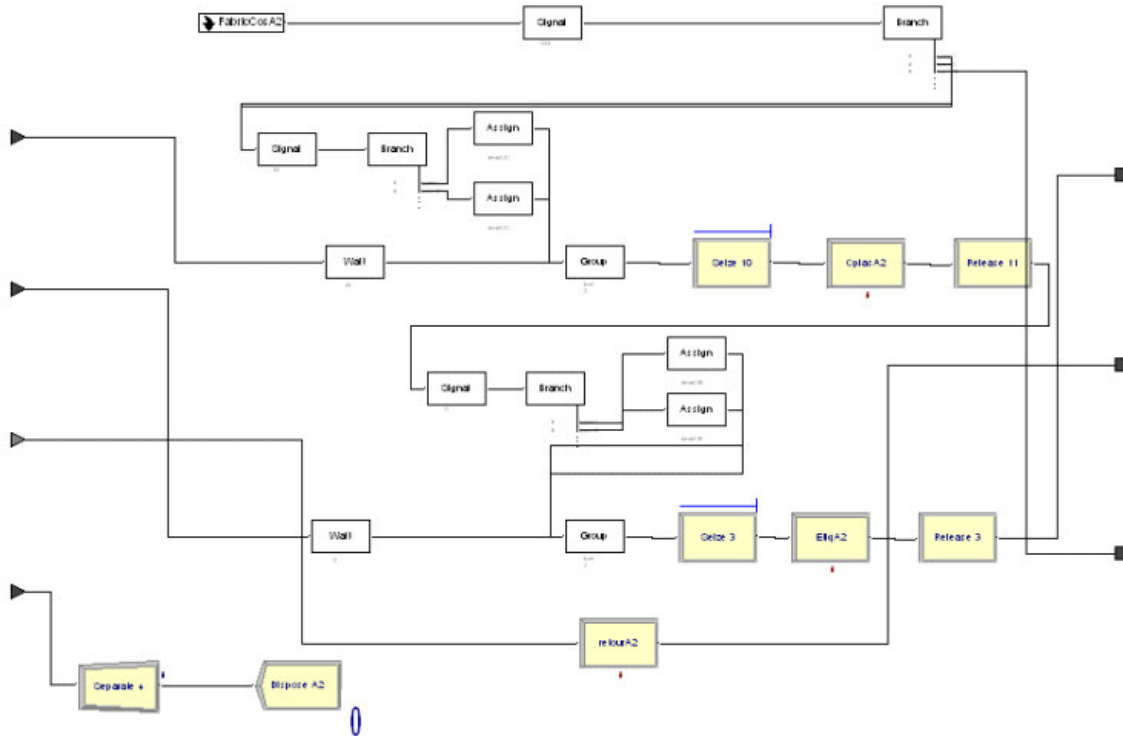


Figure III.3.2 : Sous Modèle A2

III.3.2.2 Correspondance Arena - Excel

En vue d'une introduction de perturbations et étant donné le nombre important des variables manipulées, il s'est avéré nécessaire de faire un lien entre Arena et Excel, afin de renseigner les données sur ce dernier.

Nous allons donc présenter la manière de récupérer les données à partir d'Arena, puis la méthode de définition des variables et leur affectation dans le modèle.

III.3.2.2.1 Exploitation des données

Afin de pouvoir analyser la performance de chaque entreprise, il est nécessaire de pouvoir prendre en compte les ressources utilisées par chaque entreprise. A cet effet, les différents délais associés à chaque activité ont dû être calculés pour chaque type de produit en utilisant la formule suivante : $\text{délai} = (\text{quantité} * \text{temps unitaire}) / \text{nombre de ressources}$. Cette donnée a été introduite dans un tableau Excel "Dimensionnement" de manière à ce que les valeurs soient dynamiques. Si une donnée est modifiée, elle est directement exploitable sous Arena.

En vue d'une introduction de perturbations dans le fonctionnement des entreprises, il est plus judicieux de renseigner les données nécessaires dans un tableau Excel, qui sera ensuite lu par Arena. A cet effet, une macro a dû être créée permettant ainsi de récupérer toutes les données nécessaires à l'utilisation des modèles Arena dans un second fichier Excel nommé

« Données ». De cette façon, lorsque les délais sont modifiés, il suffit de lancer la macro pour qu'ils soient automatiquement modifiés dans le fichier « Données », qui est lu par Arena.

Le détail des calculs se trouve dans le TABLEAU III.4.1 de l'Annexe III ("Données") et le TABLEAU III.4.2 de l'Annexe III ("Dimensionnement").

Nous présentons dans le Tableau III.3.3 l'exemple du produit PF1 (Types 1 et 2), l'ensemble des produits étant détaillé en annexe II :

Produits	Type	Chaîne / Etapes / Approvisionnement	Delai	Variables
PF1	Type 1	Fabrication produit	30000	A2F1
PF1	Type 1	Conditionnement plastique	60000	A2C1
PF1	Type 1	Etiquetage	30000	A2E1
PF1	Type 1	Impression	15000	M1I1
PF1	Type 1	Fabrication transformation papier	30000	B1F1
PF1	Type 1	Conditionnement papier du produit	30000	B1C1
PF1	Type 1	Sérigraphie	20000	M1S1
PF1	Type 1	C1 (emballages plastique)	45000	AC11
PF1	Type 1	E2 (Etiquettes)	7500	AE21
PF1	Type 2	Fabrication produit	48000	A2F2
PF1	Type 2	Conditionnement plastique	48000	A2C2
PF1	Type 2	Etiquetage	24000	A2E2
PF1	Type 2	Impression	18000	M1I2
PF1	Type 2	Fabrication transformation papier	24000	B1F2
PF1	Type 2	Conditionnement papier	24000	B1C2
PF1	Type 2	Sérigraphie	32000	M1S2
PF1	Type 2	C1 (emballages plastique)	48000	AC12
PF1	Type 2	E2 (Etiquettes)	6000	AE22

Tableau III.3.3 : Données lues par Arena –Exemple du produit PF1

III.3.2.2.2 Définition des variables

Au niveau de la modélisation sous Arena, une variable a été affectée à chaque opération pour chacun des seize types de produits, de telle façon à éviter de modifier manuellement dans le modèle les valeurs des délais pour chaque opération. Un total de 154 variables a dû être créés.

La méthode suivie pour la création de ces variables est la suivante :

- La variable représentant le délai de Fabrication du produit de type 1 par l'entreprise A2 a pour nom : A2F1.
- La variable représentant le délai de Conditionnement plastique du produit de type 1 par l'entreprise A2 a pour nom : A2C1.
- La variable représentant le délai d'Impression du produit de type 2 par l'entreprise M1 a pour nom : M1I2.
- La variable représentant l'approvisionnement de l'entreprise A2 en emballages plastiques pour le produit de type 1 par l'entreprise C1 aura pour nom : AC11.
- La variable qui représentera l'approvisionnement de l'entreprise D1 en bouchons pour le produit de type 3, par l'entreprise C2 aura pour nom : AC23.

Elles sont lues grâce au bloc *Read*, puis affectées dans le process approprié. Un exemple est donné en Figure III.3.3.

Variables	Variables	Variables	Variables	Variables	Variables	Variables
A4F6	A4F7	A1F8	A3F9	A2F10	B2D11	A3F12
D1F6	A4G7	A1C8	D1F9	D3F10	B2C11	D3F12
D1C6	A4E7	A1E8	D1C9	D3F110	A4F11	D3F112
D1E6	M2F7	M1E8	D1E9	D3A10	A4F111	D3A12
M2E6	B3C7	B1F8	M2E9	D3E10	A4A11	D3E12
B3C6	M2S7	B1C8	B1F9	M2H10	A4E11	M1H12
M2S6		M1S8	B1C9	B2F10	M2H11	B3C12
			M1S9	B2C10	B2F11	M2S12
				B2D10		

Figure III.3.3 : Exemple de variables déclarées sous Arena

III.3.2.2.3 Lecture et affectation des variables

Une fois toutes les variables définies, un bloc *Read* a été placé après la création de la première entité. Lors du passage de celle-ci dans ce bloc, Arena lit dans le fichier « Données » les valeurs des variables et l'affecte aux différents délais que l'on retrouve dans les blocs *Assign* ou les délais sont attribués selon le type de produit.

L'objectif de l'élaboration du modèle présenté ci-dessus est de simuler dans un contexte classique les trois types de perturbations énoncées tout au début de ce chapitre. Les mêmes perturbations seront implémentées dans la maquette de pilotage auto-organisé réalisée dans un environnement de simulation distribuée HLA, pour pouvoir ensuite comparer les résultats de simulation obtenus selon les deux approches. Cette comparaison va nous permettre de mettre en avant les apports de l'approche auto-organisée proposée. Pour cela, nous détaillons dans la section suivante chacun des trois types de perturbation.

III.3.3 Etude des perturbations

L'étude des perturbations porte sur la simulation³² du modèle Arena pour l'approche classique et l'implémentation du modèle sur la maquette auto-organisée. Dans cette étude, nous nous sommes axés sur l'impact de trois types de perturbation :

- Dans le premier type de perturbation, nous nous sommes intéressés à la chaîne décrite sur la Figure III.3.1, et constituée des entreprises A2, C1, E2, B1 et M1, ce choix étant justifié par la suite.
- Dans le deuxième type de perturbation nous nous sommes intéressés à un ensemble d'entreprises qui sont impliquées dans la réalisation de plusieurs produits. Ces entreprises interviennent dans la réalisation de sept différents types de produits : type3, type4, type5, type6, type7, type10, type (Cf page 212 de l'Annexe III).
- Dans la perturbation du troisième type, nous avons travaillé sur les entreprises de la deuxième perturbation en injectant des pannes dans trois de ces entreprises.

Pour chaque type de perturbation, nous présentons dans un premier temps, la simulation du modèle Arena correspondant au contexte classique suivi d'une analyse des résultats obtenus. Dans un deuxième temps nous implémentons le modèle sur la maquette pour pouvoir le simuler dans le contexte auto-organisé correspondant à l'approche proposée. Les résultats de la simulation ainsi obtenus vont être analysés puis comparés avec ceux obtenus dans la simulation du modèle Arena.

³² Faisons remarquer que l'unité considérée est la seconde.

III.3.3.1 Perturbation de type 1 : Perturbation/entreprises exerçant le plus d'activités

III.3.3.1.1 Simulation du modèle Arena : Approche classique

Nous avons choisi d'axer l'étude de l'influence des perturbations sur la première chaîne logistique constituée des entreprises A2, C1, E2, M1 et B1. Ceci est dû, d'une part, au fait que deux types de produits y transitent, et d'autre part, à la diversité des activités de l'entreprise A2. Faisons remarquer que les entreprises appartenant à cette chaîne appartiennent également à d'autres chaînes logistiques (Cf. page 212 de l'Annexe III).

Un système de reporting a donc été mis en place au sein de cette chaîne afin de pouvoir récupérer des informations sur les OFs (Ordres de Fabrications) et les placer dans un tableau de bord. L'objectif est de pouvoir étudier par la suite l'impact de perturbations sur la chaîne.

En utilisant le bloc *Write* et en affectant des variables permettant de calculer la date d'arrivée de chaque produit et sa durée de séjour dans l'entreprise en question, les informations sont collectées et reportées dans un fichier Excel en sortie du modèle.

Ainsi, le Tableau III.4 montre tous les produits transitant par chacune des entreprises, avec leurs dates d'arrivée dans l'entreprise en question, leurs délais de fabrication, leurs séjours dans l'entreprise et la durée qu'ils passent dans la file d'attente du bloc *Seize*, qui représente la file d'attente du process.

	A	B	C	D	E	F
1	Entreprises	Type	Date Arrivée	Délai	Séjour	Durée queue
2	A2	1	3	30000	30000	0
3	A2	2	14	48000	77989	29989
4	A2	10	99	36000	113904	29989
5						
6	C1	1	0	45000	45000	0
7	C1	2	15	48000	92985	44985
8						
9	E2	1	3	7500	7500	0
10	E2	2	13	6000	13490	7490
11	E2	14	13	30000	43490	7490
12	E2	15	13	30000	73490	7490
13	E2	16	13	33750	107240	7490
14						
15	B1	1	3	30000	30000	0
16	B1	2	18	24000	53985	29985
17	B1	8	70	35000	88933	29985
18	B1	9	84	25000	113919	29985
19						
20	M1	5	0	15000	30039,6666666667	0
21	M1	1	45025	15000	15000	0
22	M1	8	45025	26250	70257,1666666667	0
23	M1	2	93020	18000	40262,1666666667	22262,1666666667
24	M1	12	93020	16500	56762,1666666667	22262,1666666667
25	M1	13	93020	30000	86762,1666666667	22262,1666666667
26						
27	M1Ser	1	60033,35	20000	20000	0
28	M1Ser	8	60033,35	26250	81498,8169444445	0
29	M1Ser	9	60033,35	33333,3333333333	114832,150277778	0
30	M1Ser	2	133282,183333333	32000	73583,3169444445	41583,3169444445

Tableau III.4 : Résultat de la simulation en fonctionnement nominal

M1Ser représente le deuxième process de l'entreprise M1 qui est la sérigraphie (effectuée sur l'emballage papier du produit).

Les délais correspondent aux variables que l'on a renseignées à partir du fichier Excel « Données », présenté précédemment. Le temps de séjour du lot de produits dans l'entreprise correspond à la somme du délai de sa fabrication, conditionnement ou impression et de la durée passée dans la file d'attente du process.

III.3.3.1.2 Introduction des perturbations

La perturbation introduite concerne l'augmentation de la quantité de produits commandée par le client à l'entreprise A2. Nous étudierons l'impact de la perturbation sur la chaîne considérée, mais vu que chaque entreprise de celle-ci appartient à plusieurs autres chaînes, cet impact aura également une influence sur les autres entreprises des autres chaînes.

Nous augmentons considérablement la quantité de produits de type1, puis légèrement celle de produits de type2. Nous admettons donc que le client commande occasionnellement 15000 produits supplémentaires de type1, et 1000 produits supplémentaires de type2, sur le même horizon d'une semaine. La taille du premier lot devient donc 45000 produits au lieu des 30000 initialement et celle du second lot atteint 25000 produits au lieu des 24000 prévus initialement.

Nous constatons que A2, B1 et M1 voient leurs capacités maximales dépassées avec l'augmentation de la taille des lots. En ce qui concerne C1 et E2, elles peuvent traiter le surplus sans dépasser leurs capacités maximales.

Les graphiques des figures : Figure III.3.4 et Figure III.3.5 montrent les dépassements de capacité au niveau de A2, B1 et M1, dus aux perturbations injectées.

« INIT » représente la charge initiale renseignée pour chacune des entreprises en annexe (Cf page 208 de l'Annexe III).

« Pert1_Type1 » et « Pert1_Type2 » représentent respectivement le premier type de perturbation concernant les produits de type1 et de type2.

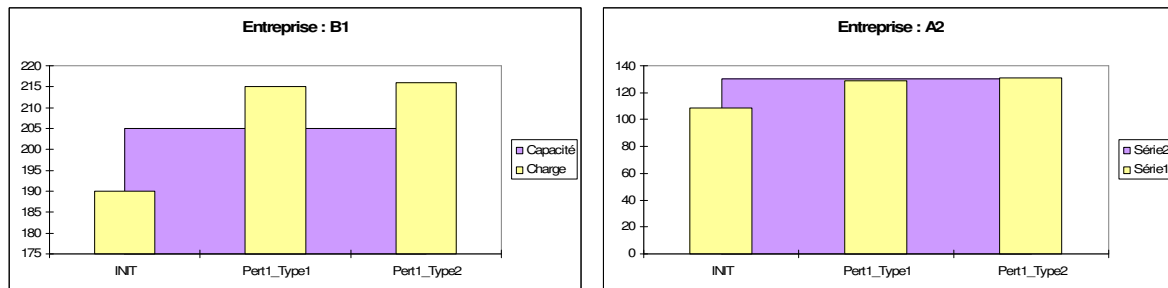


Figure III.3.4 : Charges des entreprises A2 et B1

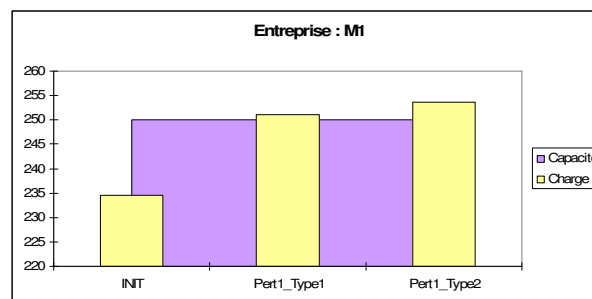


Figure III.3.5 : Charge de l'entreprise M1

A2 traite les commandes supplémentaires, ce qui engendre sa surcharge et comme A2 soustrait le conditionnement et l'impression (B1 et M1), cela, engendre également, une surcharge au niveau de B1 et de M1 de manière importante.

Analysons les résultats obtenus suite aux perturbations considérées.

Sous Arena, la variation de la quantité de produits est effectuée dans le fichier "Dimensionnement" et le transfert des données vers le fichier "Données" (qui est lu par Arena) est effectué grâce à la macro.

Dans le Tableau III.3.5, sont présentées les données récupérées après l'injection des perturbations :

	A	B	C	D	E	F
1	Entreprises	Type	Date Arrivée	Délai	Séjour	Durée queue
2	A2	1	3	45000	45000	0
3	A2	2	14	50000	94989	44989
4	A2	10	99	36000	130904	44989
5						
6	C1	1	0	67500	67500	0
7	C1	2	15	50000	117485	67485
8						
9	E2	1	3	11250	11250	0
10	E2	2	13	6250	17490	11240
11	E2	14	13	30000	47490	11240
12	E2	15	13	30000	77490	11240
13	E2	16	13	33750	111240	11240
14						
15	B1	1	3	45000	45000	0
16	B1	2	18	25000	69985	44985
17	B1	8	70	35000	104933	44985
18	B1	9	84	25000	129919	44985
19						
20	M1	5	0	15000	30039,6666666667	0
21	M1	1	67537,5	22500	22500	0
22	M1	8	67537,5	26250	63744,6666666667	0
23	M1	2	117520,8333333333	18750	32511,3333333334	13761,3333333334
24	M1	12	117520,8333333333	16500	49011,3333333334	13761,3333333334
25	M1	13	117520,8333333333	30000	79011,3333333334	13761,3333333334
26						
27	M1Ser	1	90050,0166666667	30000	30000	0
28	M1Ser	8	90050,0166666667	26250	67482,1502777778	0
29	M1Ser	9	90050,0166666667	33333,3333333333	100815,4836111111	0
30	M1Ser	2	150032,1833333333	33333,3333333333	74166,6502777778	40833,3169444445

Tableau III.3.5 : Résultats de la simulation après l'injection des perturbations

Les délais de fabrication des produits de types 1 et 2 ont augmenté, rendant le temps d'attente des produits suivants ans la file d'attente plus importants.

Au niveau de A2, on retrouve le dépassement de capacité mis en évidence par les graphiques plus haut. En effet, d'une part, sa capacité maximale est de 70h (252000s) pour l'activité de fabrication de produits cosmétiques (Cf. Annexe II). D'autre part, elle dispose de deux ressources pour cette activité, donc sa charge d'après le TABLEAU III.3.1 de l'Annexe III, est de 262000 secondes, d'où 10000 secondes de dépassement (équivalente à 2,77h). Ceci engendre donc un retard de 10000s sur la fabrication du produit de type 10, par conséquent, il va fournir ce produit de type 10 en retard.

Le client va donc recevoir sa commande de produits de type 10, avec un retard de 17000 secondes par rapport au délai habituel³³, sachant que le client n'est pas supposé être informé du dépassement de capacité chez son fournisseur A2.

De la même façon, au niveau de B1, la surcharge est de 15,55h soit 56000 secondes. Le TABLEAU III.3.1 de l'Annexe III permet de calculer la charge, sachant que B1 dispose de 5 ressources sur cette activité, la charge équivaut donc à 650000 secondes. Sa capacité maximale étant de 594000 secondes (165h), il y a bien un dépassement de 56000 secondes.

Le produit 9 aura donc un retard de 56000 secondes au niveau de B1. D'autre part, au niveau des clients A1 et A3, qui lancent la commande des produits de types 8 et 9, ces derniers les recevront avec un retard de 16000 secondes (différence entre la date de sortie en fonctionnement normal/perturbé). Ceci se répercutera par ailleurs sur les autres chaînes où circulent ces deux produits.

De même, au niveau de M1, le dépassement de capacité illustré dans le graphique précédent est de 5,33h soit 19200s, pour l'activité de l'impression, étant donné que la capacité de l'activité Sérigraphie n'est pas dépassée. La capacité maximale (Cf. TABLEAU III.3.1 de l'Annexe III) est de 496800 secondes (138h) et la charge calculée à partir du TABLEAU III.3.1 de l'Annexe III est de 516000 secondes. La fabrication du produit 13 connaît donc un retard de 19200 secondes.

Par rapport au temps normal, les produits 12 et 13 sortent avec un retard de 16750 secondes (différence entre la date de sortie en fonctionnement normal et en mode perturbé, Cf Tableau III.3.6), ce qui retarde leur réception par le client A3 (Cf. TABLEAU III.3.2 de l'Annexe III) de la même durée. Ceci se répercutera donc sur les autres chaînes où sont fabriqués les produits de types 12 et 13.

		Etat initial					Etat perturbé				
Entreprises	Type	Date Arrivée	Délai	Séjour	Durée queue	Date sortie	Date Arrivée	Délai	Séjour	Durée queue	Date sortie
A2	1	3	30000	30000	0	30003	3	45000	45000	0	45003
A2	2	14	48000	77989	29989	78003	14	50000	94989	44989	95003
A2	10	99	36000	113904	29989	114003	99	36000	130904	44989	131003
						0					0
C1	1	0	45000	45000	0	45000	0	67500	67500	0	67500
C1	2	15	48000	92985	44985	93000	15	50000	117485	67485	117500
						0					0
E2	1	3	7500	7500	0	7503	3	11250	11250	0	11253
E2	2	13	6000	13490	7490	13503	13	6250	17490	11240	17503
E2	14	13	30000	43490	7490	43503	13	30000	47490	11240	47503
E2	15	13	30000	73490	7490	73503	13	30000	77490	11240	77503
E2	16	13	33750	107240	7490	107253	13	33750	111240	11240	111253
						0					0
B1	1	3	30000	30000	0	30003	3	45000	45000	0	45003
B1	2	18	24000	63985	29985	54003	18	25000	69985	44985	70003
B1	8	70	35000	68933	29985	89003	70	35000	104933	44985	105003
B1	9	84	25000	113919	29985	114003	84	25000	129919	44985	130003
						0					0
M1	5	0	15000	30039,666666667	0	30039,66667	0	15000	30039,666666667	0	30039,66667
M1	1	45025	15000	15000	0	60025	67537,5	22500	22500	0	90037,5
M1	8	45025	26250	70257,166666667	0	115282,1667	67537,5	26250	63744,666666667	0	131282,1667
M1	2	93020	18000	40262,166666667	22262,166666667	133282,1667	117520,833333333	18750	32511,333333334	13761,333333334	150032,1667
M1	12	93020	16500	56762,166666667	22262,166666667	149782,1667	117520,833333333	16500	49011,333333334	13761,333333334	166532,1667
M1	13	93020	30000	86762,166666667	22262,166666667	179782,1667	117520,833333333	30000	79011,333333334	13761,333333334	196532,1667
						0					0
M1Ser	1	60033,35	20000	20000	0	80033,35	80050,016666666	30000	30000	0	120050,0167
M1Ser	8	60033,35	26250	81498,8169444445	0	141532,1669	80050,016666666	26250	67482,150277778	0	157532,1669
M1Ser	9	60033,35	33333,333333333	114832,150277778	0	174865,5003	80050,016666666	33333,333333333	100815,483611111	0	190865,5003
M1Ser	2	133282,183333333	32000	73583,3169444445	41583,3169444445	206865,5003	150032,183333333	33333,333333333	74186,650277778	40833,3169444445	224198,8336

Tableau III.3.6 : Comparatif des résultats (fonctionnement nominal / fonctionnement perturbé)

³³ 131003 – 114003 = 17000. Les dates 114003 et 131003 représentent la date de sortie du produit de type 10 respectivement en temps normal et après injections des perturbations. Elles sont calculées à partir du Tableau III.3.5.

Le Tableau III.3.6 montre donc que les produits non concernés par la perturbation subissent des retards, et vu qu'ils circulent dans d'autres chaînes logistiques, ceci se répercute sur les entreprises de ces dernières.

Nous avons ainsi pu mettre en évidence l'impact de l'introduction de perturbations sur les acteurs d'une chaîne logistique, en augmentant la quantité d'une commande.

L'étape suivante consiste en la mise en place de ces mêmes données en mode auto-organisé, en les implémentant dans la maquette de simulation. L'objectif étant de mettre en évidence des situations où la solution proposée pour présente des avantages importants.

III.3.3.1.3 Simulation du modèle sur la maquette : approche auto-organisée

Implémentation du jeu de données dans la maquette : L'utilisation de la maquette de simulation nécessite le renseignement d'un nombre d'informations concernant l'entreprise fournisseur telles, la liste des types d'Appels d'Offres qu'elle peut traiter ainsi que sa capacité maximale et sa charge initiale (Cf. TABLEAU III.3.3 de l'Annexe III).

Après avoir renseigné les informations propres à chaque entreprise (charge par activité, capacité maximale par activité, types d'activités traitées, etc.), nous avons augmenté les quantités des produits demandés par les clients, afin de pouvoir étudier leur impact et comparer les résultats obtenus dans le cadre de cette approche à ceux obtenus lors d'un fonctionnement classique dont la simulation a été effectuée sous Arena.

Les Appels d'Offres seront lancés selon les étapes de fabrication du produit cosmétique considéré. Les différentes étapes de fabrication des deux types de produits sont présentées sur le tableau ci-dessous :

Produits	Nomenclature	Type	Chaîne / Etapes
PF1	Produit Emballage plastique Emballage papier	1	Fabrication produit Conditionnement plastique Etiquetage Impression Fabrication transformation papier Conditionnement papier du produit Sérigraphie
		2	Fabrication produit Conditionnement plastique Etiquetage Impression Fabrication transformation papier Conditionnement papier Sérigraphie

Tableau III.3.7 : Nomenclature des produits de type 1 et 2

Lancement d'AOS concernant les produits cosmétiques (Fcos 1, Fcos 2) :

Nous considérons un client, qui lance deux Appels d'Offres concernant des produits cosmétiques : un premier AO de 15000 produits de type1 (Fcos1) et un deuxième AO de 12000 produits de type2 (Fcos2).

Faisons remarquer que la quantité supplémentaire commandée sur le produit de type 2 sous Arena était de 1000 produits de type 2 seulement. Nous avons choisi volontairement d'augmenter considérablement cette quantité afin de montrer l'avantage de l'approche.

Pour ces deux AOs, quatre entreprises A1, A2, A3 et A4 sont susceptibles de répondre et entrent donc en négociation. Elles s'auto-évaluent en appliquant la méthode multicritères, afin de désigner le meilleur fournisseur sur chaque AO.

Ci-dessous est représenté le tableau des indicateurs (données utilisées pour l'application de la méthode multicritères) concernant ces fournisseurs (Cf Tableau III.3.8) :

Ai	A1		A2		A3		A4	
Cliant i	C1		C1		C1		C1	
AOi	Fcos1	Fcos2	Fcos1	Fcos2	Fcos1	Fcos2	Fcos1	Fcos2
I11	4	4	2	4	2	2	5	6
I12	432000	432000	518400	518400	259200	259200	518400	518400
I21	6	5	7	5	3	4	7	5
I22	800	850	1200	800	450	600	1000	850
I31	0,9							
I32	2,1							
I33	0,88							
I41	0,92							
I42	0,9							
I51	6		6		10		7	
I52	4		4		8		5	

Tableau III.3.8 : Tableau d'indicateurs pour le type d'AO "Fcos"

Le lancement des deux AOs (Fcos 1, Fcos 2) sur la maquette de simulation est illustré sur la Figure III.3.6.

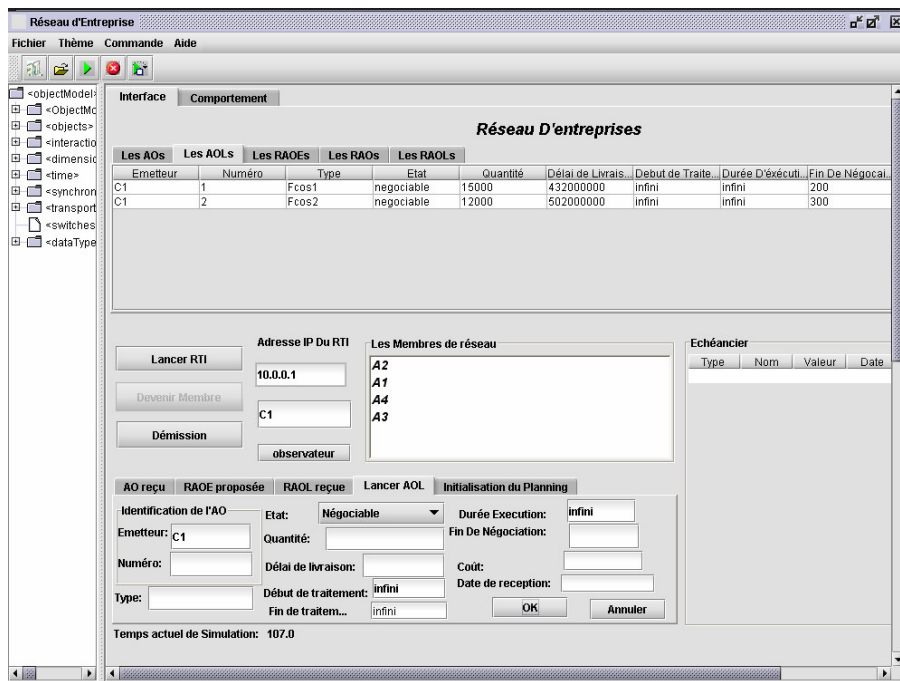


Figure III.3.6 : Lancement des AOs "Fcos 1" et "Fcos 2" par le client "C1"

	NUM_AO	EMMETEUR_RA	EMMETEUR_AO	PERFORMANCE	DATE_ENGAGE	DATE_REPONS	FIN_NEGOCIAIO
1	1	A3	Cliant1	0.43711340944433	44.0	48.0	200
2	2	A3	Cliant1	0.43711340944433	72.0	77.0	200

Tableau III.3.9 : Réponses du fournisseur A3

Les résultats obtenus sur le Tableau III.3.9 montrent que A3 est meilleur sur les Appels d'Offres Fcos1 et Fcos2.

Faisons remarquer que si A2 avait été meilleur sur les deux premiers AO, il n'aurait pas pu les prendre étant donné qu'il dépassait sa capacité initiale.

Lancement d'AOs pour le conditionnement plastique (Cplas 1, Cplas 2) :

A ce niveau, l'entreprise A3, dont l'activité se limite à la fabrication de produits cosmétiques, lance à son tour deux AOs pour le conditionnement plastique : un premier d'une quantité de 15000 produits de type1, et un deuxième de 12000 de type2. Par conséquent, les entreprises concernées rentrent en négociation, c'est-à-dire, celles qui exercent cette activité, donc A2, C1, C2 et C3 (Cf Figure III.3.7)

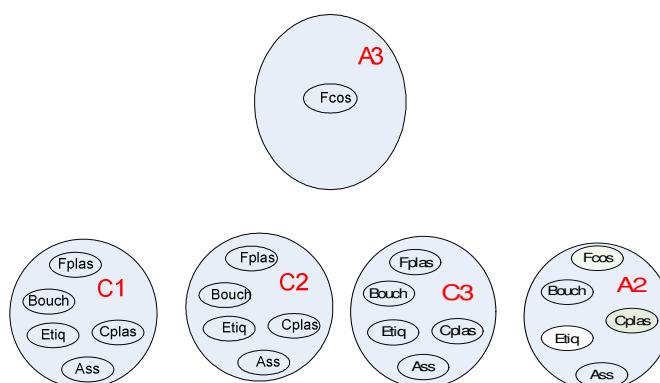


Figure III.3.7 : Entreprises concurrentes pour l'AO Cplas

De la même façon, nous avons renseigné les différents indicateurs au niveau de chaque fournisseur :

Ai	A2		C1		C2		C3	
Client i	A3		A3		A3		A3	
AOi	Cplas1	Cplas2	Cplas1	Cplas2	Cplas1	Cplas2	Cplas1	Cplas2
I11	2	2	1	4	3	1	3	4
I12	259200	345600	86400	388800	302400	86400	345600	345600
I21	6	5,5	3	5	4	4	7	5
I22	1100	1000	800	900	1000	600	950	850
I31	0,9							
I32	2,1							
I33	0,88							
I41	0,92							
I42	0,9							
I51	6		9		10		7	
I52	4		10		8		5	

Tableau III.3.10 : Tableau d'indicateurs pour le type d'AO « Cplas »

Après exécution, nous obtenons les résultats suivants :

	NUM_AO	EMMETEUR_RA	EMMETEUR_AO	PERFORMANCE	DATE_ENGAGEI	DATE_REPONS	FIN_NEGOCIAIO
1	2	C2	A3	0.43711340944433	36.0	40.0	200
2	1	C1	A3	0.44230762366323	37.0	41.0	200

Tableau III.3.11 : Réponses des entreprises C1 et C2

L'entreprise C1 se voit donc attribuer l'AO de type "Cplas1", et C2 prend celui de type "Cplas2". Notons, que les deux entreprises C1 et C2 s'occupent également de l'étiquetage pour les deux produits.

Lancement d'AOs pour l'impression (Impr 1, Impr 2) :

A3 lance le second type d'AO pour l'impression. A ce niveau, les deux entreprises M1 et M2 rentrent en négociation :

Ai	M1		M2	
Client i	A3		A3	
AOi	Impr1	Impr2	Impr1	Impr2
I11	3	1	1	4
I12	259200	43200	43200	302400
I21	9	5	5	7
I22	750	750	800	800
I31	0,9			
I32	2,1			
I33	0,88			
I41	0,92			
I42	0,9			
I51	8		10	
I52	9		8	

Tableau III.3.12 : Tableau d'indicateurs pour le type d'AO « Impr »

Le résultat obtenu montre que M1 est meilleur sur le 2^e AO (Impr2), et que M2 est meilleur sur le 1^{er} (Impr1) :

	NUM_AO	EMMETEUR_RA	EMMETEUR_AO	PERFORMANCE	DATE_ENGAGEI	DATE_REPONS	FIN_NEGOCIAIO
1	2	M1	A3	0.43214250550221	28.0	32.0	200
2	1	M2	A3	0.43711340944433	28.0	32.0	200

Tableau III.3.13 : Réponses des entreprises M1 et M2

Lancement d'AOs pour le conditionnement papier (Cpap 1, Cpap 2) :

A3 lance le 3^e type d'AO pour le conditionnement papier. A ce stade, les entreprises B1, B2, et B3 rentrent en négociation :

Ai	B1		B2		B3	
Client	A3		A3		A3	
AOi	Cpap1	Cpap2	Cpap1	Cpap2	Cpap1	Cpap2
I11	1	1	3	3	2	1
I12	43200	345600	259200	43200	345600	43200
I21	6	7	7	6	7	4
I22	900	1000	1000	1100	1100	800
I31	0,9					
I32	2,1					
I33	0,88					
I41	0,92					
I42	0,9					
I51	10		6		9	
I52	9		5		10	

Tableau III.3.14 : Tableau d'indicateurs pour le type d'AO « Cpap »

Le déroulement de l'AHP au niveau de ces trois entreprises montre que B1 est meilleur sur le 1^{er} AO (Cpap1) et B3 est meilleur sur le 2^e AO (Cpap2) :

	NUM_AO	EMMETEUR_RA	EMMETEUR_AO	PERFORMANCE	DATE_ENGAGE	DATE_REPONS	FIN_NEGOCIAIO
1	2	B3	A3	0.44230762366323	34.0	38.0	200
2	1	B1	A3	0.44230762366323	34.0	38.0	200

Tableau III.3.15 : Réponses des entreprises B1 et B3

Lancement d'AOs pour la fabrication papier (Fpap 1, Fpap 2) :

B1 et B3 lancent chacune un Appel d'Offre pour l'approvisionnement en emballages papier. De ce fait, les entreprises E1 et E2 rentrent en négociation.

Ai	E1		E2	
Client	B1	B3	B1	B3
AOi	Fpap1	Fpap2	Fpap1	Fpap2
I11	2	3	4	1,5
I12	21600	129600	259200	21600
I21	4	9	7	6
I22	800	1100	1000	750
I31	0,9			
I32	2,1			
I33	0,88			
I41	0,92			
I42	0,9			
I51	10		9	
I52	9		10	

Tableau III.3.16 : Tableau d'indicateurs pour le type d'AO « Fpap »

Le résultat obtenu montre que E1 est meilleure sur le 1^{er} AO « Fpap1 », et E2 est meilleure sur le 2^e « Fpap2 ».

	NUM_AO	EMMETEUR_RA	EMMETEUR_AO	PERFORMANCE	DATE_ENGAGE	DATE_REPONS	FIN_NEGOCIAIO
1	1	E1	B1	0.442307623663234	43.0	47.0	200
2	2	E2	B3	0.45579867157808	43.0	47.0	200

Tableau III.3.17 : Réponses des entreprises E1 et E2

Lancement d'AOs pour la sérigraphie (Serig 1, Serig 2) ::

Une fois que le conditionnement papier est fait sur les deux types de produits (type 1 et type 2), les deux entreprises B1 et B2 lancent chacune un Appel d'Offre pour la sérigraphie³⁴. Les entreprises exerçant cette activité (M1 et M2) rentrent en négociation.

Ai	M1		M2	
Client	B1	B3	B1	B3
AOi	Serig1	Serig2	Serig1	Serig2
I11	1	1,5	1	1
I12	21600	129600	259200	21600
I21	4	9	7	6
I22	800	1100	1000	750
I31	0,9			
I32	2,1			
I33	0,88			
I41	0,92			
I42	0,9			
I51	10	5	6	9
I52	9	3	4	8

Tableau III.3.18 : Tableau d'indicateurs pour le type d'AO « Serig »

Le résultat obtenu montre que M1 est meilleure sur l'AO "Serig2" et M2 est meilleure sur l'AO "Serig1".

	NUM_AO	EMMETEUR_RA	EMMETEUR_AO	PERFORMANCE	DATE_ENGAGE	DATE_REPONS	FIN_NEGOCIAIO
1	2	M2	B3	0.44594118460112	33.0	37.0	200
2	1	M1	B1	0.442307623663234	33.0	37.0	200

Tableau III.3.19 : Réponses des entreprises M1 et M2

Au final, nous pouvons noter la construction de deux nouvelles chaînes associées à la fabrication des deux types de produits: le produit de type 1 (Fcos 1) et le produit de type 2 (Fcos 2). Contrairement aux chaînes figées existantes, ces deux nouvelles chaînes sont construites au fur et à mesure du lancement des AOs à chaque niveau de fabrication correspondant à ces deux types de produits. Les chaînes ainsi construites sont présentées sur la Figure III.3.8.

³⁴ Les entreprises qui font le conditionnement papier sont sensées de faire la sérigraphie.

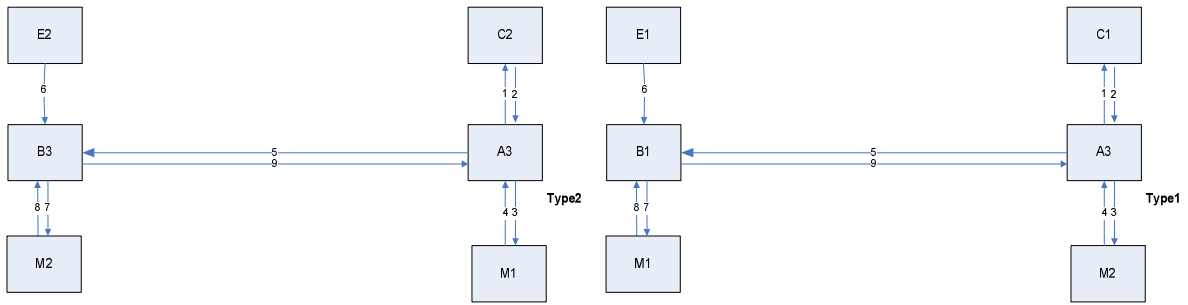


Figure III.3.8 : Représentation des nouveaux flux correspondants aux deux types du produit PF1

Les graphiques présentés sur la Figure III.3.9 mettent en évidence l'équilibrage de la charge au niveau des entreprises ayant pris les Appels d'Offres explicités précédemment.

« INIT » représente la charge initiale renseignée pour chacune des entreprises en annexe (Cf. page 208 de l'Annexe III).

« PertX_TypeY » représente l'AO lancé, cet AO concerne la perturbation "X", pour le produit de type "Y".

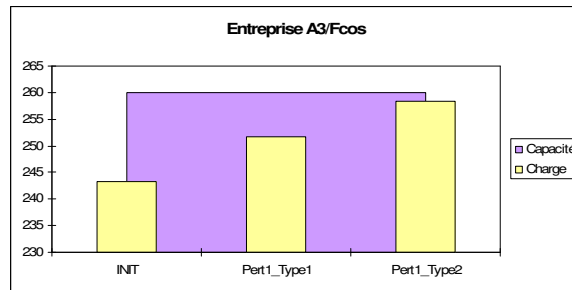


Figure III.3.9 : Lissage de charge pour A3

Nous observons donc le lissage de charge pour l'entreprise A3, la charge ne dépassant pas la capacité maximale.

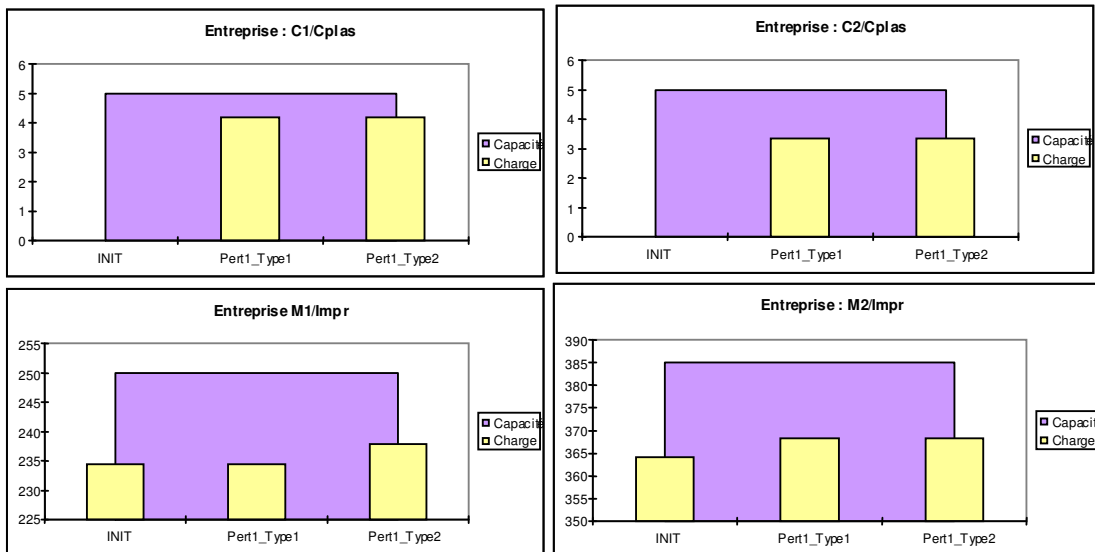


Figure III.3.10 : Lissage des charges pour C1, C2, M1 et M2.

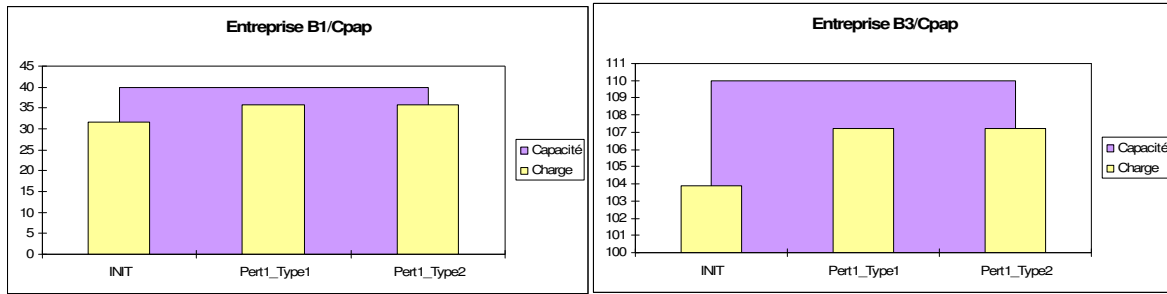


Figure III.3.11 : Lissage des charges pour B1 et B3

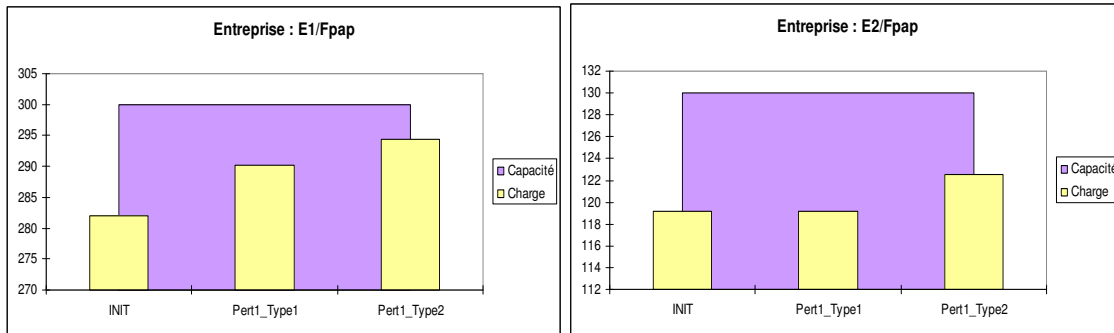


Figure III.3.12 : Lissage des charges pour E1 et E2

III.3.3.1.4 Comparaison des résultats (Approche classique / Approche auto-organisée)

Lors de l'étude de l'approche classique, nous avons étudié l'influence des perturbations injectées sur les entreprises A2, B1 et M1 dont la charge dépassait la capacité maximale (Cf.paragraphe III.3.3.1.1).

Dans le cadre de l'approche auto-organisée, ces entreprises ne traiteraient pas les Appels d'Offres qui causent leur surcharge, comme nous l'avons expliqué précédemment (Cf.paragraphe III.3.3.1.3)

Ceci est mis en évidence par les graphiques de la Figure III.3.13:

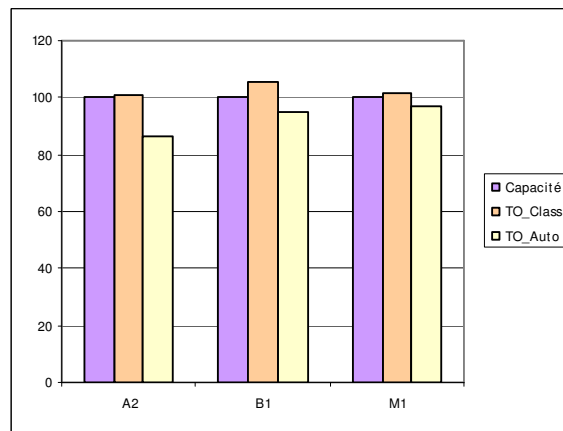


Figure III.3.13 : Taux d'occupation de A2, B1 et M1

L'approche auto-organisée permet d'obtenir une solution réaliste et donc réalisable, ne générant pas de répercussion de surcharge sur les autres entreprises du réseau, alors que

l'approche classique génère des problèmes de fonctionnement du réseau puisque elle propose des solutions avec des surcharges.

III.3.3.2 Perturbation de type 2 : Perturbation/entreprises impliquées dans plusieurs chaînes

Le deuxième type de perturbation concerne les entreprises qui sont en interaction de plusieurs chaînes. Nous nous sommes alors intéressés aux entreprises : D1, M2, B3 et E1 qui sont traversées par les flux de produits de types : 3, 4 et 6 (Cf page 212 de l'Annexe III). Notons que les entreprises E1, B3 et M2 sont traversées par le flux de produit de type 7 et que les entreprises D3, C3 et M2 sont traversées par les flux de produit de type 10 et 12. Ce qui nous amène à considérer sept chaînes correspondants aux types : 3, 4, 5, 6, 7, 10 et 12 (Cf page 212 de l'Annexe III).

III.3.3.2.1 Simulation du modèle Arena : approche classique

Nous supposons que les clients finaux des sept chaînes commandent chacun au cours d'une même période (même semaine) une quantité supplémentaire des produits qu'ils leurs sont livrés habituellement. Le client 1 commande 5000 produits supplémentaires de type 3 et 2000 produits supplémentaires de type 4. Le client 2 commande 4000 produits supplémentaires de type 5 et 4000 produits supplémentaires de type 6. Le client 3 commande 8000 produits supplémentaires de type 7 et le client 4 commande 8000 produits supplémentaires de type 10 et 5000 produits supplémentaires de type 12. L'augmentation de la taille de lot de chacun des types par rapport aux quantités de produits livrés habituellement est résumée dans le Tableau III.3.20 suivant :

Client	Type de produit commandé	Lot habituellement commandé	Lot habituellement commandé + lot supplémentaire
Client 1	Type 3	20000	25000
	Type 4	15000	17000
Client 2	Type 5	30000	34000
	Type 6	17000	21000
Client 3	Type 7	43000	51000
Client 4	Type 10	18000	26000
	Type 12	22000	27000

Tableau III.3.20 : Lots commandés par les clients

Comme pour l'étude de la perturbation de type 1, un système de reporting a été mis en place mais cette fois-ci au sein de toutes les chaînes concernées par la perturbation. L'objectif étant de pouvoir collecter les informations concernant les produits circulants sur ces chaînes telles : la date d'arrivée de chaque lot, sa durée de séjour dans l'entreprise en question pour pouvoir par la suite étudier l'impact de cette perturbation sur les différentes chaînes.

Ainsi, le Tableau III.3.21 met en évidence les produits transitant par chacune des entreprises avec leurs dates d'arrivée dans l'entreprise en question, leurs séjours dans l'entreprise et la date à laquelle il quitte l'entreprise.

	A	B	C	D	E
1		type	dateArri	sejour	tnow
2	A2G	1	3	80030,3502777778	80033,3502777778
3		2	14	206851,5005555556	206865,5005555556
4		10	99	231418,286269841	231517,286269841
5	A3G	3	0	149168,667222222	149168,667222222
6		4	21	161647,667222222	161668,667222222
7		9	80	208118,834166667	208198,834166667
8		5	28	255462,381785714	255490,381785714
9		12	130	331039,6675	331169,6675
10		13	140	431809,190753968	431949,190753968
11	A4G	6	38	167584,048452381	167622,048452381
12		7	53	225437,381507937	225490,381507937
13		11	113	338410,714563492	338523,714563492
14	B2G	15	176	153340,580802469	153516,580802469
15		16	196	185320,580802469	185516,580802469
16		10	99	231418,285992063	231517,285992063
17		11	114	338409,714563492	338523,714563492
18		13	144	403233,761904762	403377,761904762
19	B3G	14	82502	46666,6669444445	129168,666944444
20		3	96360,1436904762	42808,5232539683	139168,666944444
21		4	112931,571706349	37487,0952380953	150418,666944444
22		6	139288,714563492	28333,3336111111	167622,048174603
23		7	175323,714563492	50166,6669444444	225490,381507937
24		5	198758	41732,3815079365	240490,381507937
25		12	272503,000277778	36666,6669444445	309169,667222222
26	C3G	13	144	403233,76218254	403377,76218254
27	D1G	3	2	139166,667222222	139168,667222222
28		4	18	150400,667222222	150418,667222222
29	D2G	6	38	167584,048452381	167622,048452381
30		5	8	240482,381785714	240490,381785714
31	D3G	10	108	231409,286269841	231517,286269841
32		12	123	309046,6675	309169,6675
33	M2	14	33503,0005555556	11428,5714285714	11428,5714285714
34		15	53503,0005555556	11428,5714285714	11428,5714285714
35		16	53503,0011111111	37142,8565873016	37142,8565873016
36		3	70002	26358,1434126984	26358,1434126984
37		4	106503	6428,57142857143	6428,57142857143
38		9	114003	14285,7142857143	14285,7142857143
39		6	132003	7285,71428571429	7285,71428571429
40		7	163038	12285,7142857143	12285,7142857143
41		10	204003	7714,28571428571	7714,28571428571
42		11	285038	18285,7142857143	18285,7142857143
43	M2S	14	109168,666666667	20000	20000
44		3	122502	16666,666666667	16666,666666667
45		4	132502	17916,666666667	17916,666666667
46		6	150622,047896825	17000	17000
47		7	203990,381230159	21500	21500
48		5	223990,381230159	16500	16500
49		12	287169,666944444	22000	22000

XG est utilisé pour faire correspondre un temps de séjour relatif à un ensemble d'activité de l'entreprise X (temps de séjour Global du produit dans l'entreprise X).

Tableau III.3.21 : Résultat de la simulation avant l'injection du deuxième type de perturbation

L'augmentation de la taille de chacun des lots commandés ci-dessus, entraîne d'une part, un dépassement au niveau de la capacité maximale des entreprises qui sont en interaction des flux de produits concernés par la perturbation. La FIGURE III.5.1 de l'Annexe III, montre le dépassement de capacité chez les trois entreprises B3, E1 et M2 qui sont en interaction des flux de produits des types : 3, 4, 5, 6, 7 et 12, qui est assez important contrairement au

dépassement de capacité chez l'entreprise D3 qui elle est en interaction uniquement de deux flux de types de produits qui sont : le type 10 et le type 12.

D'autre part, nous constatons également un dépassement de capacité maximale par activité chez les entreprises : A2, A4, B2, C2, D1, D2, M1 (Cf FIGURE III.5.2 et FIGURE III.5.3 de l'Annexe III). Ces deux figures montrent le dépassement de capacité maximale par activité chez les entreprises B3, E1 et M2.

Etant donné que l'entreprise A3 n'exerce qu'une seule activité, qui est la fabrication de produits cosmétiques, celle-ci doit sous-traiter le conditionnement en tube souple pour les produits des types : 3, 4 (chez l'entreprise D1). L'entreprise D1 s'occupe dans un premier temps de la fabrication des tubes souples, puis dans un deuxième temps du conditionnement ce qui explique sa surcharge respectivement par rapport aux activités Fts (Fabrication de tubes souples) et l'activité Cts (Conditionnement en tubes souples). En plus du conditionnement en tubes souples, l'entreprise D1 s'occupe du bouchage ce qui entraîne sa surcharge par rapport à l'activité Bouch (Bouchage). Pour faire le bouchage, l'entreprise D1 doit s'approvisionner en bouchons chez l'entreprise C2. Par conséquent, un dépassement de la capacité maximale de l'entreprise C2 se fait sentir, par rapport à l'activité Fplas (Fabrication de produit plastique).

L'entreprise A2 traite les produits de type 1, 2 et 10. Comme le type 10 est dans ce cas perturbé, cela explique sa surcharge par rapport à l'activité Fcos.

L'entreprise A4 traite les commandes liées aux deux types de produits : le type 6 et le type 7. Pour ces deux types de produits, A4 s'occupe de la fabrication du produit puis du conditionnement en verre pour le produit de type 7 et le bouchage pour les deux autres types de produits, ce qui engendre une surcharge au niveau de sa capacité par rapport aux deux activités Cver (Conditionnement en verre de produit) et Bouch (Bouchage). Pour le conditionnement en verre de produit, l'entreprise A4 s'approvisionne en emballage en verre chez l'entreprise D2, par conséquent l'entreprise D2 subit une surcharge par rapport à l'activité Fver (Fabrication d'emballage en verre).

Les commandes des deux types de produits (type 10 et type 12) sont traités respectivement par l'entreprise A2 et l'entreprise A3. Les deux entreprises procèdent à la fabrication du produit puis sous traite le conditionnement en verre chez l'entreprise D3. L'entreprise D3 s'occupe d'abord de la fabrication d'emballage en verre, du conditionnement en verre puis de l'assemblage, ce qui génère un dépassement de sa capacité sur les deux activités (Fver et Ass).

Notons que la surcharge se répercute également sur l'entreprise M1 qui s'occupe de l'impression pour les deux types de produit (le type 5 et le type 12).

Afin de bien montrer les effets de cette perturbation, nous avons simulé le modèle ainsi perturbé sous Arena, cette simulation nous a permis d'obtenir les résultats suivants:

1	B	C	D	E	F
	Entreprise	Type	Dtae arrivée	Séjour	Tnow
2		1	3	80030,3502777778	80033,3502777778
3	A2	2	14	206851,5005555556	206865,5005555556
4		10	99	231418,286269841	231517,286269841
5		3	0	149168,6672222222	149168,6672222222
6		4	21	161647,6672222222	161668,6672222222
7	A3	9	80	208118,834166667	208198,834166667
8		5	28	255462,381785714	255490,381785714
9		12	130	331039,6675	331169,6675
10		13	140	431809,190753968	431949,190753968
11		6	38	167584,048452381	167622,048452381
12	A4	7	53	225437,381507937	225490,381507937
13		11	113	338410,714563492	338523,714563492
14		15	176	153340,580802469	153516,580802469
15		16	196	185320,580802469	185516,580802469
16	B2	10	99	231418,285992063	231517,285992063
17		11	114	338409,714563492	338523,714563492
18		13	144	403233,761904762	403377,761904762
19		14	82502	46666,6669444445	129168,6669444444
20		3	96360,1436904762	42808,5232539683	139168,6669444444
21		4	112931,571706349	37487,0952380953	150418,6669444444
22	B3	6	139288,714563492	28333,3336111111	167622,048174603
23		7	175323,714563492	50166,6669444444	225490,381507937
24		5	198758	41732,3815079365	240490,381507937
25		12	272503,000277778	36666,6669444445	309169,6672222222
26	C3	13	144	403233,76218254	403377,76218254
27		3	2	139166,6672222222	139168,6672222222
28	D1	4	18	150400,6672222222	150418,6672222222
29		6	38	167584,048452381	167622,048452381
30	D2	5	8	240482,381785714	240490,381785714
31		10	108	231409,286269841	231517,286269841
32	D3	12	123	309046,6675	309169,6675
33		14	33503,0005555556	11428,5714285714	11428,5714285714
34		15	53503,0005555556	11428,5714285714	11428,5714285714
35		16	53503,0011111111	37142,8565873016	37142,8565873016
36	M2	3	70002	26358,1434126984	26358,1434126984
37		4	106503	6428,57142857143	6428,57142857143
38		9	114003	14285,7142857143	14285,7142857143
39		6	132003	7285,71428571429	7285,71428571429
40		7	163038	12285,7142857143	12285,7142857143
41		10	204003	7714,28571428571	7714,28571428571
42		11	285038	18285,7142857143	18285,7142857143
43		14	109168,666666667	20000	20000
44		3	122502	16666,6666666667	16666,6666666667
45		4	132502	17916,6666666667	17916,6666666667
46	M2Ser	6	150622,047896825	17000	17000
47		7	203990,381230159	21500	21500
48		5	223990,381230159	16500	16500
49		12	287169,6669444444	22000	22000

Tableau III.3.22 : Résultat de la simulation après l'injection du deuxième type de perturbation

Le Tableau III.3.21 et le Tableau III.3.22 ci-dessus, présentent la durée et le séjour global de chaque produit dans l'entreprise concernée respectivement avant et après la perturbation. La différence entre les données figurant sur les deux tableaux explique le dépassement de capacité figurant sur la FIGURE III.5.1 de l'Annexe III. Ce dépassement de capacité peut entraîner un désaccord entre le client et son fournisseur. Pour cela, nous proposons dans le paragraphe suivant d'analyser les résultats obtenus ci-dessus afin d'étudier l'influence de ces derniers sur les attentes du client final.

Analyse des résultats obtenus au niveau de chaque entreprise

L'entreprise A3 :

L'entreprise A3 traite respectivement les produits de types 3, 4, 5, 9, 12 et 13. L'augmentation des quantités sur les produits 3, 4, 5 et 12 entraîne un retard sur la livraison des deux produits 9 et 13. Le type 9 passe plus de temps que prévu dans la file d'attente (3857.14s au lieu de 21348.57s). De même pour le type 13, celui-ci passe 6000s au lieu de 45002.86s.

Sachant que les deux types de produits 9 et 13 n'ont vu aucune augmentation de quantité par rapport aux lots livrés habituellement par l'entreprise A3, les deux clients concernés par la livraison des deux types attendent la livraison de leur produit dans les délais habituels, néanmoins les deux clients voient leur produit arriver avec un retard inattendu.

L'entreprise A2 :

L'entreprise A2 traite les produits de types 1, 2 et 10. L'augmentation du lot du type 10 entraîne l'augmentation du délai de fabrication, ce qui est normal (52000s au lieu de 36000s). Notons par ailleurs un dépassement de capacité par rapport à l'activité de fabrication de produits cosmétiques au niveau de cette même entreprise. En effet, la charge actuelle de l'entreprise est de 260000s, alors que la capacité maximale de l'entreprise A2 par rapport à l'activité Fcos est 252000s, d'où, un dépassement de capacité de 8000s soit 2,22h. Ce dépassement entraîne un retard sur la livraison du produit de type 10, qui est d'une semaine.

L'entreprise A4 :

Au niveau de l'entreprise A4, nous avons noté un léger dépassement de capacité (1,11h = 3996s) pour deux de ses activités : Cver (Conditionnement en verre de produit) et Bouch (Bouchage). Etant donné que l'entreprise A4 traite les deux types de produits 7 et 11 et sachant que la quantité commandée pour le type 7 a été augmentée de 8000, la charge actuelle de l'entreprise passe de 150000s à 166000s pour deux de ses activités Cver et Bouch. Par conséquent, le type 11 dont la quantité commandée est la même que celle commandée quotidiennement, sera livré avec une semaine de retard.

L'entreprise B2 :

L'entreprise B2 s'occupe de la sérigraphie pour les produits des types suivants : 10, 11, 13, 15 et 16. Cependant, l'augmentation de la quantité commandée pour le produit 10 entraîne un dépassement de capacité de 12000s soit 3.33h par rapport à l'activité Serig de l'entreprise considérée. Ce dépassement de capacité se répercute non pas sur le produit concerné par l'augmentation de quantité mais sur le produit qui est traité en dernier (le type 13) par l'entreprise B2. Par conséquent, le client concerné par le produit de type 13 verra sa commande livrée avec une semaine de retard.

L'entreprise D1 :

L'entreprise D1 s'occupe de la fabrication des tubes souples pour pouvoir, dans un premier temps, faire le conditionnement en tubes souples des trois types de produits : 3, 4 et 6, ensuite, dans un deuxième temps, faire le bouchage pour ces trois types de produits. L'augmentation de la quantité commandée sur les trois types de produits engendre un dépassement de capacité par rapport aux trois types d'activités de l'entreprise D1: Fts, Cts et Bouch. La charge de l'entreprise D1 passe de 70000s à 134000s pour l'activité Fts, de 52000s à 63000s pour l'activité Cts et de 126000s à 159000s pour l'activité Bouch. Le dépassement de capacité ainsi engendré se répercute sur le produit de type 6 qui sera prêt pour la livraison à partir de la semaine qui suit.

L'entreprise D2 :

L'entreprise D2 voit sa capacité augmentée par rapport à l'activité Fver (Fabrication d'emballage en verre). Le dépassement de capacité ainsi engendré est dû au lot supplémentaire commandé pour le type 7 sur lequel l'entreprise exerce cette activité. La charge de l'entreprise passe alors de 343000s à 383000s, ce qui représente un dépassement de capacité qui est de 23000s soit 6,4h par rapport à l'activité Fver de l'entreprise D2. Sachant que l'entreprise traite d'abord le produit de type 7 ensuite le produit de type 11, le dépassement de capacité sera répercuté sur le produit de type 11 qui sera livré au cours de la semaine qui suit.

L'entreprise D3 :

Les deux types de produits 10 et 12 passent par l'entreprise D3 qui s'occupe du conditionnement en verre des deux produits puis de l'assemblage. Pour pouvoir faire le conditionnement en verre, l'entreprise doit d'abord fabriquer l'emballage en verre. L'augmentation de la quantité commandée pour les deux types de produits entraîne le dépassement de capacité par rapport aux deux activités : l'activité Fver (Fabrication d'emballage en verre) et l'activité Ass (Assemblage) exercées par l'entreprise D3 sur les deux types de produits. Par conséquent, la charge de l'entreprise est de 291000s par rapport à l'activité Fver, et 212000s par rapport à l'activité Ass. Notons par ailleurs, que le dépassement de capacité est de 39000s soit un dépassement de 10.833h par rapport à l'activité Fver et 32000s soit un dépassement de 8,888h par rapport à l'activité Ass. Le produit 12 ne sera livré qu'au cours de la semaine qui suit.

L'entreprise M2 :

L'entreprise M2 s'occupe de l'impression et de la sérigraphie. Elle réalise l'impression pour tous les types de produits suivants : 3, 4, 6, 7, 9, 10, 11, 14, 15 et 16. De même, l'entreprise M2 réalise la sérigraphie pour les produits de types : 3, 4, 5, 6, 7, 12, 14. Cependant, l'augmentation de la quantité commandée des produits 3, 4, 5, 6, 7, 5 et 12 a entraîné un dépassement de capacité par rapport aux deux activités de cette entreprise à savoir : Impr et Serig. Ce dépassement de capacité est de 11988s soit 3,33h pour l'activité Impr et de 56988s soit 15.83h pour l'activité Serig. Par conséquent, un dépassement de capacité globale de : 19.16h. Le dépassement de capacité ainsi engendré au niveau de l'entreprise M2 voit ses répercussions sur la livraison des deux types de produits: le type 11 avec un retard de 3, 33h par rapport à l'activité Impr et le type 12 avec un retard de 15, 83h par rapport à l'activité Serig.

L'entreprise M1 :

Parallèlement à M2, M1 s'occupe elle aussi de l'impression et de la sérigraphie pour les autres types de produits (non traités par M2). A cet effet, M1 voit sa capacité augmentée par rapport à l'activité Impr, ce qui est évident du fait que cette entreprise fait l'impression pour les deux types de produits : 5 et 12 dont on a commandé un lot supplémentaire. Le dépassement de capacité ainsi engendré se répercute directement sur le produit de type 12 qui sera livré la semaine qui suit avec 9180s de retard soit 2.55h de retard.

L'entreprise E1 :

Pour réaliser le conditionnement en papier pour les produits de type : 3, 4, 5, 6, 7 et 12, l'entreprise B3 s'approvisionne en matière d'emballage en papier chez l'entreprise E1. Néanmoins, l'augmentation des quantités pour les six types de produits au cours de la même période de temps a entraîné un dépassement de capacité assez important au niveau de l'entreprise E1. Autrement dit, la charge de l'entreprise E1 atteint 1154988s soit 320.83 h alors que sa capacité maximale est de 1080000s soit 300h. Notons par ailleurs, que dans cette

entreprise, les répercussions de ce dépassement se feront sentir au niveau du produit de type 12 avec un retard de livraison assez conséquent (20, 83h).

L'entreprise B3 :

Concernant le conditionnement en papier, l'entreprise B3 s'occupe des produits de type : 3, 4, 5, 6, 7, 12 et 14, étant donné que cette entreprise n'exerce que l'activité Cpap (Conditionnement en papier). Ayant subi une augmentation de quantité commandée au cours de la même période, les produits de type : 3, 4, 5, 6,7 et 12 engendrent un dépassement de capacité assez important au niveau de cette entreprise. La charge de l'entreprise atteint alors : 429984s soit 119.444h alors que sa capacité maximale ne dépasse pas 396000s soit 110h. Ce dépassement de capacité se répercute directement sur la livraison du produit de type 12 avec un retard de 9.44h.

Récapitulatif : Tel que nous l'avons expliqué ci-dessus, l'entreprise A2 voit sa capacité dépassée d'un peu plus de 2 h par rapport à l'activité Fcos (Fabrication de produit cosmétique), ce dépassement se répercute directement sur le produit de type 12.

L'entreprise A4 voit sa capacité dépassée par rapport à deux de ses activités : Cver (Conditionnement en verre de produit) et Bouch (Bouchage) d'environ 1h sur chacune. De même, ce dépassement se répercute sur le produit de type 11.

Au niveau de l'entreprise B2, un dépassement de capacité de plus 3h par rapport à l'activité Serig (sérigraphie) a été noté. Ce dépassement se répercute directement sur la sérigraphie du produit de type 13.

De son côté, l'entreprise D1 voit sa capacité dépassée d'un peu plus de 6h par rapport à l'activité Fts (Fabrication de tubes souples), d'un peu plus de 1h par rapport à l'activité Cts (Conditionnement en tubes souples) et d'environ 3h par rapport à l'activité Bouch. Notons par ailleurs, que le produit le plus perturbé par ce dépassement sur les trois activités est le produit de type 6.

L'entreprise D2 subit un dépassement de capacité d'environ 6h par rapport à l'activité Fver (Fabrication d'emballage en verre). Ce dépassement se répercute sur le produit de type 11.

En plus d'un dépassement de capacité de plus de 10h sur l'activité Fver, l'entreprise D3 voit aussi sa capacité augmentée d'un peu plus de 8h sur l'activité Ass (Assemblage). Le seul produit influencé par ce dépassement est le produit de type 12.

L'entreprise M2 voit sa capacité dépassée par rapport à ses deux activités : Impr (Impression) et Serig (Sérigraphie). L'entreprise M2 subit un dépassement de capacité d'environ 3h pour l'activité Impr et d'environ 15h pour l'activité Serig, ce qui se répercute respectivement sur les produits de type 11 et de type 12.

Contrairement à l'entreprise M2, l'entreprise M1 voit sa capacité augmentée d'un peu plus de 2h uniquement sur l'activité Impr. De même, ce dépassement se répercute sur le produit de type 12.

Enfin, nous pouvons noter un dépassement de capacité au niveau des deux entreprises : B3 et E1 exerçant chacune une seule activité : Cpap (Conditionnement en papier) pour B3 et Fpap (Fabrication d'emballage papier) pour E1. Les deux entreprises B3 et E1 voient leurs capacités augmentées d'environ 20h pour l'entreprise E1 et un peu plus de 9h pour l'entreprise B3. Notons par ailleurs, que pour les deux entreprises, le produit influencé par ce dépassement est le produit de type 12.

Pour conclure, nous pouvons noter que la perturbation appliquée aux sept types de produits s'est répercute de façon plus importante sur les flux de produits suivants : le type 6, le type

10, le type 11, le type 12 et le type 13 et un peu moins sur les autres types. Par conséquent, ces types (les types influencés par la perturbation) ont dû passer un peu plus de temps dans la file d'attente et/ou dans l'entreprise (Cf page 229 de l'Annexe III)

Afin de mettre en évidence l'impact de cette perturbation sur les sept types de produits cités ci-dessus, nous proposons dans la section suivante d'étudier le flux de chaque type. L'objectif étant de calculer le retard engendré sur chacun d'eux par rapport à sa livraison au client final.

Produit de type 6 :

Le dépassement de capacité au niveau de l'entreprise A4 a engendré un retard sur la sous-traitance du produit de type 6 chez l'entreprise D1. En effet, au lieu de recevoir le produit de type 6 comme prévu à la fin de la semaine, l'entreprise D1 l'aura au cours de la semaine qui suit.

- Au niveau de l'entreprise D1 : le produit de type 6 sera livré avec un retard de 17933.33 s soit 4.98h chez M2 pour l'impression.
- Au niveau de l'entreprise M2 : même si le produit est reçu avec un peu de retard, l'impression est faite au cours de la semaine et le produit est retourné à D1 vers la fin de la même semaine.
- Au niveau de l'entreprise B3 : B3 sous-traite le produit de type 6 chez M2 pour la sérigraphie. Celui-ci est envoyé à la fin de la semaine à M2.
- Au niveau de l'entreprise M2: à nouveau, le produit de type 6 passe par l'entreprise M2 pour la sérigraphie. Cette fois-ci, le produit de type 6 passe plus de temps que prévu. M2 reçoit le produit de type 6 avec un retard de 22314.33 s soit : 6.19 h. De plus, vu que le lot est beaucoup plus important que d'habitude, sa durée de traitement passe de 17000s s à 21000s soit une durée supplémentaire de 4000s. D'où, le retour du produit de type 6 de M2 vers B3 est envisagé avec un retard de : 7.30h. Par conséquent le client 2 verra son produit de type 6 arriver avec un retard d'au moins 7.3h.

Produit de type 10 :

L'entreprise A2 devra sous-traiter le produit de type 10 pour le conditionnement en verre de produit chez l'entreprise D3. Le produit de type 10 subit un retard d'environ 2.22h au niveau de l'entreprise A2. Pour cela, l'entreprise D3 ne recevra le produit de type 10 qu'au cours de la semaine qui suit.

- Au niveau de l'entreprise D3 : le produit de type 10 est envoyé à la fin de la semaine pour l'impression chez M2.
- Au niveau de l'entreprise M2 : l'entreprise M2 retourne le produit de type 10 à l'entreprise D3 avec un peu de retard. Néanmoins, ce retard est prévu puisque la quantité du produit de type 10 a augmenté.
- Au niveau de l'entreprise B2 : l'entreprise B2 s'occupe du conditionnement en papier du produit de type 10 et de la sérigraphie de celui-ci. Sachant qu'initialement l'arrivée du produit de type 10 pour la sérigraphie chez l'entreprise M2 est prévue à la date 220717.28s (Cf Tableau III.3.21), celui-ci arrive chez M2 pour la sérigraphie à la date 284145.86s, ce qui entraîne un retard de : 63428.86s soit environ 17h.

Par ailleurs, le produit de type 10 a connu une augmentation de la quantité commandée qui est de 8000 par rapport à la quantité livrée habituellement, ce qui implique une durée de traitement plus importante soit 1.33 h de plus. Au final, le produit de type 10 est retourné à l'entreprise D3 avec un retard de 18.33 h. Par conséquent, le client 4 recevra le produit de type 10 avec un retard d'au moins : 18.33h.

Produit de type 11 :

Le produit de type 11 subit un retard au niveau de l'entreprise A4 par rapport aux deux activités : Cver et Bouch. Pour cela, l'entreprise A4 envoie le type 11 pour l'impression chez M2 la semaine qui suit avec un retard d'1.11h.

- Au niveau de l'entreprise M2 : le produit de type 11 sera retourné à la fin de la semaine à l'entreprise A4. L'entreprise A4 envoie alors le produit de type 11 pour le conditionnement en papier chez B2.
- Au niveau de l'entreprise B2 : comme pour le produit de type 10, le produit de type 11 arrive avec un retard de 19000s soit 5.28h chez B2 pour la sérigraphie. Le produit de type 11 sera donc retourné chez A4 avec un retard de 5.28h.

Sachant que le produit de type 11 n'a subi aucune augmentation de sa quantité, le client final devant recevoir ce type de produit sera surpris du retard qui est d'au moins 5.27h.

Produit de type 12 :

Etant donné que l'entreprise D3 n'a subi aucun dépassement de capacité par rapport à son activité Bouch, le produit de type 12 est envoyé la fin de la semaine pour l'impression chez M1.

- Au niveau de l'entreprise M1 : le produit de type 12 subit un retard de 2.55h au niveau de l'entreprise M1 pour l'impression. D'où, ce dernier sera retourné à l'entreprise D3 au cours de la semaine qui suit. A cet effet, l'entreprise D3 envoie le produit de type 12 pour le conditionnement en papier chez l'entreprise B3.
- Au niveau de l'entreprise B3 : B3 s'occupe du conditionnement en papier du produit de type 12 puis l'envoi chez l'entreprise M2 pour la sérigraphie. L'entreprise B3 voit sa capacité augmentée de 9.44h, ce qui implique que le produit de type 12 ne sera envoyé vers l'entreprise M2 qu'au cours de la semaine qui suit.
- Au niveau de l'entreprise M2 : M2 voit arriver le produit de type 12 pour la sérigraphie avec un retard de 67083.33s soit 18.63h. Notons d'une part, que le traitement dure 5000s de plus que prévu soit : 1.38h; et que d'autre part, l'entreprise M2 subit un dépassement de capacité par rapport à l'activité Serig qui se répercute sur le produit de type 12. Par conséquent, le produit de type 12 sera retourné à l'entreprise B3 une semaine après avec un retard d'environ : 19h. Cependant, le client 4 verra sa livraison arriver avec un peu plus d'une semaine de retard.

Produit de type 13 :

L'entreprise B2 s'occupe du conditionnement puis de la sérigraphie pour le produit de type 13. Néanmoins, l'entreprise B2 a subi un dépassement de capacité qui s'est répercuté sur le produit de type 13, ce dernier ne sera retourné à l'entreprise C3 qu'au cours de la semaine qui suit avec un retard de 3.33h (correspondant au dépassement de capacité de l'entreprise B2 par rapport à l'activité Serig). Par conséquent, le client final devant recevoir le produit de type 13, voit arriver sa livraison avec un peu plus d'une semaine de retard. Un retard assez important vis-à-vis du client qui, lui, n'a commandé aucun lot supplémentaire sur ce type de produit. Le client ne se doute donc pas de ce retard.

En conclusion, nous pouvons noter que l'approche classique ne laisse pas beaucoup de choix que ce soit pour les fournisseurs ou pour les clients. En effet, chaque client a ses propres fournisseurs auprès desquels il lance la même commande chaque semaine. Les fournisseurs d'un client donné connaissent par avance les commandes de leur client et donc ne prévoient aucune commande supplémentaire. Cependant, si un client commande une quantité

supplémentaire (exemple : le produit de type 12), celui-ci verra sa livraison arriver avec un retard, ce qui ne le surprend pas, puisqu'il a commandé un peu plus. Par contre, le fournisseur concerné par cette commande voit sa capacité dépassée, ce qui entraîne des retards sur des produits d'autres clients qui, eux, n'ont commandé aucun lot supplémentaire et donc ne sont pas forcément informés des retards (le produit de type 13 et le produit de type 11).

Nous remarquons donc que les perturbations introduites se répercutent sur plusieurs chaînes. Afin d'établir une comparaison entre les deux approches : l'approche classique et l'approche auto-organisée, nous présentons dans la section suivante l'effet de cette augmentation de quantité sur les mêmes types de produits dans le modèle auto-organisé.

III.3.3.2.2 Simulation du modèle sur la maquette : approche auto-organisée

Dans l'approche auto-organisée, les Appels d'Offres seront lancés selon les étapes de fabrication du produit cosmétique considéré.

Lancement d'AOs pour la fabrication de produits cosmétiques

Tel que nous l'avons présenté précédemment dans la simulation du modèle Arena, les quatre clients : client 1, client 2, client 3 et client 4 lancent sept AOs, dont la répartition a été donnée dans le tableau Tableau III.3.20 du paragraphe III.3.3.2.1.

Pour répondre aux AOs ainsi lancés, les quatre entreprises : A1, A2, A3, A4, entrent en négociation (Cf TABLEAU III.5.3 de l'Annexe III).

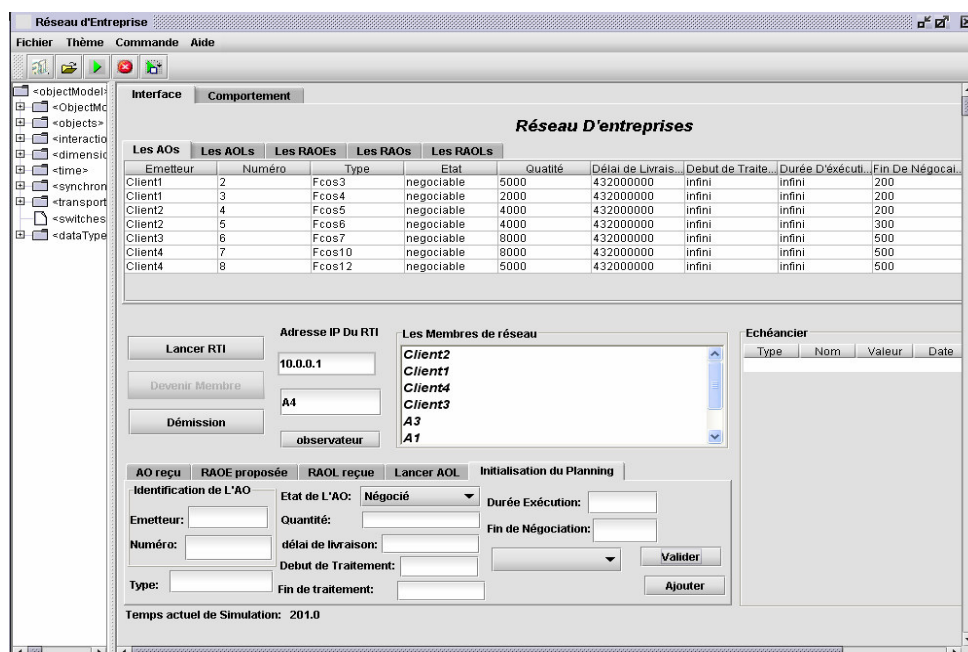


Figure III.3.14 : Réception par le fournisseur A4, des AOs lancés par les quatre clients.

A cet effet, les quatre entreprises s'auto-évaluent en appliquant la méthode multicritères AHP. La méthode multicritères AHP est basée sur un ensemble d'indicateurs qui doivent être renseignés au niveau de chaque entreprise fournisseur, par l'entreprise cliente (I51 et I52) et par l'entreprise fournisseur elle même (I11, I12, I21, I22, I31, I32, I33, I41, I42). Le TABLEAU III.5.3 de l'Annexe III représente le tableau d'indicateurs pour les quatre entreprises fournisseurs : A1, A2, A3, A4.

Notons qu'avant de renseigner les indicateurs établis dans le TABLEAU III.5.1 de l'Annexe III, nous avons d'abord renseigné la charge initiale pour chaque entreprise fournisseur. La charge initiale correspond aux lots traités régulièrement par chacune des entreprises au cours d'une semaine.

Le lancement de l'exécution pour les sept AOs sur la maquette (Cf Figure III.3.14), nous donne le résultat du Tableau III.3.23.

	NUM_AO	EMMETEUR_RA0	EMMETEUR_AD	PERFORMANCE	DATE_ENGAGEMENT	DATE_RI
1	8	A4	Clien4	0.4222628639351334	184.0	188.0
2	6	A1	Clien3	0.3842282951410961	174.0	178.0
3	7	A4	Clien4	0.4222226771913369	174.0	178.0
4	5	A3	Clien2	0.4411234108277495	124.0	128.0
5	4	A2	Clien2	0.44114183718881456	114.0	118.0
6	2	A1	Clien1	0.4583352722316954	87.0	91.0
7	3	A2	Clien1	0.4583352722316954	87.0	91.0

Tableau III.3.23 : Réponses des entreprises A1, A2, A3 et A4.

L'auto-évaluation effectuée au niveau de chaque entreprise fournisseur permet d'obtenir le classement suivant :

- L'entreprise A1 est meilleure sur les deux types de produits : le type 3 et le type 7.
- L'entreprise A2 est meilleure sur les deux types de produits : le type 4 et le type 5.
- L'entreprise A3 n'est meilleure que sur le type 6.
- L'entreprise A4 qui est meilleure sur les deux types de produits restant : le type 10 et le type 12.

A ce niveau, nous avons d'une part, les entreprises A1, A2 et A3 qui lancent les AOs pour le conditionnement en tubes souples (Cts) concernant les quatre types de produits : le type 3, le type 4 le type 5 et le type 6. D'autre part, ayant pris les produits de type 7, 10 et 12, et afin de faire le flaconnage en verre de liquide, les entreprises A1 et A4 lancent des AOs pour la fabrication d'emballage en verre (Fver).

Lancement d'AOs pour le conditionnement en tubes souples (Cts 3, Cts 4, Cts 5, Cts 6) :

Etant donné que les trois entreprises (A1, A2 et A3) ne peuvent pas réaliser le conditionnement (ce qui ne fait pas partie de leurs activités), celles-ci lancent quatre AOs pour le conditionnement des quatre types de produits (Cts 3, Cts 4, Cts 5, Cts 6). A ce niveau, les trois entreprises caractérisées par l'activité du conditionnement en tubes souples : l'entreprise D1, l'entreprise D2 et entreprise D3, rentrent en négociation. Les trois entreprises doivent donc, s'auto-évaluer par rapport aux quatre AOs lancés, pour cela nous avons renseigné les différents indicateurs au niveau de chaque fournisseur (Cf Tableau III.3.24)

Di	D1				D2				D3			
Client	A1	A2		A3	A1	A2		A3	A1	A2		A3
AOi	Cts3	Cts4	Cts5	Cts6	Cts3	Cts4	Cts5	Cts6	Cts3	Cts4	Cts5	Cts6
I11	1	1	3	1	3	1	1	3	3	3	3	1
I12	259200	432000	432000	345600	345600	259200	259200	345600	432000	432000	432000	259200
I21	3	5	5	5	5	3	2	2	5	3	2	2
I22	500	1000	1000	800	800	400	400	1000	700	1000	900	400
I31	0,9				0,9				0,9			
I32	2,1				2,1				2,1			
I33	0,88				0,88				0,88			
I41	0,92				0,92				0,92			
I42	0,9				0,9				0,9			
I51	10	4	5	5	5	10	5	5	6	5	10	10
I52	9	5	4	6	6	9	6	5	6	6	9	9

Tableau III.3.24 : Tableau d'indicateurs pour le type d'AO Cts

L'exécution sur la maquette nous donne le résultat suivant :

	NUM_AO	EMMETEUR_RAO	EMMETEUR_AO	PERFORMANCE	DATE_ENGAGEMENT	DATE_REPONSE	FIN_NEGOCIAION_RAO
1	5	D3	A3	0.3814369494691497	93.0	97.0	500
2	2	D1	A1	0.4161389260904883	61.0	65.0	300
3	4	D2	A2	0.3814369494691497	61.0	65.0	500
4	3	D2	A2	0.38238005470621766	51.0	55.0	500

Tableau III.3.25 : Réponses des entreprises D1, D2 et D3.

Contrairement à l'approche classique où les quatre types de produits sont traités par l'une des deux entreprises D1 ou D2; dans cette approche D3 se voit attribuer le type 6 (Cf FIGURE III.5.11 de l'Annexe III), l'entreprise D2 se voit attribuer le type 4 et le type 5 (Cf FIGURE III.5.10 de l'Annexe III) et enfin le type 3 est attribué à l'entreprise D1 (Cf FIGURE III.5.9 de l'Annexe III).

Lancement d'AOs pour La fabrication d'emballage en verre (Fver 7, Fver 10, Fver 12) :

Pour pouvoir faire le flaconnage en verre de produits pour les types 7, 10 et 12, les entreprises A1 et A4 lancent des AOs pour l'emballage en verre. L'entreprise A1 lance un AO pour le type 7 avec une quantité de 8000 et l'entreprise A4 lance deux AOs pour les deux types : le type 10 avec une quantité de 8000 et le type 12 avec une quantité de 5000. À cet effet, les entreprises D1, D2 et D3 susceptibles de répondre rentrent en négociation (Cf Tableau III.3.26).

Di	D1			D2			D3		
Client	A1	A4		A1	A4		A1	A4	
AOi	Fver7	Fver10	Fver12	Fver7	Fver10	Fver12	Fver7	Fver10	Fver12
I11	6	4	4	5	6	2	4	6	4
I12	259200	21600	345600	259200	432000	21600	21600	345600	432000
I21	6	3	5	5	5	3	2	5	6
I22	1000	400	600	1000	700	400	400	1000	1000
I31	0,9			0,9			0,9		
I32	2,1			2,1			2,1		
I33	0,88			0,88			0,88		
I41	0,92			0,92			0,92		
I42	0,9			0,9			0,9		
I51	3	10		5	10		9	5	
I52	4	9		6	9		10	6	

Tableau III.3.26 : Tableau d'indicateurs pour le type d'AO Fver

L'exécution sur la maquette nous donne le résultat suivant:

	NUM_AO	EMMETEUR_RAQ	EMMETEUR_AQ	PERFORMANCE	DATE_ENGAGEMENT	DATE_REPONSE	FIN_NEGOCIAO
1	4	D2	A4	0.3813218605958898	48.0	52.0	600
2	3	D1	A4	0.38119884422554945	38.0	42.0	600
3	2	D3	A1	0.4161223239833883	38.0	42.0	500

Tableau III.3.27 : Réponses des entreprises D1, D2 et D3.

Pour pouvoir faire l'assemblage, l'entreprise A4 lance deux AOs (Fplas 10, Fplas 12) pour la fabrication de produits plastiques pour les deux types de produits : 10 et 12. Ensuite, pour faire le Bouchage pour les mêmes types de produits, l'entreprise A4 relance deux AOs (Fplas 10, Fplas 12) pour la fabrication de produits plastiques. De même, pour pouvoir faire le bouchage³⁵ pour les quatre autres produits (le type 3, le type 4, le type 5 et le type 6), les entreprises D1, D2, D3 lancent des AOs (Fplas 3, Fplas 4, Fplas 5, Fplas 6) pour la fabrication de produits plastiques. Le détail de lancement de ces AOs est explicité ci-dessous.

Lancement d'AOs pour la fabrication de produits plastiques (pour l'assemblage) :

Dans le but de faire l'assemblage pour les deux types de produits : le type 10 et le type 12, l'entreprise A4 relance deux AOs pour la fabrication de produits plastiques vu qu'elle n'exerce pas cette activité. Par conséquent, les entreprises : C1, C2, C3 et A1 rentrent en négociation pour répondre à ces AOs (Cf Tableau III.3.28).

Di	A1		C1		C2		C3	
Client	A4		A4		A4		A4	
AOi	Fplas10	Fplas12	Fplas10	Fplas12	Fplas10	Fplas12	Fplas10	Fplas12
I11	2	5	5	1	5	6	6	4
I12	21600	172800	172800	21600	259200	172800	259200	172800
I21	4	6	7	3	7	8	5	6
I22	400	600	500	300	700	600	800	700
I31	0,9		0,9		0,9		0,9	
I32	2,1		2,1		2,1		2,1	
I33	0,88		0,88		0,88		0,88	
I41	0,92		0,92		0,92		0,92	
I42	0,9		0,9		0,9		0,9	
I51	10		9		6		5	
I52	9		10		4		4	

Tableau III.3.28 : Tableau d'indicateurs pour le type d'AO Fplas

Le Tableau III.3.29 ci-dessous représente les résultats obtenus sur la maquette:

	NUM_AO	EMMETEUR_RAQ	EMMETEUR_AQ	PERFORMANCE	DATE_ENGAGEMENT	DATE_REPONSE	FIN_NEGOCIAO_RAQ
1	2	A1	A4	0.4161220658157101	45.0	49.0	500
2	3	C1	A4	0.4162139636720013	45.0	49.0	500

Tableau III.3.29 : Réponses des entreprises A1 et C1

³⁵ Faisons remarquer que les entreprises qui font le conditionnement en tubes souples pour l'un des produits suivants : type3, type4, type5 ou type 6, s'occupent également du bouchage, de l'impression et du conditionnement en papier pour ces produits.

Le lancement d'AOs pour la Fabrication de produits plastiques :

Pour faire le bouchage, les entreprises D1, D2, D3 et A4 doivent lancer des AOs pour la fabrication de produits plastiques (fabrication de bouchons), contrairement à l'entreprise A1 qui s'occupe, elle-même, de la fabrication de bouchons pour le produit de type 7.

Au lancement de ces AOs, les entreprises : C1, C2, C3 et A1 rentrent en négociation (Cf TABLEAU III.5.4 de l'Annexe III).

La simulation au niveau de la maquette nous donne les résultats suivants:

NUM_AD	EMMETEUR_RA0	EMMETEUR_AD	PERFORMANCE	DATE_ENGAGEMENT	DATE_REPONSE	FIN_NEGOCIAION_RA0
7	C3	A4	0.4106138143964192	195.0	199.0	500
6	C3	A4	0.410596988866308	185.0	189.0	500
5	C1	D3	0.4106764553549716	156.0	160.0	200
4	C2	D2	0.38132246295406064	117.0	121.0	200
2	A1	D1	0.4161389260904883	107.0	111.0	200
3	C1	D2	0.38238005470621766	107.0	111.0	200

Tableau III.3.30 : Réponses des entreprises C1, C2, C3 et A1

Les entreprises : A1, A4, D1, D2 et D3 lancent deux types d'AOs, le premier pour l'impression et le deuxième pour le conditionnement en papier. La description détaillée de la procédure de lancement de ces AOs au niveau de notre maquette est explicitée dans la suite.

Le lancement d'AOs pour l'impression :

Ayant fait le bouchage les entreprises : D1, D2, D3, A1 et A4 relancent des AOs pour l'impression des sept types de produits. Cette fois ci les entreprises M1 et M2 rentrent en négociation pour répondre à ces AOs, vue qu'elles sont les seules à pouvoir exercer l'activité de l'impression. (Cf TABLEAU III.5.5 de l'Annexe III).

Le tableau ci-dessous représente les résultats obtenus après avoir lancé la simulation sur la maquette :

NUM_AD	EMMETEUR_RA0	EMMETEUR_AD	PERFORMANCE	DATE_ENGAGEMENT	DATE_REPONSE	FIN_NEGOCIAION_RA0
7	M2	A4	0.410596988866308	194.0	198.0	500
8	M2	A4	0.4106906531667244	214.0	218.0	500
6	M1	A1	0.40529130303822075	168.0	172.0	500
5	M1	D3	0.3814369494691497	139.0	143.0	500
4	M2	D2	0.3753341520545704	139.0	144.0	300
2	M2	D1	0.4161634339436853	113.0	117.0	200
3	M2	D2	0.37590170888385016	103.0	107.0	300

Tableau III.3.31 : Réponses des entreprises M1 et M2

- L'entreprise M1 se voit attribuer les types d'AOs Impr 7 et Impr 6.
- L'entreprise M2 se voit attribuer les types d'AOs : Impr 3, Impr 4, Impr 5, Impr 10 et Impr 12.

Le lancement d'AOs pour le conditionnement en papier :

Après avoir lancé des AOs pour l'impression, les entreprises : D1, D2, D3, A1 et A4 relancent des AOs pour le conditionnement en papier des sept types de produits. Au lancement de ces AOs, les entreprises B1, B2 et B3 rentrent en négociation (Cf TABLEAU III.5.6 de l'Annexe III)

Les résultats de la simulation sur la maquette sont représentés sur le tableau ci-dessous:

NUM_AO	EMMETEUR_RAO	EMMETEUR_AO	PERFORMANCE	DATE_ENGAGEMENT	DATE_REPONSE	FIN_NEGOCIAION_RAO
7	B1	A4	0.3751057773829964	163.0	167.0	500
8	B2	A4	0.38132286602491605	117.0	121.0	500
6	B2	A1	0.3751308114685184	139.0	143.0	500
5	B3	D3	0.4162002173243641	113.0	117.0	500
4	B2	D2	0.38132327030033814	89.0	93.0	300
3	B2	D2	0.38238005470621766	79.0	83.0	300
2	B1	D1	0.4161630998075358	79.0	83.0	500

Tableau III.3.32 : Réponses des entreprises B1, B2 et B3

Le Tableau III.3.32 ci-dessus, montre que l'entreprise B1 se voit attribuer deux types de produits : le type 3 et le type 10. L'entreprise B2 se voit attribuer quatre types de produits : le type 4, le type 5, le type 7 et le type 12 et l'entreprise B3 traite le produit de type 6.

Par ailleurs, afin de pouvoir faire le conditionnement en papier les entreprises doivent avoir fabriqué l'emballage en papier et vu que l'entreprise B3 n'exerce pas cette activité, celle-ci doit lancer un AO pour la fabrication de l'emballage en papier pour le type 6. De plus et ayant leurs plannings pleins les deux entreprises B1 et B2 ne pourront pas réaliser la fabrication de l'emballage en papier pour tous les types de produit retenues par celles-ci. Ce qui les amènent elles aussi à lancer des AOs pour la fabrication de l'emballage en papier. L'entreprise B1 lance un AO pour la fabrication de papier pour le type 10 et l'entreprise B2 lance un AO pour la fabrication de papier pour le type 4. Au lancement de ces trois AOs l'entreprise E1 et l'entreprise E2 rentrent en phase de négociation (Cf le Tableau III.3.33 ci-dessous)

Lancement d'AOs pour la fabrication de l'emballage en papier (Fpap 4, Fpap 6, Fpap 10) :

Ai	E1			E2		
Client	B2	B3	B1	B2	B3	B1
AOi	Fpap4	Fpap6	Fpap10	Fpap4	Fpap6	Fpap10
I11	7	5	7	3	8	3
I12	172800	21600	216000	21600	172800	21600
I21	5	3	5	2	5	3
I22	900	500	1000	600	800	700
I31		0,9			0,9	
I32		2,1			2,1	
I33		0,88			0,88	
I41		0,92			0,92	
I42		0,9			0,9	
I51	4	10	6	9	5	10
I52	6	8	5	8	4	9

Tableau III.3.33 : Tableau d'indicateurs pour le type d'AO Fpap

	NUM_AO	EMMETEUR_RAO	EMMETEUR_AO	PERFORMANCE	DATE_ENGAGEMENT	DATE_REPONSE	FIN
1	4	E1	B3	0.37528511763562256	76.0	80.0	500
2	2	E2	B1	0.4161047315169558	76.0	80.0	500
3	3	E2	B2	0.3698576601697944	56.0	60.0	300

Tableau III.3.34 : Réponses des entreprises E1 et E2

Une fois le conditionnement en papier fait, les entreprises doivent à présent s'occuper de la sérigraphie pour les sept types de produits.

Lancement d'AOs pour la sérigraphie (Serig 3, Serig 4, Serig 6, Serig 10, Serig 12) :

La seule entreprise qui exerce la sérigraphie des trois entreprises : B1, B2 et B3 est l'entreprise B2. Néanmoins, l'entreprise B2 ne pourra pas faire la sérigraphie pour les quatre types de produits puisque son planning ne le permet pas. De ce fait, B2 lance deux AOs pour la sérigraphie pour le type 4 et le type 12. De même, l'entreprise B1 lance deux AOs du même type (Sérigraphie) pour les deux types : le type 3 et le type 10 et l'entreprise B3 lance un AO pour la sérigraphie du type 6. Les entreprises B2, M1 et M2 négocient donc pour répondre à ces AOs (Cf Tableau III.3.35).

Mi	M1					M2				
Client	B1		B2		B3	B1		B2		B3
AOi	Serig3	Serig10	Serig4	Serig12	Serig6	Serig3	Serig10	Serig4	Serig12	Serig6
I11	4	2	5	3	2	2	4	3	5	5
I12	172800	43200	172800	43200	43200	43200	129600	43200	129600	129600
I21	5	4	5	3	2	2	6	3	6	5
I22	800	400	900	400	500	400	900	500	900	1000
I31	0,9					0,9				
I32	2,1					2,1				
I33	0,88					0,88				
I41	0,92					0,92				
I42	0,9					0,9				
I51	10		9		8	10		10		7
I52	9		10		9	9		9		6

Tableau III.3.35 : Tableau d'indicateurs pour le type d'AO Serig

La simulation sur la maquette nous donne les résultats suivants:

	NUM_AO	EMMETEUR_RAQ	EMMETEUR_AO	PERFORMANCE	DATE_ENGAGEMENT	DATE_REPONSE	FIN_NEGOCIATION_RAQ
1	6	M1	B3	0.3695998639470162	97.0	101.0	300
2	5	M1	B2	0.3812495766903736	74.0	78.0	300
3	4	M2	B2	0.38192930756406573	64.0	68.0	400
4	3	M1	B1	0.4161220658157101	41.0	45.0	300
5	2	M2	B1	0.4161630998075358	41.0	45.0	300

Tableau III.3.36 : Réponses des entreprises M1 et M2

Récapitulatif

Le Tableau III.3.37 (ci-dessous) représente les entreprises qui lancent les AOs, les types d'AOs lancés et les entreprises fournisseurs qui se voient attribuer ces AOs à chaque lancement d'AOs.

Emetteur	Type AO	Fournisseur
Client1	Fcos 3	A1
	Fcos 4	A2
Client 2	Fcos 5	A2
	Fcos 6	A3
Client 3	Fcos 7	A1
Client4	Fcos 10	A4
	Fcos 12	A4
A1	Cts 3	D1
A2	Cts 4	D2
	Cts 5	D2
A3	Cts 6	D3
A1	Fver 7	D3
A4	Fver 10	D1
	Fver 12	D2
A4	Fplas 10	A1
	Fplas 12	C1
D1	Fplas 3	A1
D2	Fplas 4	C1
	Fplas 5	C2
D3	Fplas 6	C1
A4	Fplas 10	C3
	Fplas 12	C3
D1	Impr 3	M2
D2	Impr 4	M2
	Impr 5	M2
D3	Impr 6	M1
A1	Impr 7	M1
A4	Impr 10	M2
	Impr 12	M2
D1	Cpap 3	B1
D2	Cpap 4	B2
	Cpap 5	B2
D3	Cpap 6	B3
A1	Cpap 7	B2
A4	Cpap 10	B1
	Cpap 12	B2
B1	Fpap 10	E2
B2	Fpap 4	E2
B3	Fpap 6	E1
B1	Serig 3	M2
	Serig10	M1
B2	Serig 4	M2
	Serig 12	M1
B3	Serig 6	M1

Tableau III.3.37 : Récapitulatif des AO lancés et des fournisseurs associés

La Figure III.3.15, ci-dessous montre les nouvelles chaînes construites correspondant aux sept types de produits étudiés.

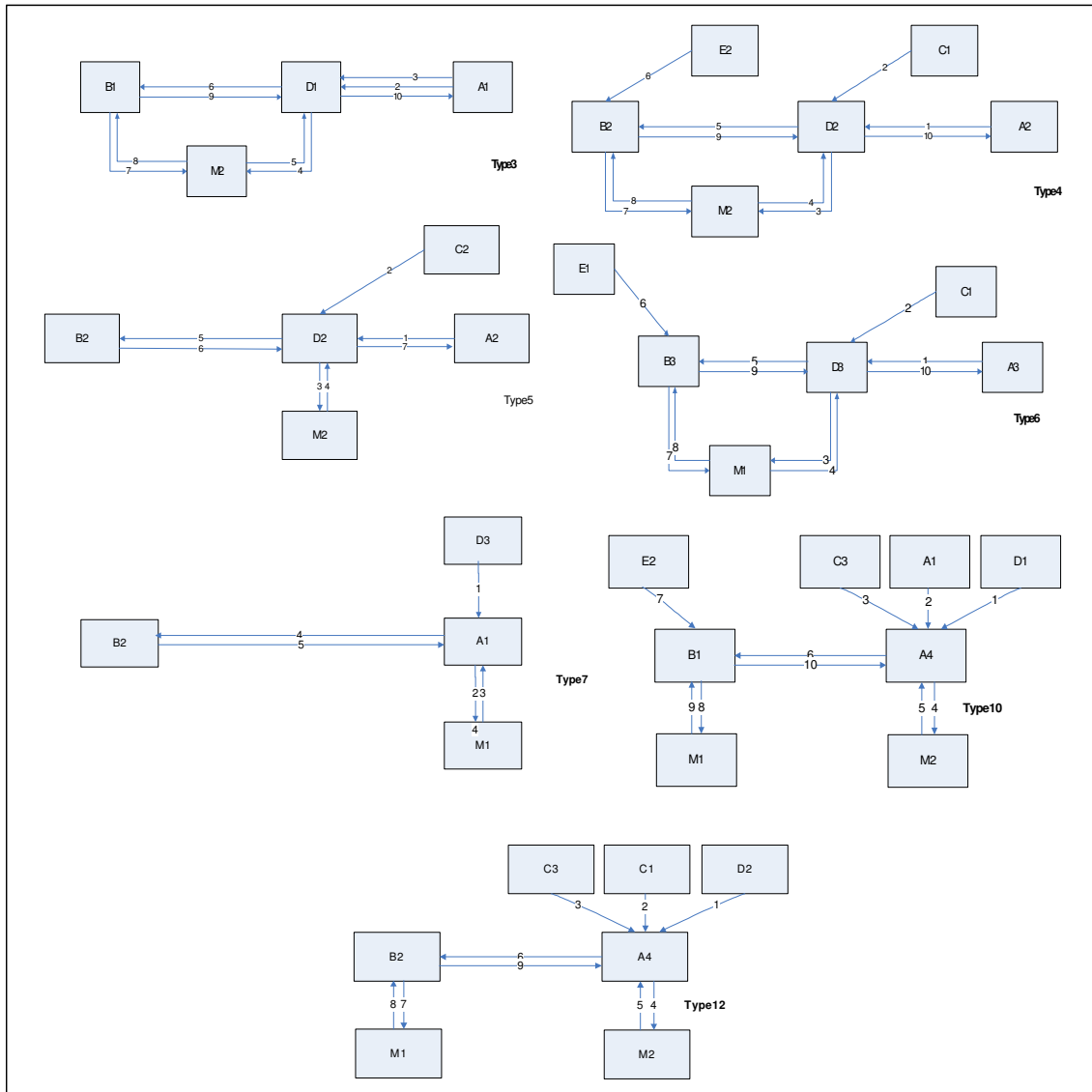


Figure III.3.15 : Représentation des nouveaux flux correspondant aux sept types du produit : 3, 4, 5, 6, 7, 10 et 12.

III.3.3.2.3 Comparaison des résultats (Approche classique / Approche auto-organisée)

Pour ce type de perturbation, nous avons axé notre étude sur les entreprises appartenant à plusieurs chaînes. Ce qui nous a amené à considérer sept types de produits (le type 3, le type 4, le type 5, le type 6, le type 7, le type 10 et le type 12). La perturbation consiste à augmenter la quantité commandée sur chacun des sept types de produit. Une première analyse du modèle classique nous a permis de mettre en évidence le dépassement de capacité au niveau des entreprises appartenant au flux de l'un des sept types concernés par la perturbation. Ce dépassement a entraîné des retards de livraison non seulement sur les sept types de produits mais aussi sur d'autres produits. Il y a donc eu des répercussions sur d'autres chaînes. La deuxième analyse consistait à apporter les mêmes perturbations dans le modèle correspondant à l'approche auto-organisée que nous proposons dans cette étude. Le but étant de comparer les résultats obtenus avec ceux obtenus. Pour cela, nous avons simulé le modèle ainsi perturbé sur

la maquette élaborée. Contrairement au modèle classique où les chaînes sont figées et où les clients ne lancent leurs commandes qu'auprès de leurs propres fournisseurs, dans le modèle auto-organisé que nous proposons, les clients lancent leurs AOs sur le réseau, puis les fournisseurs potentiels entrent en phase de négociation pour répondre au mieux aux attentes des clients. Ainsi les chaînes des sept produits se construisent au fur et à mesure en prenant en compte l'état réel des entreprises fournisseurs.

La construction de ces nouvelles chaînes se fait au fur et à mesure de l'attribution des AOs lancés aux fournisseurs ayant la meilleure performance pour cet AO. La meilleure performance sous entend d'une part, que le meilleur fournisseur prend l'Appel d'Offre sur lequel il est meilleur, ce qui garantit une meilleure satisfaction du client. D'autre part, une entreprise ne peut plus prendre d'Appel d'Offre si sa capacité maximale ne le lui permet pas, autrement dit, si son planning est plein. Ceci engendre un lissage des charges au sein de chaque entreprise et supprime le problème de retard dû au dépassement de capacité provoqué dans une approche classique, comme il a été expliqué plus haut.

Afin de bien montrer le lissage de la charge au niveau de chaque entreprise du jeu de donnée élaboré, nous avons représenté graphiquement, d'une part, la charge de chaque entreprise par rapport à sa capacité maximale (Cf paragraphe III.5.5 de l'Annexe III), d'autre part, nous avons présenté le taux d'occupation de chacune des entreprises étudiées dans chacune des deux approches. Sur la Figure III.3.16 ci-dessous nous avons présenté le taux d'occupation par rapport à la charge globale puis sur la Figure III.3.17, nous avons présenté le taux d'occupation de chacune des entreprises par rapport à leurs activités.

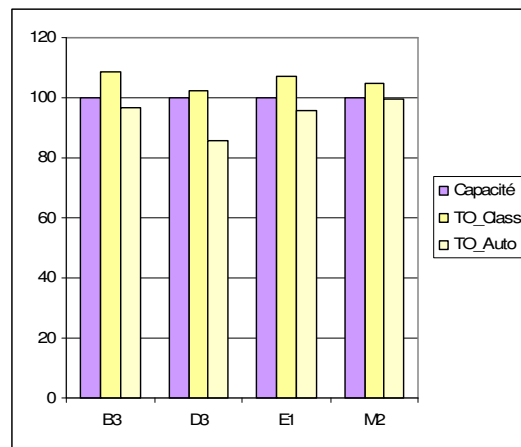


Figure III.3.16 : Taux d'occupation de B3, D3, E1 et M2

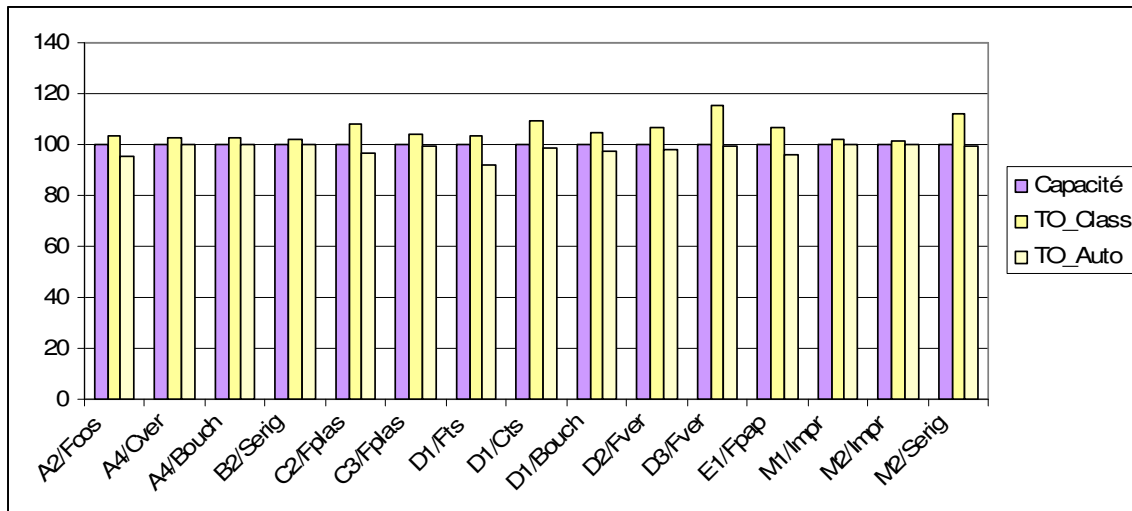


Figure III.3.17 : Taux d'occupation de A2, A4, B2, C2, C3, D1, D2, D3, E1, M1, et M2

Afin de mettre bien en avant les avantages de notre approche auto-organisée, nous avons choisi de rajouter un troisième type de perturbation. Ce troisième type porte sur l'injection de pannes dans certaines entreprises des sept chaînes considérées dans le deuxième type de perturbation, correspondant aux sept types de produits. Dans ce contexte, la section suivante présente une analyse critique des résultats de la simulation obtenus selon les deux différentes approches : l'approche classique et l'approche auto-organisée.

III.3.3.3 Perturbation de type 3 : Perturbation de type 2/pannes dans certaines entreprises

Dans le cadre de cette perturbation, nous avons associé la caractéristique de panne à certaines entreprises du deuxième type de perturbation. L'objectif est d'étudier la réactivité du système proposé dans cette étude. Nous avons volontairement identifié des période de pannes qui ne perturbent pas le fonctionnement classique (modèle Arena). Nous avons fait en sorte que les produits étaient traités avant que l'entreprise en question ne tombe en panne. Nous avons donc, supposé que les trois entreprises : D2, E1 et E2 tombaient en panne une seule fois, au cours de la semaine. L'entreprise D2 tombe en panne par rapport à l'activité Cts (Conditionnement en tubes souples) pendant 30 minutes, l'entreprise E1 tombe en panne pendant 5 h et l'entreprise E2 tombe en panne pendant 2h. De la même façon que dans les deux types de perturbations précédentes, nous avons d'abord simulé le modèle Arena correspondant à l'approche classique puis nous avons implémenté le modèle perturbé sur la maquette. Au vu de ces deux types de simulation, nous présentons dans les paragraphes suivants les résultats obtenus.

III.3.3.3.1 Simulation du modèle Arena : approche classique

Les résultats obtenus dans une première simulation du modèle Arena ainsi perturbé correspondent aux résultats obtenus dans le deuxième type de perturbation et cela, conformément à nos attentes. En effet, les pannes injectées dans les trois entreprises n'ont pas influencé les produits transitant par les flux dont l'une ou plus des trois entreprises font partie.

III.3.3.3.2 Simulation du modèle sur la maquette : approche auto-organisée

Comme pour le deuxième type de perturbation, les AOs sont lancés selon leurs processus de fabrication. Afin de mettre en évidence la différence entre les résultats obtenus à partir des

deux types de perturbation, nous présentons dans le paragraphe suivant une description détaillée des résultats obtenus au niveau de ce troisième type de perturbation.

Lancement d'AOs pour la fabrication de produits cosmétiques :

Les résultats obtenus à ce niveau, sont identiques à ceux obtenus au cours du deuxième type de perturbation.

Lancement d'AOs pour le conditionnement en tubes souples :

La différence entre les résultats obtenus dans cette perturbation avec ceux obtenus dans la perturbation précédente apparaît au lancement des AOs pour le conditionnement en tubes souples pour les produits des types suivants : type 3 lancé par l'entreprise A1, types 4 et 5 lancés par l'entreprise A2 et le type 6 lancé par l'entreprise A3. A ce niveau et au vu de sa panne qui est de 30 mn au cours de la semaine sur l'activité Cts, l'entreprise D2 ne peut traiter que le produit de type 5, cependant l'entreprise D3 se voit attribuer le type 4 et le type 6. En effet, ayant pris le produit de type 5 la charge de l'entreprise D2 passe de 8,83333h à 9,9444h. Notons par ailleurs que la capacité maximale de l'entreprise D2 par rapport à l'activité Cts est de 10h.

Contrairement à l'entreprise D2, les deux autres entreprises D1 et D3 n'ont aucun problème de panne. De ce fait, l'entreprise D3 se voit attribuer le traitement du produit de type 4. La question qui se pose dans ce cas est la suivante : pourquoi D3 et non pas D1 ?

La réponse à la question soulevée ci-dessus est liée aux poids que l'entreprise cliente A2 a associé aux différents critères. Tel que nous l'avons expliqué dans le paragraphe II.3 du chapitre II, les poids ainsi affectés influencent le calcul de la performance de l'entreprise fournisseur. En effet, d'une part, nous avons les poids associés par l'entreprise cliente A2 qui donnent plus d'importance aux trois critères délai, coût et stratégique (P1=0.25, P2=0.25, P5=0.2); et un peu moins d'importance aux deux autres critères qualité et fiabilité (P3= 0.15 et P4=0.15) ; d'autre part, à partir du Tableau III.3.24, l'entreprise D3 apparaît plus performante par rapport aux critères délai et de stratégique, contrairement à l'entreprise D1 qui apparaît moins bonne sur les critères délai et stratégique mais plus performante en terme de coût. Ce qui explique l'attribution de l'AO Cts4 à l'entreprise D3 au lieu de l'entreprise D1.

Les résultats de la simulation obtenus à ce niveau sont présentés dans le Tableau III.3.38, ci-dessous :

	NUM_AO	EMMETEUR_RAQ	EMMETEUR_AQ	PERFORMANCE	DATE_ENGAGEMENT	DATE_REPONSE	FIN_NEGOCIATION_RAQ
1	5	D3	A3	0.3814369494691497	85.0	89.0	500
2	4	D3	A2	0.369484582662653	62.0	66.0	500
3	2	D1	A1	0.4161389260904883	52.0	56.0	300
4	3	D2	A2	0.3696014847527560	52.0	56.0	500

Tableau III.3.38 : Réponses des entreprises D3, D2 et D1 pour le type d'AO Cts

Lancement d'AOs pour La fabrication d'emballage en verre :

Les résultats obtenus sont identiques à ceux obtenus au cours du deuxième type de perturbation.

Lancement d'AOs pour la fabrication de produits plastiques (pour l'assemblage) :

Les résultats obtenus sont identiques à ceux obtenus au cours du deuxième type de perturbation.

Le lancement d'AOs pour la Fabrication de produits plastiques :

Etant donné que l'entreprise D3 traite les deux types de produits : le type 4 et le type 6, cette dernière lance deux AOs pour la fabrication de produits plastiques pour pouvoir faire le bouchage pour les deux types de produits. De même, l'entreprise D2 lance un AO pour la fabrication de produits plastiques pour pouvoir faire le bouchage du produit de type 5, l'entreprise D1 lance un AO pour la fabrication de produits plastiques pour le produit de type 3 et l'entreprise A4 lance deux AOs pour la fabrication de produits plastiques pour les deux types de produits : le type 10 et le type 12.

Le TABLEAU III.6.1 de l'Annexe III, représente les valeurs des indicateurs renseignés avant le lancement des AOs pour la fabrication de produits plastiques.

Notons par ailleurs, que les mêmes valeurs ont été utilisées dans le deuxième type de perturbation. Bien évidemment, nous avons travaillé sur les mêmes valeurs de poids renseignées dans le cas du deuxième type de perturbation.

Le Tableau III.3.39, ci-dessous représente les résultats de la simulation obtenus sur la maquette pour la fabrication de produits plastiques :

	NUM_AD	EMMETEUR_RA0	EMMETEUR_AD	PERFORMANCE	DATE_ENGAGEMENT	DATE_REPONSE	FIN_NEGOCIAION_RA0
1	7	C3	A4	0.4106138143964192	127.0	131.0	500
2	6	C3	A4	0.4105969888866308	117.0	121.0	500
3	5	C1	D3	0.4106764553549716	95.0	99.0	500
4	4	C1	D3	0.4109920686789123	85.0	89.0	500
5	2	A1	D1	0.4161389260904883	62.0	66.0	500
6	3	C2	D2	0.38132246295406064	62.0	66.0	500

Tableau III.3.39 : Réponses des entreprises C3, C2, C1 et A1 pour le type d'AO Fplas

Le lancement d'AOs pour l'impression :

Après avoir lancé les AOs pour la fabrication de produits plastiques, les entreprises vont devoir lancer des AOs pour l'impression. Les valeurs des différents indicateurs ainsi que les poids renseignés correspondent aux valeurs utilisées dans la perturbation de type 2. Le TABLEAU III.6.3 de l'Annexe III représente les différentes valeurs des indicateurs.

Les résultats obtenus correspondent aux résultats obtenus dans la perturbation précédente (Cf Tableau III.3.40)

	NUM_AD	EMMETEUR_RA0	EMMETEUR_AD	PERFORMANCE	DATE_ENGAGEMENT	DATE_REPONSE	FIN_NEGOCIAION_RA0
1	7	M2	A4	0.3751599087452896	144.0	148.0	500
2	8	M2	A4	0.37544458787202206	154.0	158.0	500
3	3	M2	D2	0.3753341520545704	137.0	141.0	500
4	5	M2	D3	0.37254591236933066	115.0	119.0	500
5	4	M1	D3	0.4162007354840833	105.0	109.0	500
6	2	M2	D1	0.4161634339436853	74.0	78.0	500
7	6	M1	A1	0.3693266008003053	74.0	78.0	500

Tableau III.3.40 : Réponses des entreprises M1 et M2 pour le type d'AO Impr

Dans cette perturbation, l'entreprise D3 a lancé deux AOs pour l'impression correspondants aux deux types de produits : le produit de type 6 et le produit de type 4. Le premier a été attribué à l'entreprise M1 et le deuxième type a été attribué à l'entreprise M2.

Sur le TABLEAU III.6.3 de l'Annexe III, nous pouvons noter que l'entreprise M1 est plus performante que l'entreprise M2 sur le produit de type 4 ; néanmoins l'entreprise M1 atteint pratiquement sa capacité maximale avec le traitement des deux types de produits : le type 7 et

le type 6 et donc elle ne peut traiter le produit de type 4. En effet, la charge de l'entreprise M1 passe à 136.71 h, alors que sa capacité maximale est de 138 h.

Une fois l'impression faite, les entreprises vont devoir lancer des AOs pour le conditionnement en papier.

Le lancement d'AOs pour le conditionnement en papier :

L'entreprise D3 lance deux AOs pour le conditionnement en papier, pour les deux types de produits: le type 6 et le type 4, alors que l'entreprise D2 va lancer un AO pour le produit de type 5. Le TABLEAU III.6.2 de l'Annexe III représente les valeurs des indicateurs renseignées dans notre maquette, ces valeurs sont identiques à celles renseignées dans le deuxième type de perturbation.

La simulation sur la maquette nous a donné le résultat suivant :

	NUM_AO	EMMETEUR_RAD	EMMETEUR_AO	PERFORMANCE	DATE_ENGAGEMENT	DATE_REPONSE	FIN_NEGOCIATION_RAD
1	8	B3	D3	0.4162002173243641	172.0	176.0	500
2	7	B3	D3	0.4161630998075358	162.0	166.0	500
3	6	B2	A1	0.3751308114685184	130.0	134.0	500
4	3	B1	A4	0.3751057773829964	100.0	104.0	500
5	5	B2	D2	0.38132327030033814	100.0	104.0	500
6	4	B2	A4	0.38132286602491605	70.0	74.0	500
7	2	B1	D1	0.4161630998075358	60.0	64.0	500

Tableau III.3.41 : Réponses des entreprises B3, B2 et B1 pour le type d'AO Cpap

Les résultats obtenus ci-dessus montrent que le produit de type 4 a été attribué à l'entreprise B3, alors que le même produit avec la même quantité a été attribuée à l'entreprise B2 dans la perturbation précédente. Notons par ailleurs qu'aucune panne n'a été injectée dans l'entreprise B2. Cependant, l'attribution du produit de type 4 à l'entreprise B3 s'explique par le fait que l'entreprise cliente étant cette fois-ci D3 et non pas D2. De ce fait, les valeurs des poids associées aux différents critères ne sont plus les mêmes.

Tel que nous l'avons expliqué dans les deux précédents types de perturbations, pour faire le conditionnement en papier, les entreprises B1 et B2 vont devoir lancer des AOs pour la fabrication de papier.

Lancement d'AOs pour la fabrication de papier :

Les deux entreprises B1 et B3 n'exercent pas l'activité de fabrication de papier, contrairement à l'entreprise B2 qui s'occupe, elle-même de la fabrication de papier. Au lancement des AOs pour la fabrication de papier, les trois entreprises E1, E2 et B2 rentrent en négociation (Cf Tableau III.3.42).

Ai	E1			E2			B2		
Client	B3		B1	B3		B1	B3		B1
AOi	Fpap4	Fpap6	Fpap10	Fpap4	Fpap6	Fpap10	Fpap4	Fpap6	Fpap10
I11	7	5	7	3	8	3	6	8	6
I12	172800	21600	216000	21600	172800	21600	345600	345600	345600
I21	5	3	5	2	5	3	5	5	6
I22	900	500	1000	600	800	700	900	800	1000
I31	0,9			0,9			0,9		
I32	2,1			2,1			2,1		
I33	0,88			0,88			0,88		
I41	0,92			0,92			0,92		
I42	0,9			0,9			0,9		
I51	10		6	5		10	4		5
I52	8		5	4		9	5		6

Tableau III.3.42 : Tableau d'indicateurs pour le type d'AO Fpap

Le Tableau III.3.43, ci-dessous, représente les résultats de la simulation :

	NUM_AO	EMMETEUR_RA0	EMMETEUR_AO	PERFORMANCE	DATE_ENGAGEMENT	DATE_REPONSE	FIN_NEGOCIAION_RA0
1	4	E2	B3	0.3333401812572197	42.0	46.0	500
2	2	E2	B1	0.4161047315169558	32.0	36.0	500
3	3	E1	B3	0.37528511763562256	42.0	46.0	500

Tableau III.3.43 : Réponses des entreprises B3, B2 et B1 pour le type d'AO Fpap

Rappelons que des pannes ont été injectées dans les deux entreprises E1 et E2 ; néanmoins, contrairement à l'entreprise D2, les résultats obtenus sont identiques à ceux obtenus dans le deuxième type de perturbation. Ceci s'explique par le fait que les pannes injectées n'étaient pas trop importantes et les deux entreprises restent toujours performantes sur les mêmes AOs traités dans la perturbation de type 2.

Lancement d'AOs pour la sérigraphie :

Les résultats obtenus sont identiques à ceux obtenus au cours du deuxième type de perturbation.

Les résultats obtenus par la simulation au niveau de la maquette ont été représentés au niveau de chaque entreprise étudiée dans cette perturbation sous forme de courbe mettant en évidence une superposition de sa charge avec sa capacité maximale. Nous avons pu constater, que contrairement au fonctionnement classique, un changement de comportement du système que nous proposons, suite aux perturbations pouvant survenir au niveau des entreprises du réseau, a été observé. Le système est donc sensible aux variations et est réactif comme le montre les résultats représentés sur la FIGURE III.6.1 de l'Annexe III représentant les courbes de lissage de charge au niveau de chacune des entreprises concernées.

III.4 Conclusion

Après avoir présenté les modèles DEVS-EPA élaborés, nous avons présenté leur intégration dans l'environnement de simulation distribuée HLA. Dans cette perspective et partant des principes de base de HLA et des principes de synchronisation entre les fédérés, nous avons défini dans un premier temps, les tables FOM (File Object Model) et les tables SOM (Simulation Object Model) ainsi qu'une hiérarchie de classes adéquates. Dans un deuxième temps, nous avons développé une maquette de simulation. Dans cette dernière, les modèles DEVS-EPA s'exécutent selon les principes de DEVS, assurant ainsi un échange cohérent de données tout en respectant les principes de causalité. Dans le but de valider par simulation

l'approche proposée, nous avons présenté une étude comparative entre l'approche auto-organisée et l'approche classique. En effet, trois types de perturbation ont été étudiés dans les deux approches afin de pouvoir comparer les résultats de simulation obtenus. Pour cela, nous avons été amené, dans un premier temps, à élaborer un jeu d'essai qui consiste en la construction d'un réseau composé de 17 entreprises, réparties sur six activités principales (Cf TABLEAU III.4.1 de l'Annexe III). Le jeu d'essai ainsi élaboré a été ajusté de manière à ce que de petites perturbations (l'augmentation des quantités commandées par le client à son entreprise fournisseur) vis-à-vis du fonctionnement nominal génèrent de fortes perturbations organisationnelles dans l'écoulement des flux (blocage, saturation). Dans un deuxième temps et afin de pouvoir par la suite simuler dans un contexte classique, nous avons associé à ce jeu d'essai un modèle de simulation Arena.

Les résultats obtenus nous ont permis de mettre en avant les apports de l'approche que nous proposons. En effet, par le biais des représentations graphiques réalisées pour chaque type de perturbation au niveau de chaque entreprise concernée par la perturbation, et par la mise en évidence d'une superposition de la capacité et de la charge de chaque entreprise, nous avons pu observer un équilibre et un lissage de charge au niveau de toutes les entreprises du réseau considéré. En effet, contrairement aux résultats obtenus dans l'approche auto-organisée, les courbes correspondantes à l'approche classique montrent un dépassement de capacité au niveau de la plupart des entreprises considérées dans cette étude. Les dépassements de capacité ainsi engendrés se répercutent de façon directe sur les autres produits de la chaîne et/ou des autres chaînes.

Conclusion et perspectives

L'étude présentée dans ce mémoire rentre dans le cadre du pilotage d'un réseau logistique par la dynamique des relations Clients/Fournisseurs. Notre contribution a pour objectif d'assurer collectivement la répartition des ordres venant des différents clients tout en respectant les intérêts de chacun, dans un climat où règne à la fois l'autonomie et la confiance, afin d'obtenir un équilibre entre charge et capacité au niveau d'un fournisseur et un lissage de charge entre les différents fournisseurs du réseau. Pour cela, nous avons proposé une nouvelle approche de pilotage de réseau logistique. L'approche proposée est basée sur un modèle de pilotage auto-organisé pour lequel le système de décision gère le fonctionnement d'un ensemble d'entités faisant partie d'un partenariat. Dans cette approche, les partenaires (Clients/Fournisseurs), communiquent via Internet, négocient selon un protocole d'interaction pour répondre au mieux aux attentes des clients et pour exploiter au mieux les capacités des fournisseurs. Pour ce faire nous avons muni chaque fournisseur d'un centre de décision nommé « Entité de Pilotage Autonome » (EPA), qui lui permet de s'auto-évaluer face aux Appels d'Offres reçus pour pouvoir participer à la négociation et prendre part à l'élaboration et à l'évaluation de solutions, en l'absence de hiérarchie. Le pilotage auto-organisé et décentralisé sur lequel repose notre approche se caractérise par une architecture organisationnelle du type flat holonic form. Pour la description de notre flat holonic form, nous nous sommes appuyés sur l'architecture de référence PROSA. Dans cette architecture, le rôle fondamental des EPAs consiste à gérer la totalité des échanges d'information dans le réseau reliant les différentes entités et à organiser l'enchaînement des traitements de ces informations qui aboutissent aux différentes prises de décision. En fait, les EPAs sont au cœur des relations entre les holons de base du modèle PROSA :

- les *Product Holons*, qui donnent un descriptif technique des produits manufacturés,
- les *Resource Holons*, qui correspondent aux entreprises du réseau de partenariat logistique, et qui outre les capacités de l'EPA à assurer son propre pilotage, comportent les caractéristiques sur sa capacité de production,
- les *Order Holons*, qui représentent l'aspect organisationnel des tâches à effectuer sur les produits manufacturés par les ressources.

Toutes les informations nécessaires à l'évaluation de performances par l'EPA se trouvent dans les différents holons. Chaque EPA a des échanges privilégiés au sein du Resource Holon (RH) auquel elle est associée. Le Resource Holon fournit par exemple des informations sur son planning prévisionnel, sa capacité... Par ailleurs, les données liées aux Order Holons (OH) et aux Product Holons (PH) circulent sur le réseau via les Appels d'Offres (AOs). Au cours de leur parcours dans le système de production, les produits sont associés aux Product Holons qui les décrivent. La progression sur ce parcours est gérée par l'évolution des Order Holons, qui déclenchent les tâches de production. En résumé, les EPA pilotent les Resource Holons en assurant l'affectation des Order Holons qui concernent la production des Product Holons. Cette entité de pilotage est composée de trois modules : le module Interaction, le module Optimisation et le module planning.

Dans l'approche que nous proposons, lorsqu'un client lance un Appel d'Offre (AO), ce dernier sera muni des informations définies par le client, telles que le nom de l'entité émettrice, la description du travail à effectuer sur le produit, la quantité désirée, la date de fin de négociation, le délai de livraison... Toutes les EPAs qui sont connectées au réseau vont réceptionner cet AO. Une fois l'AO reçu par une EPA, le module Interaction va vérifier la faisabilité de l'AO en terme de métier et procède ensuite à la transmission des caractéristiques de l'Appel d'Offre au module Optimisation. Le module Optimisation permet d'obtenir un

classement de tous les Appels d'Offres reçus, selon la capacité du système de production associé à l'EPA, par l'application de la méthode multicritères Analytic Hierarchy Process (AHP). La méthode multicritères AHP est basée sur un ensemble de critères qualitatifs et quantitatifs. Certains de ces critères sont définis par le client à travers l'AO lancé, d'autres sont paramétrés par des caractéristiques propres au fournisseur. Parmi les critères qui sont définis par le fournisseur figure la date de réalisation de cet Appel d'Offre au niveau du système de production. Cette donnée dépend de l'état du planning de charges et la disponibilité des équipements. Nous avons alors proposé d'obtenir cette donnée par l'exécution d'une méthode analytique au niveau du module Planning qui est basée sur l'étude de la possibilité d'insertion de cet AO au niveau du planning. Ainsi, le résultat de cette méthode est transmis au module Optimisation pour qu'il puisse achever l'application de la méthode multicritères. Le module Interaction compare alors cette performance par rapport à la meilleure réponse proposée sur le réseau concernant cet AO puis l'envoie sur le réseau si elle est meilleure. Ainsi dans l'approche auto-organisée que nous avons proposé, les chaînes logistiques se construisent au fur et à mesure des lancements des Appels d'Offres sur ce réseau.

Contrairement au fonctionnement de réseaux logistiques auto-organisés que nous proposons, le fonctionnement de réseaux logistiques actuels est basé sur une approche classique au sens où les clients lancent leurs Appels d'Offres auprès de leurs propres fournisseurs. Les fournisseurs connaissent par avance leurs clients et leurs commandes qui sont supposées fixes et inchangées. En résumé, les réseaux logistiques de nos jours sont construits autour de chaînes logistiques linéaires et figées.

Notons, que dans cette approche les clients sont contraints par leurs fournisseurs et les fournisseurs sont contraints par leurs clients. En effet, si un dysfonctionnement survient au niveau d'une entreprise fournisseur (en raison de pannes de machines ou de grève par exemple), le client voit arriver sa commande avec du retard imprévu. De même, si le client souhaite avoir une quantité supplémentaire auprès de son fournisseur, ce dernier peut ne pas être en mesure de satisfaire son client en raison, d'un dépassement de capacité que cette commande peut lui générer et qui sera éventuellement répercuté sur l'ensemble des entreprises (fournisseurs) impliquées dans la réalisation du produit en question. Ainsi, la dégradation de la relation Client/ Fournisseur au niveau de l'approche classique peut être la conséquence d'un simple comportement opportuniste d'un des deux partenaires (client ou fournisseur) ou des deux partenaires (client et fournisseur).

Dans le but de valider l'approche de pilotage auto-organisé par une simulation, nous avons dans un premier temps, modélisé l'EPA par le formalisme DEVS. Dans un deuxième temps, les modèles DEVS élaborés ont été intégrés dans un environnement de simulation distribué HLA, ce qui nous a permis de réaliser une maquette de simulation permettant la simulation de l'approche auto-organisée. Ensuite, pour pouvoir mettre en avant les apports de cette approche, une comparaison avec l'approche classique s'est avérée indispensable. Pour cela, nous avons été amenés dans un premier temps, à élaborer un jeu de données. Le jeu de données a été ajusté de manière à ce que de petites perturbations (l'augmentation des quantités commandées par le client à son entreprise fournisseur) vis-à-vis du fonctionnement nominal génèrent de fortes perturbations organisationnelles dans l'écoulement des flux (blocage, saturation). A ce jeu de données, nous avons élaboré un modèle de simulation Arena en considérant l'approche classique. Dans un deuxième temps, le même réseau (même capacité de production, mêmes produits traités) a été implémenté sur la maquette de pilotage auto-organisé du réseau sous l'environnement de simulation HLA. Dans un troisième temps, nous avons procédé à l'étude de l'influence des perturbations introduites dans le modèle Arena

correspondant à l'approche classique et dans le modèle auto-organisé au niveau de la maquette. Cette étude s'est focalisée sur trois types de perturbations :

- Le premier type, porte sur l'introduction d'une perturbation dans les entreprises exerçant le plus d'activités. La perturbation a porté sur le lancement de commande sur des lots supplémentaires par les clients des entreprises en question, sur l'horizon d'une même semaine.
- Dans le second type de perturbation, nous nous sommes intéressés aux entreprises impliquées dans la réalisation de plusieurs produits. Dans le même contexte que le premier type de perturbation, nous avons supposé qu'au cours d'une même semaine, les entreprises fournisseurs reçoivent des commandes sur des lots supplémentaires de la part de leurs clients.
- Enfin, dans le troisième type de perturbation, nous sommes partis du deuxième type de perturbation auquel nous avons associé (à certaines des entreprises) la caractéristique de panne.

Une comparaison des résultats ainsi obtenus au niveau de chaque type de perturbation nous a permis de mettre en avant les apports de l'approche que nous proposons. En effet, par le biais des représentations graphiques réalisées pour chaque type de perturbation et pour chacune des approches (classique/auto-organisée) au niveau de chaque entreprise concernée par la perturbation, et par la mise en évidence d'une superposition de la capacité et de la charge de chaque entreprise, nous avons pu observer un équilibre et un lissage de charge au niveau de toutes les entreprises du réseau considéré. Les courbes correspondantes à l'approche classique montrent un dépassement de capacité au niveau de la plupart des entreprises considérées dans cette étude. Les dépassements de capacité ainsi engendrés se répercutent de façon directe sur la livraison de certains produits. En effet, à travers une analyse de ces résultats nous avons pu mettre en évidence que certains produits étaient livrés tardivement auprès de leurs clients.

Comme perspective de cette étude, il serait intéressant d'étudier la performance du réseau logistique auto-organisé dans sa globalité. Pour cela, il sera nécessaire de mettre en place des tableaux de bord pour l'évaluation de la performance du réseau de partenariat. Pour se faire, il faudra analyser l'ensemble des messages circulant sur le RTI. Nous pouvons prévoir un fédéré observation faisant partie du réseau logistique dont le rôle sera limiter à la collecte des messages circulant sur le réseau (AO, RAO, etc.), puis évaluer la performance du réseau par l'analyse des indicateurs suivants, décomposé en quatre sous-groupes, comme le montrent la Figure 1 et la Figure 2 ci-dessous :

- ✓ Indicateurs spécifiques à une EPA :
 - Niveau interne :
 - (1) Nombre d'AOs lancés par entité.
 - (2) Nombre d'AOs traités pour une entité par rapport aux AOs lancés : nombre d'AOs traités pour une entité par les autres entreprises).
 - (3) Temps moyen de réponse aux AOs lancés pour une entité.
 - Niveau Externe :
 - (4) Nombre d'AOs reçus par entité.
 - (5) Nombre de réponses aux AOs (RAOs) effectuées par entité.
 - (6) Nombre de RAOs traitées par entité.
 - (7) Temps moyen de RAOs par entité : temps moyen de réponse de l'entité aux AOs qu'elle reçoit).

- ✓ Indicateurs spécifiques à un AO :
 - (8) Nombre de RAOs par AOs lancés : nombre de réponses à un AO.
 - (9) Etat de l'AO.
 - (10) Temps de réponse à un AO spécifique : temps moyen de réponse à l'AO.

- ✓ Indicateurs spécifiques au réseau :
 - (11) Nombre d'AOs lancés sur le réseau.
 - (12) Nombre de RAOs présents sur le réseau.
 - (13) Nombre d'AOs en attente : nombre d'AOs ayant comme état 'négociable'.

- ✓ Journal :
 - Affiche de la totalité des AOs et RAOs circulant sur le réseau (nom, numéro, émetteur, date de fin de négociation, ...).
 - Nom des entités qui se connectent.

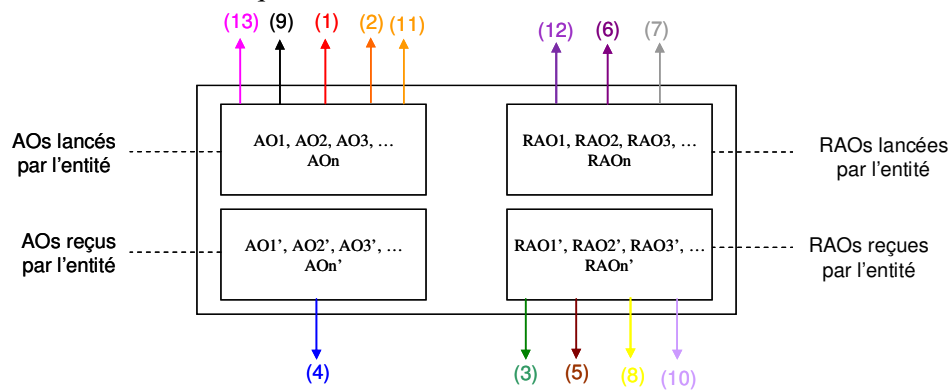


Figure 1 : Entrées / Sortie d'une entité observation

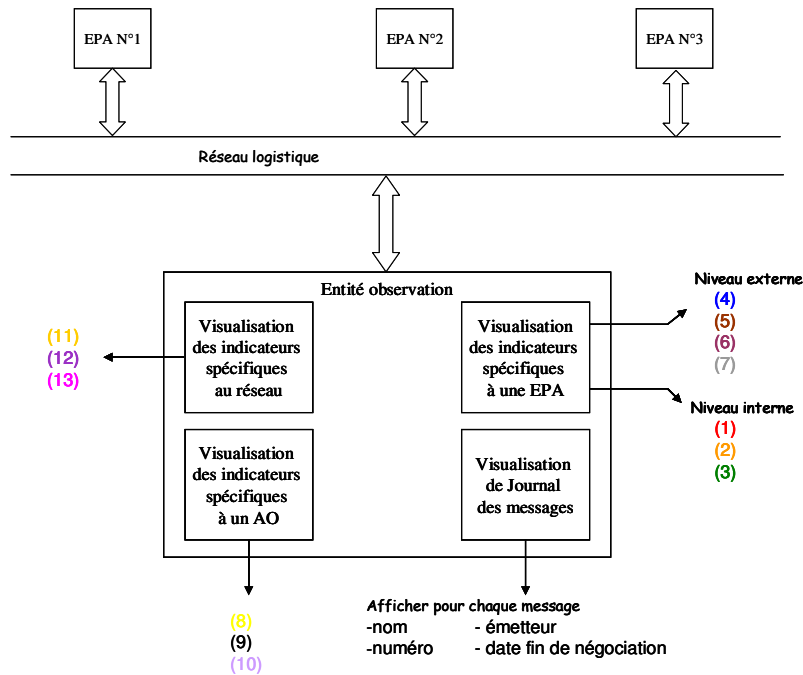


Figure 2 : Représentation d'un réseau muni de l'entité observation

Ce travail effectué, il nous sera possible de déployer la proposition sur un cas industriel. En effet, il est possible via HLA de pouvoir réaliser des simulations parallèlement à un fonctionnement réel, comparer et valider l'approche proposée définitivement.

Bibliographie

- [Adelantado *et al*, 05] Adelantado. M, Mauget. R, Herve. C, Kam. L et Igarza. J. L, "*Guide HLA V0*", Dans le projet : Etude, Mise en place et Maintenance d'une Capacité de Certification HLA, Janvier 2005.
- [AFNOR, 00] Normes qualité ISO 9000, Edition AFNOR, 2000.
- [Aguazzoul, 05] Aguezzoul. A, "*Prise en compte des politiques de transport dans le choix des fournisseurs*", Thèse de l'Institut National Polytechnique de Grenoble, Septembre 2005.
- [Akbari Jokar, 01] Akbari Jokar. M. R, "*Sur la conception d'une chaîne logistique (Une approche globale d'aide à la décision)*", Thèse de l'Institut National Polytechnique de Grenoble, Décembre 2001.
- [Akbari Jokar *et al*, 02] Akbari Jokar. M. R, Dupont. L et Frein.Y, "*Evolution du concept de logistique*", Revue française de gestion industrielle, vol 21, n°3, pp 6-22, 2002.
- [Aniorté *et al*, 06] Aniorté. P, Cariou. E et Gouardères. E, "*Modélisation de systèmes complexes distribués : l'ingénierie des modèles pour l'intégration des paradigmes "agent" et "composants"*", Journée Multi-Agent et Composant (JMAC), pp 16-26, Nîmes, 2006.
- [Aouni, 98] Aouni. B, "*Le modèle de programmation mathématique avec buts dans un environnement imprécis : sa formulation, sa résolution et une application*", Thèse de l'université de LAVAL Québec, Février 1998.
- [Arnaldi, 04] Arnaldi. F, "*Evaluation de la performance d'un système de production: application au choix des fournisseurs au sein d'un réseau logistique auto-organisé*", Master Recherche MCAO (LSIS), Juin 2004.
- [ASLOG, 03] ASLOG, Référentiel de la performance logistique, Edition ASLOG, 2003.
- [Azevedo et Sousa, 00] Azevedo. A. L et Sousa. J. P, "*A component- based approach to support order planning in a distributed manufacturing enterprise*", Journal of Materials Processing Technology, vol. 107, pp 431-438, 2000.
- [Baker, 98] Baker. A. D, "*A survey of factory control algorithms that can be implemented in a multi- agent heterarchy: dispatching, scheduling, and pull*", Journal of Manufacturing Systems, vol. 17, n°4, pp. 297- 320, 1998.
- [Baptiste, 03] Baptiste. F, "*Une architecture logicielle pour la multi-modélisation et la simulation à évènements discrets de systèmes naturels complexes*", Thèse de l'Université de Corse-Pasquale Paoli U.F.R. Sciences et Techniques, Décembre 2003.
- [Barbarosoglu et Yazgac, 97] Barbarosoglu. G et Yazgaç. T, "*An application of the analytical hierarchy process to the supplier selection problem*", Production and Inventory Management Journal, vol 38, n°1, pp 14-21, 1997.
- [Barthélemy et Lema, 05] Barthélemy. J. P et Lema. P, "*Progrès en Aide Multicritère à la décision*", Groupe des écoles des télécommunications ENST, Bretagne, pp 67- 82, 2005.
- [Ben Mena, 00] Ben Mena. S, "*Introduction aux méthodes multicritère d'aide à la décision*", Biotechnol. Agron. Soc. Environ, pp 83-93, 2000.
- [Berchet, 00] Berchet. C, "*Modélisation pour la simulation d'un système d'aide au pilotage industriel*", Thèse de Doctorat, Institut National Polytechnique de Grenoble, Décembre 2000.

- [Berrah et Vernadat, 02] Berrah L, Vernadat F, "*Perception et évaluation de la production, approche de la performance dans le pilotage*", Pilotage des systèmes de production, Eds. J. P. Kieffer et P. Pujó, Editions Hermès, pp 181-203, 2002.
- [Bisignano et Palermo, 03] Bisignano. A et Palermo. O, "*Fight environmental hostility! How negociation can govern firm-institutions relationships*", 19th annual Industrial Marketing and Purchasing Conference, University of Lugano, Switzerland, 4th - 6th September 2003.
- [Bongaerts *et al*, 00] Bongaerts. L, Monostori. L, McFarlane. D, Kadar. B, "*Hierarchy in distributed shop floor control*", Computers In Industry, vol 43, pp 123-137, 2000.
- [Bouchriha, 02] Bouchriha. H, "*Faire ou faire –faire dans la conception d'une chaîne logistique : un outil d'aide à la décision*", Thèse du Laboratoire d'Automatique de Grenoble
- [Boufaied, 03] Boufaied. A, "*Contribution à la surveillance distribuée des systèmes à événements discrets complexes*", Thèse de l'université Paul Sabatier de Toulouse, Décembre 2003.
- [Brito et Roseira, 03] Brito. C. M, Roseira. C, "*A Model for the Understanding of Supply Chain Networks*", 19th annual Industrial Marketing and Purchasing Conference, University of Lugano, Switzerland, 4th- 6th September 2003.
- [Brun et Portioli-Staudacher, 00] Brun. A et Portioli-Staudacher. A, "*Negotiation-driven supply chain co-ordination for small and medium enterprises*", Agent Technologies and Their Application Scenarios in Logistics - 14th European Conference on Artificial Intelligence, ECAI Workshop Notes, Berlino, 20-25 Agosto 2000.
- [Burlat et Boucher, 01] Burlat. P et Boucher. X, "*Pilotage distribué des groupements d'entreprises – modélisation et perspectives*", Journal Européen des Systèmes Automatisés, vol. 35, n°7- 8, pp 991-1018, 2001.
- [Burlat, 04] Burlat. P, "*La modélisation des réseaux d'entreprises : quelques travaux actuels et perspectives*". Actes de la journée de synthèse GDR MACS à AIX en Provence, Octobre 2004.
- [Camalot, 00] Camalot. J. P, "*Aide à la décision et à la coopération en gestion du temps et des ressources*", Thèse de l'Institut National des Sciences Appliquées de Toulouse, France, Mai 2000.
- [Cantamessa, 97] Cantamessa. M, "*Agent- based modeling and management of manufacturing systems*", Computers in Industry, vol. 34, pp. 173- 186, 1997.
- [Cavalieri *et al*, 00] Cavalieri. S, Garetti. M, Macchi. M, et Taisch. M, "*An experimental benchmarking of two multi- agent architectures for production scheduling and control*", Computers in Industry, vol. 43, pp. 139- 152, 2000.
- [Cerruti et Gattino, 92] Cerruti. O et Gattino. B, "*Les indicateurs et tableaux de bord*", Edition AFNOR gestion Qualité, 1992.
- [Chandy et Misra, 79] Chandy. K. M, et Misra. J, "*Distributed simulation: A case study in design and verification of distributed programs*", IEEE Transactions on software Engineering (TSE), vol 5, n°5, pp 440-452, 1979.
- [Chaudry *et al*, 93] Chaudry. S. S, Forst. F. G et Zydiak. J. L, "*Vendor selection with price breaks*", European Journal of Operational Research, vol 71, n 1, pp 52-66, 1993.
- [Chen *et al*, 01] Chen. H, Amodeo. L et Chu. F, "*Modelling and performance evaluation of supply chain with Batch deterministic and stochastic petri nets*", In 13th Annual European Simulation Symposium, "Simulation in Industry", Marseille, pp 415-419, Octobre 2001.

- [Corrégé, 01] Corrégé, N "Evaluation de la relation Client-Fournisseur : mise en œuvre d'un système d'évaluation globale des fournisseurs et sous-traitants de l'aérospatiale", Thèse de l'université des sciences sociales de Toulouse, Juin 2001.
- [Coudert, 00] Coudert. T, "*Apport des systèmes multi-agents pour la négociation en ordonnancement : application aux fonctions production et maintenance*", Thèse de l'institut national polytechnique de Toulouse, Décembre 2000.
- [Cousins et Spekman, 03] Cousins, P. D, Spekman. R, "*Strategic supply and the management of inter- and intra- organizational relation ships*", Journal of Purchasing and Supply Management, vol 9, n°1, 2003.
- [D'Amours et al, 01] D'Amours. S, Jabiri. A et Levasseur. M, "*Les processus de Catégorisation des Fournisseurs au sein des Entreprises de Classe Normale*", 4e Congrès International franco-québécois de Génie Industriel, pp 889-897, juin 2001.
- [Da Silveira, 03] Da Silveira. M. R, "*Sur la distribution avec redondance partielle de modèles à événements discrets pour la supervision de procédés industriels*", Thèse de l'université Paul Sabatier de Toulouse, Juillet 2003.
- [Damart et al, 00] Damart. S, David. A et Roy. B, "*Comment organiser et structurer le processus de décision pour favoriser la concertation entre parties prenantes et accroître la légitimité de la décision?*"; Rapport final de recherche soutenue par le Programme mobilisateur "Evaluation-Décision" du PREDIT, 1996-2000.
- [De Montis et al, 00] De Montis. A; De Toro. P; Droste. B, Omann. I et Stagl. S, "*Criteria For Quality Assessment Of MCDA Methods*", Third Biennial Conference of the European Society for Ecological Economics, Vienna, May, 2000
- [Deen, 03] Deen. S. M, "*Agent-Based Manufacturing – Advances in the Holonic Approach*", Springer-Verlag Ed, ISBN 3-540-44069-0, 2003.
- [Despontin, 04] Despontin. E, "*Aide à la décision pour une coopération inter entreprises dans le cadre de la production à la commande*", Thèse du laboratoire d'analyse et d'architecture des systèmes du CNRS, université de Toulouse II-Paul Sebatier, Décembre 2004.
- [Dia et Zéghal, 02] Dia. M et Zéghal. D, "*Évaluation floue des profils de risque des entreprises du TSE 300 à partir des informations divulguées dans les rapports annuels*", Document de travail, CGA – Centre de Recherche en Comptabilité, École de Gestion, Université d'Ottawa, Canada, Décembre 2002.
- [Dickson, 66] Dickson. G. W, "*An analysis of vendor selection systems and decisions*", Journal of Purchasing, vol 2, n° 1, pp 5-17, 1966.
- [Dong et al, 02] Dong. J, Zhang. D et Nagurney. A, "*Supply chain networks with Multicriteria Decision-Makers*", Transportation and Traffic Theory in the 21st Century, M.A.P. Taylor, editor, Pergamon, Amsterdam, The Netherlands, pp 179-196, 2002.
- [Duboz, 04] Duboz. R, "*Intégration de modèles hétérogènes pour la modélisation et la simulation de systèmes complexes : Application à la modélisation multi échelles en écologie marine*", Thèse de l'Ecole doctorale de l'Université du Littoral – Côte d'Opale, Mars 2004.
- [Duffie et Bollinger, 80] Duffie. N. A, et Bollinger. J, "*Distributed computing systems for distributed industrial control*", Annals of CIRP, vol. 29, n°1, pp 357-362, 1980.
- [Duffie et Prabhu, 96] Duffie. N. A et Prabhu. V, "*Heterarchical control of highly distributed manufacturing systems*", International Journal of Computer Integrated Manufacturing, vol. 9, n°4, pp 270-281, 1996,

- [ECOM, 03] ECOM, *"Electronic Commerce Promotion Council of Japan: "Internet EDI (XML/EDI) Introduction Guidebook"*, March, 2003.
- [Enjalbert, 06] Enjalbert. S, "Méthode et outil de simulation distribuée pour l'accommodation de la conduite de réseaux d'entreprises", Thèse de l'Institut National Polytechnique de Toulouse, 2006.
- [Eymery, 97]:Eymery. P, *"La logistique de l'entreprise : Supply Chain Management"*, Edition Hermes, Système d'information, 1997.
- [Faems et Van, 03] Faems. D et Van. L. B, *"The role of inter organisational collaboration within innovation strategies : towards a portfolio approach"*, 10th International Product Development Management Conference, EIASM, Brussels (Belgium), June, 2003.
- [Farquhar, 84] Farquhar. P, *"Utility Assessment Methods"*, Management Science, A Special Issue on Multiple Criteria, vol. 30, n°11, pp 1283-1300, 1984.
- [Filipas *et al*, 01] Filipas. I, Draghici. G, El Moudni. A, Zerhouni. N et Clouard. F, *"Démarche de pilotage pour améliorer la réactivité industrielle"*, 4eme Congres International de Génie Industriel, Aix-Marseille, Juin 2001.
- [Fishwick, 96] Fishwick. P. A, *"Extending object-oriented design for physical modelling"*, Rapport technique, University of Florida, 1996.
- [Garbely et Genoud, 02] Garbely. M et Genoud. S, *"Comparaison de différentes méthodes de classement des pays dans le cadre du développement durable"*, Centre Universitaire d'Etude des Problèmes de l'Energie (CUEPE), Genève, 2002.
- [Geneste *et al*, 03] Geneste. L, Grabot. B, Letouzey. A, *"Scheduling uncertain orders in the customer-subcontractor context"*, European Journal of Operational Research, vol 147, n°2, pp 297-311, 2003.
- [Gentili *et al*, 04] Gentili. E, Cicco. A, et Santucci. J. F, *"Modelling of manufacturing process using Petri nets and Fuzzy logic"*, International Conference on Systems, Man and Cybernetics, The Hague, PAYS-BAS, Octobre 2004.
- [Ghodsypour et O'Brien, 98] Ghodsypour. S. H, O'Brien. C, *"A decision support system for supplier selection using an integrated analytic hierarchy process and linear programming"*, International Journal of Production Economics, vol 56-57, pp 199-212, 1998.
- [Giambiasi *et al*, 00] Giambiasi. N, Escude. B et Ghosh. S, *"GDEVS a generalized discrete event specification for accurate modeling of dynamic systems"*, Scs transactions vol 17, pp120-134, 2000.
- [Glacet, 02] Glacet. F, *"Etablissement et Implémentation d'une Méthode d'Evaluation de Fournisseurs au Sein d'un Réseau Logistique"*, Master Recherche MCAO (LSIS), Juillet, 2002.
- [Guitouni, 00] Guitouni A, *"Méthodes Multicritère d'Aide à la Décision"*, Notes de cours MQT-60791, Université Laval, 2000.
- [Hadj Hammou, 02] Hadj Hammou. K, *"contribution à la conception des produits à la forte diversité et de leur chaîne logistique : une approche par contrainte"*, Thèse de l'Institut national polytechnique de Toulouse, Décembre 2002.
- [Hammami, 03] Hammami. A, *"Modélisation technico-economique d'une chaîne logistique dans une entreprise réseau"*, Thèse de l'Ecole Nationale Supérieure des Mines de Saint-Etienne, Septembre 2003.

- [Hamri, 05] Hamri. M. E, "*Spécification, opérationnalisation et simulation des systèmes de connaissances réactifs : utilisation de Common KADS et DEVS*", Thèse de l'université Paul Cezanne Aix-Marseille III, Novembre 2005.
- [Harker et Vargas, 87] Harker. P. T, Vargas. L. G, "*The theory of ratio scale estimation: Saaty's Analytic Hierarchy Process*", Management Science, vol 33, n°11, November 1987.
- [Harker, 89] Harker. P. T, "*The art and science of decision making : The Analytic Hierarchy Process*", In Golden B. L., Wasil E.A., Harker P.T., *The Analytic Hierarchy Process : Applications and Studies*, Springer-Verlag, 1989.
- [Harri, 02] Harri. I. k, "*Accounting in customer-supplier relationships:Developing cost management in customer-supplier relationships: three case studies*", Proceedings of the 3rd Conference on New Directions in Management Accounting: Innovations in Practice and Research. vol 2, pp. 699-716. Brussels, Belgium, December 2002.
- [Hirsch et al, 95] Hirsch. B. E, Kuhlmann. T, Massow. C, Oehlmann. R. et Thoben. K. D, "*A conceptual system support framework for distributed product development and manufacturing*", In Proceedings of the IFIP WG5.3 international conference on Life-cycle modelling for innovative products and processes, pp 553-564, Berlin, Germany, 1995.
- [Holmlund-Rytkönen et Strandvik, 05] Holmlund-Rytkönen. M et Strandvik. T, "*Stress in business relationships*", In the Journal of Business and Industrial Marketing, vol 20, n°1, pp 12-22, January 2005.
- [Hong et Hayya, 92] Hong. J. D et Hayya. J. D, "*Just in time purchasing: Single or multiple sourcing?*", International Journal of Production Economics, vol 27, pp 175-181, 1992.
- [Huguet, 94] Huguet. M. J, "*Approche par contrainte pour l'aide à la décision et à la coopération en gestion de production*", Thèse de l'Institut National des Sciences Appliquées de Toulouse, France, Décembre 1994.
- [Jacques et Wainer, 02] Jacques. C et Wainer. G. A, "*Using the cd++ devs toolkit to develop Petri nets*", In SCS Conference, 2002.
- [Jaziri, 04] Jaziri. W, "*Modélisation et gestion des contraintes pour un problème d'optimisation sur-contraint : Application à l'aide à la décision pour la gestion du risque de ruissellement*", Thèse de l'Institut National des Sciences Appliquées de Rouen, Juillet 2004.
- [Kearney, 94] Kearney. A. T, "*Management approach to supply chain integration*", Rapport aux membres de l'équipe de recherché A.T.Kearney, Chicago, 1994.
- [Koestler, 67] Koestler. A, "*The Ghost in the Machine*", London, Hutchinson, 1967.
- [Laaribi, 95] Laaribi. A, "*Système d'information géographique et analyse multicritère : intégration pour l'aide à la décision à référence spatiale*", Thèse de faculté de foresterie et de géomatique, Université Laval, Quebec, 1995.
- [Lake et al, 00] Lake. T, Zeigler. B. P, Sarjoughian. H. S et Nutaro. J, "*DEVS Simulation and HLA Lookahead*", In Simulation Interoperability Workshop (SIW), Orlando, FL, 2000.
- [Lauras, 04] Lauras. M, "*Méthodes de diagnostic et d'évaluation de performance pour la gestion de chaînes logistiques : application à la coopération maison-mère-filiale internationales dans un groupe pharmaceutique et cosmétique*", Thèse de l'institut national polytechnique de Toulouse, Juillet 2004.
- [Lee et Billington, 92] Lee. H. L et Billington. C, "*Managing Supply Chain Inventory: pitfalls and opportunities*", Sloan Management Review. Vol. 33, n°3, pp 65-73, 1992.

- [Lorino, 03] Lorino. P, "*Méthodes et pratique de la performance*", Edition d'Organisation, Juillet 2003.
- [Martel et Roy, 02] Martel. J. M et Roy. B, "*Analyse de la signifiante de diverses procédures d'agrégation multicritère*", Annales du LAMSADE 1, Université Paris-Dauphine, 2002.
- [Mathews, 95] Mathews. J, "*Organizational foundations of intelligent manufacturing systems -the holonic viewpoint*", Computer Integrated Manufacturing Systems, vol 8, n°4, pp 237-243, 1995.
- [McLeod, 99] McLeod Institute of simulation science, 1999.
<http://www.ecst.csuchico.edu/~hla/courses.html>,
- [Mekaouche et al, 05a] Mekaouche. L, Ounnar. F, Pujo. P, Giambiasi. N, "*DEVS modeling of self organized companies' network*", ESM05, 19th European Simulation Multiconference, Riga, Latvia, Juin 2005.
- [Mekaouche et al, 05b] Mekaouche. L, Ounnar. F, Pujo. P, Giambiasi. N, "*Modélisation DEVS de la gestion des appels d'offres au niveau d'un réseau de chaîne logistique auto organisé*", 6^e Congrès International de Génie Industriel (GI), Besançon, Juin 2005.
- [Mekaouche et al, 05c] Mekaouche. L, Ounnar. F, Pujo. P, Giambiasi. N, "*Customers – Suppliers relationship self organized control modelling using DEVS formalism*", 17th IMACS World Congress Scientific Computation, Applied Mathematics and Simulation, Paris, France, Juillet 2005.
- [Mekaouche et al, 05d] Mekaouche. L, Ounnar. F, Pujo. P, Giambiasi. N, "*Management of calls for proposals within self organized enterprises network*", 21st Annual Industrial Marketing & Purchasing Conference (IMP), Rotterdam, Pays Bas, September 2005.
- [Mekaouche et al, 05e] Mekaouche. L, Ounnar. F, Pujo. P, Giambiasi. N, "*Self Evaluation of Company's Performance in Partnership Network*", IEMC'05, IEEE International Engineering Management Conference, St. John's, Newfoundland, Canada, September 2005.
- [Mekaouche et al, 06] Mekaouche. L, Ounnar. F, Pujo. P, Giambiasi. N, "*Another way to manage supply chain*", ILS'06, International Conference on Information Systems, Logistics and Supply Chain, Lyon, France, Mai 2006.
- [Mekaouche et al, 07] Mekaouche. L, Ounnar. F, Taïbi. S, Pujo. P, "*Self Organized Control of Partnership Network: Modeling and Validation via Simulation*", In: AIS-CMS 2007, International Modeling & Simulation Multiconference (I3M'07), Buenos Aires, Argentine, février 2007.
- [Ménard, 93] Ménard. C, "*L'économie des organisations*", Ed La découverte, Paris, 1993.
- [Mentzer et al, 01] Mentzer. J. T, Dewit. W, Keeber. J. S, Min. S, Nix. N. W, Smith. C. D et Zacharia.Z. G, "*Defining the supply chain management*", Journal of Business Logistics, vol 22, n°2, 2001.
- [Meyr et al, 02] Meyr. H, Rohde. J et Stadtler. H, "*Basic for modeling*" In H.Stadtler and C.Kilger editors, Supply chain management and advanced planning : Concepts, Models, Software and case studies, pp 45-70, Springer-Verlag, Berlin 2002.
- [Monteiro, 01] Monteiro. T, "*Conduite distribuée d'une coopération entre entreprises : le cas de la relation donneurs d'ordres – fournisseurs*", Thèse de l'Institut National Polytechnique de Grenoble, France, Octobre 2001.
- [Montreuil et Lefrançois, 96] Montreuil. B et Lefrançois. P, "*Organizing factories as responsibility networks*", Progress in Material Handling Research, pp 375-411, 1996.

- [Morel *et al*, 03] Morel. G, Panetto. H, Zaremba. M et Mayer. F, "*Manufacturing enterprise control and management system engineering: paradigms and open issues*", Annual reviews in control, vol 27, n°2, pp 199-209, 2003.
- [Movahedkhah *et al*, 01] Movahedkhah. M, Barillot. P et Thiel. D, "*Les Critères de Performance*", 4e Congrès International franco-qubécois de Génie Industriel, pp 639-648, Juin 2001.
- [Muzy, 04] Muzy. A, "*Elaboration de modèles déterministes pour la simulation de systèmes spatiaux complexes : application à la propagation des feux de forêt*", Thèse de l'université de Corse, Novembre 2004.
- [Nesheim, 01] Nesheim. T, "*Externalization of the core: antecedents of collaborative relationships with suppliers*", In European Journal of Purchasing & Supply Management, vol 7, n°4, pp 217-225, 2001.
- [Neubert, 97] Neubert. G, "*Contribution à la spécification d'un pilotage proactif et réactif pour la gestion des aléas*", Thèse de l'institut national des sciences appliquées de Lyon, Décembre 1997.
- [Nonaka, 97] Nonaka. I, "*Adynamic theory of organization knowledge creation*", Organization Science, vol 5, n°1, pp 14-37, 1997.
- [Oliveira et Lourenço, 02] Oliveira. R. C et Lourenço. J. C, "*A multicriteria model for assigning new orders to service suppliers*", In European Journal of Operational Research, vol 139, n°2, pp 390-399, 2002.
- [Ounnar, 99] Ounnar. F, "*Prise en compte des aspects décision dans la modélisation par réseaux de petri des systèmes flexibles de production*", Thèse de l'Institut National Polytechnique de Grenoble (INPG), Décembre 1999.
- [Ounnar et Pujo, 01] Ounnar. F, Pujo. P, "*Décentralisation des Mécanismes de Pilotage de la Relation Donneurs d'Ordres/Fournisseurs*", Acte du 4e Congrès International de Génie Industriel, vol 2, pp 1175-1185, 2001.
- [Ounnar et Pujo, 05] Ounnar. F et Pujo. P, "*Supplier evaluation process within a self-organized logistical network*", International Journal of Logistics Management, vol 16, n°1, pp 159-172, 2005.
- [Ounnar *et al*, 04] Ounnar. F, Pujo. P, Mekaouche. L, Giambiasi. N, "*Decentralized Self Organized Control of a Partnership Network in an Intelligent Supply Chain*", IMS International Forum 2004: Global Challenges in Manufacturing, Part 2, pp 1319-1326, Cernobbio - Italy, May 2004.
- [Ounnar *et al*, 06] Ounnar. F, Pujo. P, Zahaf. A et Giambiasi. N, "*Interoperability of Enterprises Network Holonic Control via HLA*", INCOM'06 Conference, St Etienne, France, Mai 2006.
- [Ounnar *et al*, 07a] Ounnar. F, Mekaouche. L, Pujo. P, Giambiasi. N, "*Validation of a self organised control system for logistic partnership network by distributed simulation*", In: International Conference on Industrial Engineering and Systems Management (IESM), Pekin, Chine, 30 Mai – 2 Juin 2007.
- [Ounnar *et al*, 07b] Ounnar. F, Pujo. Patrick, Mekaouche. L, Giambiasi. N, "*Customers-Suppliers Relationship Management in an intelligent Supply Chain*", In: Production, Planning and Control, vol 18, n°5, pp 377-387, 2007.

- [Peillon, 01] Peillon. S, "*Le pilotage des coopérations interentreprises : la cas des PME*", Thèse de l'école nationale supérieure des mines de Saint-Etienne, Université Jean Monnet, Octobre 2001.
- [Perez et Sen, 87] Perez. R et Sen. N, "*La productique, concepts, méthodes, mise en œuvre*", Edition ECONOMICA, Février 1987.
- [Pirard, 05] Pirard. F, "*Une démarche hybride d'aide à la décision pour la reconfiguration et la planification des réseaux logistiques des entreprises multi-sites*", Thèse de l'institut FUCaM, Mons, Belgique, Septembre 2005.
- [Poirier et Reiter, 01] Poirier. C et Reiter. S, "*La supply chain, optimise la chaîne logistique et le réseau interentreprises*", Edition : Dunod Mars 2001.
- [Poulin et al, 94] Poulin. D, Montreuil. B et Gauvin. S, "*L'entreprise réseau. Bâtir aujourd'hui l'organisation de demain*", Publi-Relais, Montréal 1994.
- [Probst et al, 96] Probst. A. R, Bitschnau. J. F, Petitpierre. C et Wenger. D, "*Vers des systèmes d'information génériques pour les entreprises virtuelles*", Actes de la conférence CIMRE'96, IIème colloque international de management des réseaux d'entreprises, Entreprise étendue et commerce électronique, Lausanne, Septembre 1996.
- [Probst, 93] Probst. G. J. B, "*Organiser par l'auto-organisation*", Ed d'Organisation, 1994.
- [Pujo et al, 99] Pujo. P, Broissin. N, Meyer. S et Bertrand. J. C, "*Pilotage décentralisé des Systèmes de Production*", In: 3e Congrès International de Génie Industriel, pp 1975-1984, Montréal, 1999.
- [Pujo et Ounnar, 01] Pujo. P et Ounnar. F, "*Proposition d'un pilotage décentralisé auto-organisé et rapproché pour système automatisé flexible – application à un hub de transbordement robotisé fer/fer*", Journal Européen des Systèmes Automatisés, vol 35, n°7- 8, 2001.
- [Pujo et Brun-Picard, 02] Pujo. P et Brun-Picard. D, "*Pilotage sans plan prévisionnel ni ordonnancement préalable*", In: Collection IC2-Productique : Méthodes du pilotage des systèmes de production, Hermès Science Europe Ltd, 2002.
- [Pujo et Kieffer, 02] Pujo. P et Kieffer. J. P. "*Fondement du pilotage des systèmes de production*", In: Collection IC2-Productique : Fondements du Pilotage des Systèmes de Production, Hermès Science Europe Ltd, 2002.
- [Riane et Pirard, 05] Riane. F et Pirard. F, "*Les points clés d'une Supply Chain*", Rapport interne, 20005.
<http://www.productique.org/web/web3.nsf/web/42ECC565980B3255C1256B6E00564B2C?OpenDocument>
- [Rota-Frantz et al, 01] Rota-Frantz. K, Bel. G, et Thierry. C, "*Gestion des flux dans les chaînes logistiques*", Dans Performance Industrielle et gestion des flux, pp 153-187, Ed Hermes Science, 2001.
- [Rousseaux et Apostol, 00] Rousseaux. P et Apostol. T, "*Valeur environnementale de l'énergie*", Presses Polytechniques et Universitaire Romandes, Lausanne, 2000.
- [Roy, 85] Roy. B, "*Méthodologie multicritère d'aide à la décision*", Economica, 1985.
- [Saaty, 96] Saaty. T. L, "*Multicriteria Decision Making:The Analytic Hierarchy Process*", Vol. I., RWS Publications, Octobre 1996.

- [Saaty, 80] Saaty. T. L, "*The Analytic Hierarchy Process*", McGraw-Hill. Traduction française : "*Décideur face à la complexité*", Entreprise Moderne d'Édition, Paris, 1984.
- [Saaty et Vargas, 82] Saaty. T. L et Vargas. L.G, "*The logic of priorities*", Boston, MA: Kluwer Nijhoff, 1982.
- [Segrestin, 03] Segrestin. B, "*La gestion des partenariats d'exploitation: spécificités, crises et formes de rationalisation*", Thèse de l'école des mines de paris, Mai 2003.
- [Selmer, 97] Selmer. C, "*Concevoir le tableau de bord, Outil de contrôle, de pilotage et d'aide à la décision*", Édition Dunod, 1997.
- [Shin et al, 00] Shin. H, Collier. D et Wilson. D, "*Supply Management orientation and Supplier/buyer performance*", In Journal of Operation Management, vol 18, n°3, pp 317-333, 2000.
- [Sivadasan et al, 01] Sivadasan. S, Efstathiou. J, Huaccho. I et Calinescu. A "*Complexity associated with supplier-customer integration*", In Proceedings of the 17th National Conference on Manufacturing Research (NCMR 2001): Advances in Manufacturing Technology XV, pp 31-36, University of Cardiff, September 2001.
- [Smart et Harrison, 03] Smart. A et Harrison. A, "*Online reverse auctions and their role in buyer-supplier relationships*", In Journal of Purchasing & Supply Management, vol 9, n°5, pp 257-268, 2003.
- [Smith, 81] Smith. R. G, "*The contract net protocol: High-level communication and control in a distributed problem solver*", IEEE Transactions on computers, C629512, pp 1104-1113, 1981.
- [Stamm et Golhar, 93] Stamm. C. L et Golhar. D. Y, "*JIT purchasing: Attribute classification and literature review*", Production planning and Control, pp 273-282, 1993.
- [Taïbi, 06] Taïbi. A, "*Simulation via HLA d'un partenariat de clients fournisseurs en réseau contractuel*", Mémoire de Master MCAO, Juin 2006.
- [Tayur et al, 99] Tayur. S, Ganeshan. R et Magazine. M, "*Quantitative models for Supply Chain Management*", Kluwer Academic Publishers, 1999.
- [Telle, 03] Telle. O, "*Gestion de chaînes logistiques dans le domaine aéronautique : aide à la coopération au sein d'une relation Donneur D'Ordres/Fournisseur*", Thèse de l'école nationale supérieure de l'Aéronautique et de l'espace, Janvier 2003.
- [Tharumarajah et al, 96] Tharumarajah. A, Wells. A. J et Nemes. L, "*Comparison of the bionic, fractal and holonic manufacturing systems concepts*", International Journal of Computer Integrated Manufacturing, vol 9, n° 3, pp 217- 226, 1996.
- [Thierry et Bel, 01] Thierry. C et Bel. G, "*Gestion de chaînes logistiques dans le domaine aéronautique : outils d'aide à la décision pour l'amélioration du partenariat*", Revue Française de Gestion Industriel, 2002.
- [Thierry, 03] Thierry. C, "*Gestion de chaînes logistiques: modèles et mise en œuvre pour l'aide à la décision à moyen terme*", Mémoire d'habilitation à diriger des recherches, Université de Toulouse II Le Mirail, Juin, 2003.
- [Timmerman, 87] Timmerman. E, "*An approach to Vendor Performance Evaluation*", National Association of Purchasing Management, Janvier 1987.

- [Toolea et Donaldson, 02] Toolea. T et Donaldson. B, "*Relationship performance dimensions of buyer-supplier exchanges*", In *European Journal of Purchasing & Supply Management*, vol 8, n°4, pp 197-207, 2002.
- [Torelli, 86] Thorelli. H, "*Networks: between markets and hierarchies*", *Strategic management journal*, vol 7, n°1, pp 37-51, 1986.
- [Trentesaux, 02] Trentesaux. D, "*Pilotage hétéroarchique des systèmes de production*", Mémoire d'habilitation à diriger des recherches, Université de Valenciennes de Hainaut-Cambrésis (UVHC) au LAMIH, Septembre 2002.
- [Valckenaers *et al*, 98] Valckenaers. P, Brussel. H, Wyns. J, Bongaerts. L et Peeters. P, "*Designing holonic manufacturing systems*", In *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, vol 14, n°5, pp 455-464, 1998.
- [Van Brussel *et al*, 98] Van Brussel. H, Wyns. J, Valckenaers. P, Bongaerts. L, et Peeters. P, "*Reference architecture for holonic manufacturing systems: PROSA*", *Computers in Industry*, vol 37, n°3, pp 255-276, 1998.
- [Vincke, 89] Vincke. P, "*L'aide multicritère à la décision*", Editions de L'université de Bruxelles, 1989.
- [Vonderembse *et al*, 95] Vonderembse. M, Tracey. M, Tan. C. L et Bardi. E. J, "*Current purchasing practices and JIT: some of effects on inbound logistics*", In *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, vol 25, n°3, pp 33-48, 1995.
- [Zacharewicz, 02] Zacharewicz. G, "*Intégration d'un modèle workflow dans un environnement HLA*", Mémoire DEA MCAO, Juillet 2002.
- [Zacharewicz, 06] Zacharewicz. G, "*Un environnement G-DEVS/HLA : application à la modélisation et simulation distribuée de workflow*", Thèse de l'université Paul Cezanne Aix-Marseille III, Novembre 2006.
- [Zahaf, 05] Zahaf. S. A, "*Intégration des modèles DEVS-EPA dans un environnement HLA*", Mémoire de Master MCAO, Juin, 2005.
- [Zeigler, 76] Zeigler. B. P, "*Theory of Modelling and Simulation*", Ed. John Wiley & sons, New York, 1976.
- [Zeigler *et al*, 98] Zeigler. B, Ball. G, Cho. H, Lee. J et Sarjoughian. H, "*The DEVS/HLA distributed simulation environment and its support for predictive filtering, advance simulation technology thrust (ASTT)*", DARPA contract n6133997k-0007, pp 1-19, September, 1998.
- [Zeigler *et al*, 99] Zeigler. B. P, Ball. G, Cho. H. J et Lee. J. S, "*Implementation of the DEVS formalism over the HLA/RTI: Problems and solutions*", In *Simulation Interoperation Workshop (SIW)*, Orlando, FL, 1999.
- [Zeigler *et al*, 00] Zeigler. B, Praehofer. H et Kim. T, "*Theory of Modeling and Simulation*", 2nd Edition, Academic Press, New York, NY, 2000.

Liste des abréviations

AHP	Analytic Hierarchy Process
ALSP	Aggregate Level Simulation Protocol
AO	Appel d'Offre
CORBA	Common Object Request Broker Architecture
DEVS	Discrete Event System Specification
DIS	Distributed Interactive Simulation
DRC	Distributed Root Coordinator
EPA	Entité de Pilotage Autonome
EVAMIX	EVALuation of MIXed Criteria
FOM	Federation Object Model
GDEVS	Generalized Discret Event Specification
HLA	High Level Architecture
HO	Holon Ordre
HP	Holon Produit
HR	Holon Ressource
LCS	Local Coordinator – Simulator(s)
LITS	Least Incoming Time Stamp
LRC	Local Run-time infrastructure Component
MAUT	Multiple Attribut Utility Theory
MAVT	Multiple Attribut Value Theory
MOM	Management Object Model
OMT	Object Model Template
PROSA	Product Resource Order Staff Architecture
RAO	Réponse à un Appel d'Offre
RTI	Run-Time Infrastructure
SMART	Simple Multiple-Attribut Rating Technique
SOM	Simulation Object Model
TOPSIS	Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution
UTA	Utility Theory Additive

Table des Matières

Sommaire	1
Liste des figures	5
Liste des tableaux	7
Introduction	9
Chapitre I : Etat de l'art et proposition d'un pilotage auto-organisé basé sur une approche holonique	13
I.1 Chaînes logistiques, leur fonctionnement et les problèmes rencontrés	13
I.1.1 La logistique : historique et définitions	13
I.1.1.1 Historique	13
I.1.1.2 Définitions	14
I.1.2 Chaîne logistique	15
I.1.2.1 Définition d'un point de vue produit	15
I.1.2.2 Définition d'un point de vue entreprise	16
I.1.3 Gestion de la chaîne logistique	17
I.1.3.1 Définitions	17
I.1.3.2 Problèmes de gestion de la chaîne logistique	18
I.2 Réseaux logistiques et position du problème	21
I.2.1 Définition de réseau	21
I.2.1.1 Entreprise virtuelle	21
I.2.1.2 Entreprise réseau	21
I.2.1.3 Réseau d'entreprises	22
I.2.1.4 Entreprise étendue	22
I.2.2 Définitions d'un réseau logistique	23
I.2.3 Amélioration de la relation Clients/Fournisseurs	24
I.2.4 Position du problème	25
I.3 Apport de la structure hétérarchique/décentralisée dans le pilotage d'un réseau logistique	27
I.3.1 Concept de pilotage	28
I.3.1.1 Historique	28
I.3.1.2 Définitions	28
I.3.2 Structures de pilotage	29
I.3.2.1 Structure centralisée	29
I.3.2.2 Structure non centralisée	30
I.4 Choix d'une structure de décision	33
I.4.1 Structure de décision hétérarchique/décentralisée	33
I.4.2 Modes d'interaction	34
I.4.2.1 Coopération	34
I.4.2.2 Coordination	35
I.4.2.3 Collaboration	35

I.4.2.4	Négociation et Communication.....	36
I.5	Proposition d'un pilotage auto-organisé basé sur l'approche holonique d'un réseau logistique.....	37
I.5.1	Approches de modélisation d'un centre de décision	37
I.5.1.1	Approche multi-agents.....	37
I.5.1.2	Approche bionique	38
I.5.1.3	Approche fractale	38
I.5.1.4	Approche holonique.....	39
I.5.2	Apports de l'approche holonique	40
I.5.3	Concept d'auto-organisation	41
I.5.3.1	Caractéristiques de l'organisation	41
I.5.3.2	Auto-organisation : historique et définitions.....	42
I.5.4	Approche holonique pour le pilotage auto-organisé d'un réseau logistique.....	43
I.5.4.1	Architecture Holonique.....	44
I.5.4.2	Description du fonctionnement général de l'EPA.....	46
I.5.5	Formalismes de modélisation	49
I.5.6	De la modélisation à l'implémentation	50
I.6	Conclusion.....	51
Chapitre II	: Evaluation de la performance du Ressource Holon	53
II.1	Processus de choix et d'évaluation de fournisseurs.....	54
II.1.1	Méthodes multicritères	55
II.1.1.1	Méthodes élémentaires	56
II.1.1.2	Méthodes d'aide à la décision multicritères	58
II.2	Classement des AOs : Première étape du processus d'auto-évaluation	64
II.2.1	Elaboration des indicateurs.....	65
II.2.1.1	Méthode de construction des indicateurs.....	65
II.2.1.2	Elaboration du système d'indicateurs.....	67
II.2.2	Formalisation des critères et des indicateurs	70
II.2.2.1	Critère Coût "C1"	70
II.2.2.2	Critère Délai C2.....	71
II.2.2.3	Critère Qualité "C3".....	71
II.2.2.4	Critère Fiabilité "C4"	72
II.2.2.5	Critère Stratégique "C5"	73
II.2.3	Méthode multicritères retenue	74
II.2.3.1	Démarche suivie	75
II.2.3.2	Application de la méthode multicritères AHP	79
II.3	Calcul de la performance : Deuxième étape du processus d'auto-évaluation...82	
II.3.1	Méthode multicritères retenue au niveau de la deuxième étape	83
II.3.2	Formalisation de la méthode de pondération multicritères.....	83
II.3.3	Application de la méthode de calcul de performance	86
II.4	Conclusion.....	86
Chapitre III	: Modélisation et Validation par Simulation Distribuée via HLA.....	87
III.1	Modélisation.....	87

III.1.1	Formalisme DEVS	87
III.1.1.1	Modèle DEVS atomique	88
III.1.1.2	Sémantique Opérationnelle du formalisme DEVS	88
III.1.1.3	Modèle DEVS couplé	89
III.1.2	Modélisation d'une EPA par le formalisme DEVS	90
III.1.2.1	Modèle DEVS-EPA couplé.....	90
III.1.2.2	Description des modèles DEVS	93
III.2	Réalisation	108
III.2.1	Présentation de l'Architecture de Haut Niveau HLA.....	108
III.2.1.1	« Architecture » et « haut niveau ».....	108
III.2.1.2	Description fonctionnelle et notions de vocabulaire	109
III.2.2	Simulation distribuée des modèles DEVS.....	114
III.2.2.1	Simulation de modèles DEVS.....	114
III.2.2.2	Intégration des modèles DEVS dans un environnement HLA.....	115
III.2.2.3	Intégration des modèles DEVS-EPA dans un environnement HLA	116
III.2.2.4	Maquette de simulation.....	123
III.3	Simulation	125
III.3.1	Etude de cas	126
III.3.2	Modélisation sous Arena	128
III.3.2.1	Construction du modèle	128
III.3.2.2	Correspondance Arena - Excel.....	129
III.3.3	Etude des perturbations	131
III.3.3.1	Perturbation de type 1 : Perturbation/entreprises exerçant le plus d'activités	132
III.3.3.2	Perturbation de type 2 : Perturbation/entreprises impliquées dans plusieurs chaînes	144
III.3.3.3	Perturbation de type 3 : Perturbation de type 2/pannes dans certaines entreprises	163
III.4	Conclusion	167
Conclusion et perspectives		169
Bibliographie		174
ANNEXES		188

ANNEXES

Table des Matières des Annexes

ANNEXES	188
Table des Matières des Annexes	189
ANNEXE I.....	191
Diagrammes de Classe.....	192
I.1 Diagramme de Classe : l'envoi d'un AO	192
I.2 Diagramme de Classe : les trois Holons de base	192
I.3 Diagramme de Classe : la relation entre l'AO le Holon Ressource	192
ANNEXE II.....	194
Méthodes multicritères.....	194
II.1 La méthode de pondération linéaire.....	195
II.3.1 Calcul d'une somme.....	195
II.3.2 Calcul d'un ratio	196
II.2 La méthode TOPSIS	198
II.3 La méthode MAVT	199
II.4 La méthode SMART	200
II.5 La méthode UTA.....	201
ANNEXE III	203
Réalisation et validation	203
III.1 L'architecture de haut niveau HLA	204
III.1.1 Règles pour la fédération	204
III.1.2 Règles pour les fédérés	204
III.1.3 L'OMT	204
III.1.4 Spécification d'Interface	204
III.2 Algorithme d'intégration DEVS-HLA :	206
III.2.1 Représentation des évènements :	206
III.2.2 Attendre une autorisation :	206
III.2.3 Traitement des évènements :	207
III.2.4 Calcul du Lookahead :	207
III.3 Elaboration du jeu de données	208
III.3.1 Dimensionnement des entreprises et des chaînes logistiques.....	208
III.3.2 Flux des différents produits et chaînes logistiques associées	212
III.4 Modélisation ARENA	218
III.4.1 Exemples de sous modèles d'entreprises sous Arena	219

III.4.2	Tableau de données et de dimensionnements	221
III.5	Deuxième type de perturbation : Perturbation/entreprises impliquées dans plusieurs chaînes.....	226
III.5.1	Charge des entreprises : Approche classique.....	226
III.5.2	Résultat de la simulation sur le modèle ARENA : Approche classique	229
III.5.3	Tableaux d'indicateurs relatifs aux types d'AOs lancés : Approche auto-organisée	231
III.5.4	Réponses des fournisseurs sur les AOs lancés : Approche Auto-organisée...	234
III.5.5	Charge des entreprises : Approche auto-organisée	238
III.6	Troisième type de perturbation : Perturbation de type 2/pannes dans certaines entreprises.....	242
III.6.1	Tableaux d'indicateurs relatifs aux types d'AOs lancés : Approche Auto-organisée	242
III.6.2	Charge des entreprises : Approche auto-organisée	244

ANNEXE I

Modèle UML de l'architecture holonique proposée intégrant l'EPA

Diagrammes de Classe

I.1 Diagramme de Classe : l'envoi d'un AO

Nous présentons ci-dessous les diagrammes de classes représentant les relations entre les trois Holons.

La FIGURE I.1 ci-dessous, présente l'envoi d'un Appel d'Offre (AO) à une ou plusieurs entreprises. De même, une entreprise peut envoyer un ou plusieurs AOs comme elle peut ne pas envoyer d'appel d'offre.

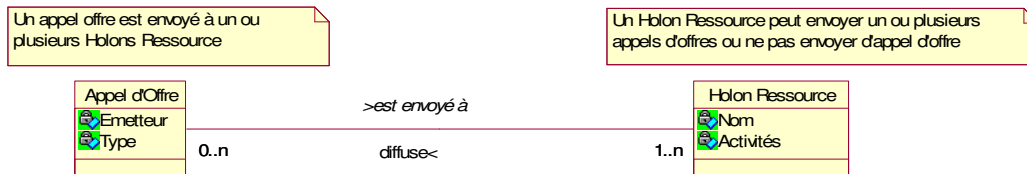


FIGURE I.1 : Envoi d'appels d'offres

I.2 Diagramme de Classe : les trois Holons de base

Les informations contenues dans un AO sont extraites d'un Holon Ordre qui représente l'aspect organisationnel de la tâche à effectuer et d'un Holon Produit qui donne un descriptif technique du produit manufacturé (modèles, gamme...).

Chaque entreprise intervenant sur une chaîne logistique devient un Holon Ressource, lorsqu'on lui associe une entité de décision qui lui confère son aptitude à l'interaction avec d'autres entreprises. Ceci est illustré par la FIGURE I.2.

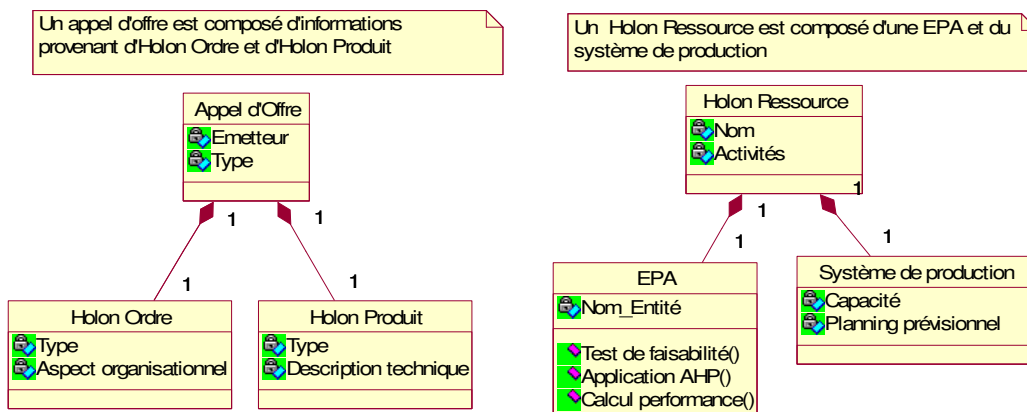


FIGURE I.2 : Représentation des trois Holons de base

I.3 Diagramme de Classe : la relation entre l'AO le Holon Ressource

La FIGURE I.3 ci-dessous, représente l'affectation de l'AO au Holon Ressource par l'EPA. A la réception des AOs, l'EPA teste dans un premier temps la faisabilité de l'AO. Ce teste est basé sur des informations contenues dans l'AO. Dans un deuxième temps, l'EPA évalue la performance de la ressource Holon à répondre à ces AOs. Cette évaluation est basée sur une méthode multicritères AHP dont l'application nécessite des informations venant à la fois de l'AO (Holon Ordre et Holon Produit) et du système de production propre au Holon

Ressource. La méthode AHP permet alors de classer tous les AOs reçus selon la capacité de l'EPA à les traiter, par la suite un calcul de performance est effectué sur l'AO classé premier pour pouvoir se positionner par rapport aux réponses des autres HRs du réseau sur cet AO.

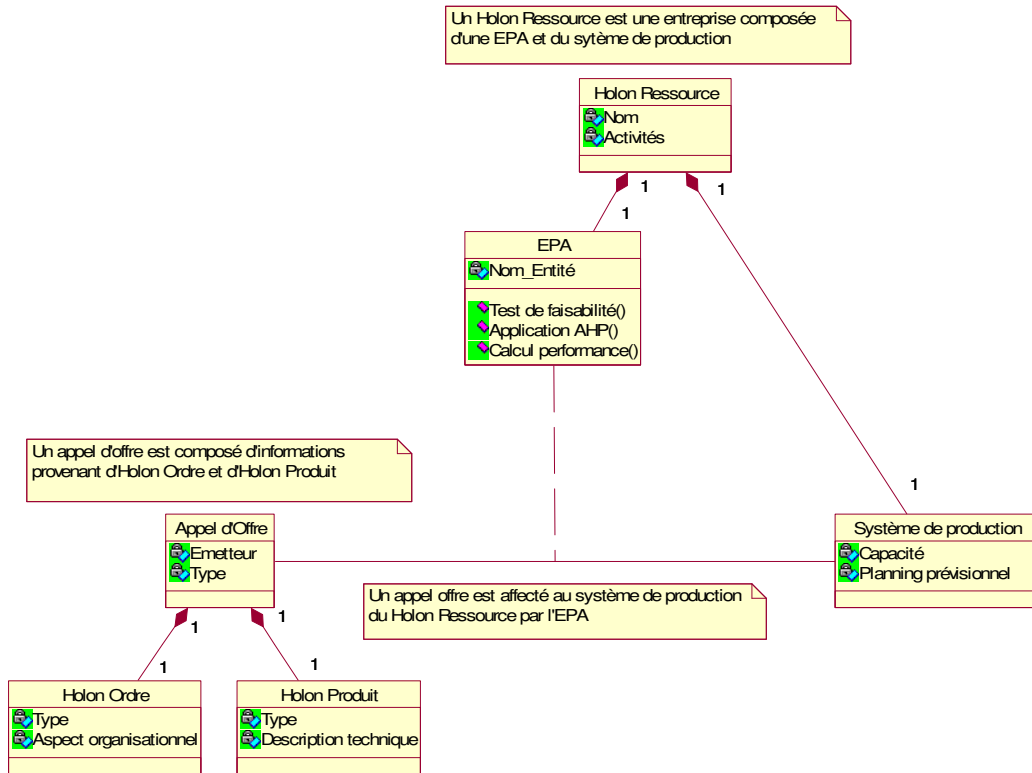


FIGURE I.3 : Relation entre l'AO et le Holon Ressource

ANNEXE II
Méthodes multicritères

Méthodes multicritères

II.1 La méthode de pondération linéaire

II.3.1 Calcul d'une somme

Elle est basée sur les étapes suivantes

- Etape 1: Identifier tous les critères significatifs pour la sélection d'un fournisseur: pour plus de réalisme et d'efficacité dans cette identification, le choix doit être fait grâce à une collaboration de plusieurs services différents pour balayer un large champ d'indicateurs.
- Etape 2 : Arranger les éléments identifiés dans des catégories homogènes: les listes générées lors de l'étape précédente peuvent être fusionnées et modifiées pour ne faire qu'une liste maîtresse de critères mais sans redondance.
- Etape 3 : Associer des pondérations aux éléments de la liste déterminée par les étapes précédentes : la nouvelle liste ainsi pondérée peut être retournée à toutes les personnes ayant participées à l'établissement de la liste de critères et à sa pondération.
- Etape 4: Construire un tableau sous forme d'une matrice qui permet d'établir une moyenne linéaire (Cf. TABLEAU II.1 1). Ce tableau peut servir de modèle, de trame pour assigner des estimations et faire une comparaison rapide de fournisseurs. L'estimation peut par exemple s'étendre de 1 (très mauvais) à 5 (très bon).
- Etape 5 : Développer des procédures spécifiques pour mesurer les éléments de la performance d'un fournisseur.
- Etape 6 : Assigner les estimations pour chaque fournisseur sur chaque critère.
- Etape 7: Calculer et comparer chaque score à partir des paires estimation-pondération.: Une fois que les estimations ont été assignées et insérées dans la matrice de comparaison (Cf TABLEAU II.1 1), l'estimation pour chaque fournisseur est multipliée par le poids attribué à chaque critère. La somme de ces produits est un score (ou un index de valeur) et ce, pour chaque fournisseur. Selon cette méthode, le fournisseur ayant le score le plus élevé est celui assurant le plus haut niveau de performance.

CRITERES	Poids	Fournisseurs											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
COUTS													
Coût en €	0,25	3	4	3	3	3	2	3	1	3	3	3	2
Coût de la qualité	0,05	4	2	2	3	4	4	3	5	3	3	3	4
Conditions de vente	0,05	5	4	3	3	3	2	2	1	4	3	3	3
PRODUITS													
Spécifications	0,2	5	3	2	3	3	4	2	4	3	4	4	3
Réalisation	0,1	4	3	3	3	3	3	3	3	3	2	3	3
Assurance qualité	0,05	5	3	3	3	4	2	4	3	3	2	2	3
SERVICE													
Qualité de livraison	0,15	3	2	4	3	2	3	4	4	3	3	3	2
Délai de livraison	0,05	2	4	3	2	2	2	3	4	4	3	3	3
Précision administrative	0,05	4	3	3	3	3	2	3	3	3	3	1	2
Support	0,05	5	4	5	3	3	2	4	2	4	4	2	3
INDEX DE VALEUR	1	3,8	3,4	3	3	2,9	2,8	3	2,9	3,2	3,1	3	2,6

TABLEAU II.1 1 : Matrice de moyenne linéaire

II.3.2 Calcul d'un ratio

Son application est basée sur les étapes suivantes :

- Etape 1 : Cinq critères principaux d'évaluation (catégories principales) doivent être assignés :

Réponse à la proposition	Poids = 15
Technicité	Poids = 25
Qualité	Poids = 25
Coût	Poids = 25
Général	Poids = 10
	Total = <u>100</u>

- Etape 2 : Chaque critère majeur est alors divisé en sous catégories avec des poids individuels (Cf. TABLEAU II.1 2).
- Etape 3 : Le fournisseur est alors noté sur ces sous-catégories: Par exemple, sous la catégorie "Technicité", 'a' représente "l'approche design". Le fournisseur est noté de 0 à 10, sur la base de repères préalablement déterminés. Clairement, un modèle soigneux et cohérent d'évaluation est exigé pour produire des résultats conformes et cohérents. Par exemple, dans la catégorie 2 'b' (expérience relative), quelle est la différence entre un score de 5 et un score de 2 ? Quels sont les guides que l'on peut utiliser pour faire la distinction ? Dans ce cadre là, des exemples peuvent être rédigés pour aider à réaliser la graduation des critères.
- Etape 3 : Les scores des sous-catégories sont additionnés les uns aux autres et sont divisés par le poids total de la catégorie "mère". Par exemple, dans le tableau 2, le score de 21 associé à la catégorie Technicité du fournisseur A (8+4+5+4) est divisé par 25 puis multiplié par 100 pour obtenir un score de 84.
- Etape 4 : Si une sous-catégorie particulière ne peut pas être notée, le poids de cette sous-catégorie est enlevé au poids total de la catégorie "mère". Par exemple, dans l'illustration, il n'y a pas de note pour la catégorie "Historique de la performance" (3 b) pour un fournisseur particulier. Il suffit alors de soustraire la pondération particulière de la sous-catégorie à la pondération totale de la catégorie supérieure. Le ratio calculé est alors encore cohérent et n'affecte pas le score total calculé.
- Etape 6 : La dernière partie du tableau (partie 6 "Résumé") reprend tous les scores des catégories "mères" précédemment calculés en les pondérant. Le score final est alors calculé comme pour les catégories "normales" en sommant toutes les notes et en les divisant par le total des poids de la catégorie.
- Etape 7 : Les points de jugement peuvent être additionnés ou soustraits du total.

FACTEURS D'EVALUATION		<i>Fournisseur A</i>	<i>Fournisseur B</i>
1. REPONSE A LA DEMANDE	Poids	Note	Note
a. Compréhension du problème	5	3	2
b. Termes et conditions	5	4	4
c. Opportunité	5	5	1
d. Poids total	15	12/15 = 80	7/15 = 46
2. TECHNICITE			
a. Approche design	10	8	9
b. Expérience relative	5	4	3
c. Risque de production	5	5	2
d. Sous traitance	5	4	2
e Poids total	25	21/25 = 84	16/25 = 64
3. QUALITE/FIABILITE			
a. Expérience	5	5	5
b. Historique de la performance	10	-----	8
c. Données	3	2	1
d. Qualité perçue	7	6	7
e. Poids total	25	21/25 = 84	21/25 = 84
4. COUT			
a. Développement	3	2	0
b. Qualification	2	2	2
c. Sous traitance	3	3	2
d. Ingénierie	2	1	1
e. Retard	4	4	3
f. Prix unitaire	7	6	4
g. Courbe des prix	4	3	3
h. Poids total	25	21/25 = 84	15/25 = 60
5. GENERAL			
a. Historique des livraisons	4	3	2
b. Organisation	1	1	1
c. Qualification du personnel	2	2	2
d. Equipements	2	2	2
e. Disposition de paiement	1	1	1
f. Poids total	10	9/10 = 90	8/10 = 80
6. RESUME			
a. Réponse à la demande	2	80	46
b. Technicité	3	84	64
c. Qualité/Fiabilité	5	86	84
d. Coût	4	84	60
e Général	1	90	80
f. Poids total	15	1268/15 = 84,5	1024/15 = 68
POINTS DE JUGEMENT			
a. Petite/Mineure affaire	0-4	-----	4
b. -----	0-3	-----	-----
		84,5	72

TABLEAU II.1 2 : Matrice d'évaluation

..

II.2 La méthode TOPSIS

Elle est composée de six étapes [Dia et Zéghal, 02]:

- Etape 1 : Calcul de la matrice de décision normalisée

Les valeurs normalisées e_{ij} sont calculées comme suit :

$$e_{ij} = \frac{g_j(a_i)}{\sqrt{\sum_{i=1}^m [g_j(a_i)]^2}}, i = 1, \dots, m; j = 1, \dots, n. \text{ Où les } g_j(a_i) \text{ correspondent aux valeurs}$$

déterministes des actions i pour le critère j .

- Etape 2 : Calcul de la matrice de décision normalisée pondérée.

Les valeurs normalisées pondérées sont calculées comme suit :

$$e_{ij}'' = \pi_j e_{ij}', i = 1, \dots, m; \text{ et } j = 1, \dots, n. \text{ avec : } \pi_j, \text{ le poids du } j^{\text{ème}} \text{ critère } \sum_{j=1}^n \pi_j = 1.$$

- Etape 3 : Détermination de la solution idéale (a^*) et de la solution anti-idéale (a_*).

$$\begin{aligned} a^* &= \{Max e_{ij}'', i = 1, \dots, m; \text{ et } j = 1, \dots, n\}; & e_j^* &= Max_i \{e_{ij}''\} \\ a^* &= \{e_j^*, j = 1, \dots, n\} = \{e_1^*, e_2^*, \dots, e_n^*\} \\ a_* &= \{Min e_{ij}'', i = 1, \dots, m; \text{ et } j = 1, \dots, n\}; & e_{j*} &= Min_i \{e_{ij}''\} \\ a_* &= \{e_{j*}, j = 1, \dots, n\} = \{e_{1*}, e_{2*}, \dots, e_{n*}\} \end{aligned}$$

- Etape 4 : Calcul des mesures d'éloignement.

L'éloignement entre les alternatives est mesuré par une distance euclidienne de dimension n . l'éloignement de l'alternative i par rapport à la solution idéale (a^*) qui peut être assimilé à la mesure d'exposition aux risques est donné par :

$$D_i^* = \sqrt{\sum_{j=1}^n (e_{ij}'' - e_j^*)^2}, i = 1, 2, \dots, m.$$

L'éloignement par rapport à la solution anti_idéale (a_*), quant à lui, peut être assimilé à la mesure de gestion des risques et il se calcule comme suit :

$$D_{i*} = \sqrt{\sum_{j=1}^n (e_{ij}'' - e_{j*})^2}, i = 1, 2, \dots, m.$$

- Etape 5: Calcul du rapprochement relatif par rapport à la solution idéale (a^*).

$$C_i^* = \frac{D_{i*}}{D_i^* + D_{i*}}, i = 1, 2, \dots, m. \text{ Avec } 0 \leq C_i^* \leq 1.$$

- Etape 6 : Rangement des actions suivant leur ordre de préférence (i est meilleure que j si $C_i^* > C_j^*$).

II.3 La méthode MAVT

Elle s'applique comme suit :

- Etape 1 : Evaluer chacune des actions selon chaque critère (construire la matrice de décision : Cf TABLEAU II.3.1).

	g_1	..	g_j	..	g_n
a_1
..
a_i	$g_j(a_i)$	..	..
..
a_m
	$v_1(g_1)$	..	$v_j(g_j)$	..	$v_n(g_n)$

TABLEAU II.3.1 : Tableau multicritères

- Etape 2 : Construire des fonctions de valeur partielle pour chaque critère (traduire le tableau multicritères en utilisant les valeurs : Cf TABLEAU II.3.2).
- Une synthèse de plusieurs méthodes de construction des fonctions de valeur partielle a été présentée dans [Farquhar, 84].

	$v_1(g_1)$..	$v_j(g_j)$	..	$v_n(g_n)$
a_1
..
a_i	$v_j g_j(a_i)$	..	..
..
a_m

TABLEAU II.3.2 : Traduction du tableau multicritères

- Etape 3 : Etablir les poids des critères.
- Etape 4: Calculer l'évaluation globale pour chaque action en utilisant une forme d'agrégation appropriée.

$$V[g_1(a_i), \dots, g_n(a_i)] = f\{v_1[g_1(a_i)], \dots, v_n[g_n(a_i)]\}$$

Par exemple : décomposition de la fonction de valeur en une forme additive

$$V[g_1(a_i), \dots, g_n(a_i)] = \sum_{j=1}^n \pi_j v_j[g_j(a_i)], \text{ avec } \pi_j : \text{ désigne le poids affecté au critère } j.$$

D'autres formes de décomposition sont possibles à savoir la forme multiplicative, la forme quasi additive, la forme bilatérale, ... [Guitouni, 00].

- Etape 5 : Déterminer la meilleure action (l'action qui maximise la valeur V : celle qui a le plus grand score).
- Etape 6 : Faire des analyses de sensibilité.

II.4 La méthode SMART

Les différentes étapes de l'application de la méthode SMART sont présentées ci-dessous:

- Etape 1 : Mettre les critères selon l'ordre décroissant d'importance.
- Etape 2: Déterminer le poids de chaque critère.
- Etape 3 : Normaliser les coefficients d'importance entre 0 et 1: faire la somme des coefficients d'importance et diviser chaque poids par cette somme.
- Etape 4 : Mesurer la localisation de chaque action sur chaque critère ($g_i(a_i)$) :

L'évaluation des actions dépend de la façon dont sont définies les échelles:[Martel et Roy, 02]. Si l'appréciation de la performance selon le critère i est de nature qualitative, l'on doit coder 0 la plus mauvaise performance plausible et 100 la meilleure performance plausible, les appréciations intermédiaires devant être codées de façon à définir une échelle d'intervalle. Si l'appréciation de la performance selon le critère i est de nature numérique (ce qui ne signifie pas toujours objective et encore moins quantitative), l'on doit poser :

$$g_i(a) = \frac{h_i(a) - h_{i*}}{h_i^* - h_{i*}} \times 100$$

Avec :

$h_i(a)$ correspond à l'appréciation numérique originelle de l'action a et h_{i*} , h_i^* correspondent respectivement aux appréciations plausibles la plus mauvaise et la meilleure.

- Etape 5 : Déterminer la valeur de chaque action selon la somme pondérée suivante:

$$g(a_i) = \sum_{j=1}^n \pi_j g_j(a_i)$$

- Etape 6 : Classer les actions selon l'ordre décroissant de $g(a_i)$.

II.5 La méthode UTA

L'application de la méthode UTA est basée sur les étapes suivantes:

- Etape 1 : Déterminer les évaluations extrêmes e_j^* et e_{j^*} et écrire les valeurs des actions de A' selon l'expression suivante :

$$U(a_i) = \sum_{j=1}^n u'_j(e_{ij}) + \sigma(a_i)$$

Avec :

$u'_j(e_{ij})$: désigne l'utilité de l'action a_i sur le critère j et $\sigma(a_i)$: désigne l'erreur associée à l'estimation de $u_j(a_i)$.

- Etape 2 : Ecrire la contrainte de normalisation des poids des critères

$$\sum_{j=1}^n u'_j(e_j^*) = 1$$

- Etape 3 : Diviser, pour chaque critère j , l'intervalle $[e_j^*, e_{j^*}]$ en α_j intervalles notés $[e_j^l, e_j^{l+1}]$, avec :

$$e_j^l = e_{j^*} + \frac{l-1}{\alpha_j} \times (e_j^* - e_{j^*}), \quad l = 1, 2, \dots, \alpha_j.$$

- Etape 4: Appliquer la transformation ci après :

$$u'_j(e_j^{l+1}) - u'_j(e_j^l) > 0, \forall j, l \text{ où } [e_j^l, e_j^{l+1}] \text{ est un intervalle de valeurs de } g_j.$$

Ce qui revient à dire que les fonctions d'utilité partielles sont monotones.

- Etape 5 : Déterminer les valeurs $u'_j(e_j^1)$

Dans la méthode UTA, on détermine les $u'_j(e_j^1)$, et on effectue des interprétations linéaires entre ces points. En d'autres termes ;

$$\text{Si } z_j \in [e_j^l, e_j^{l+1}] \text{ on aura : } u'_j(z_j) = u'_j(e_j^l) + \frac{z_j - e_j^l}{e_j^{l+1} - e_j^l} [u'_j(e_j^{l+1}) - u'_j(e_j^l)]$$

- Etape 6 : Formuler le problème sous la forme d'un programme linéaire (voir ci-après) en se basant sur l'ensemble A'.

$$\begin{aligned} & \text{Min } \sum_{a_i \in A'} \sigma(a_i) \\ & \sum u'_j(e_j^*) = 1 \quad (\text{Pondération des critères}). \\ & u'_j(e_j^{l+1}) - u'_j(e_j^l) > 0, \quad \forall j, \forall l. \\ & \sum_{j=1}^n [u'_j(e_{ij}) - u'_j(e_{kj}) + \sigma(a_i) - \sigma(a_k)] > 0 \quad \text{Si } a_i P a_k, (a_i, a_k) \in A' \times A' \\ & \text{Sujet à} \\ & \sum_{j=1}^n [u'_j(e_{ij}) - u'_j(e_{kj}) + \sigma(a_i) - \sigma(a_k)] > 0 \quad \text{Si } a_i P a_k, (a_i, a_k) \in A' \times A' \\ & u'_j(e_{j^*}) = 0, \quad \forall j, \quad \text{avec } x_{j^*} \text{ est la pire valeur sur le critère } j. \\ & u'_j(e_j^l) \geq 0, \sigma(a_i) \geq 0, \forall j, \forall l, i = 1, 2, \dots, m. \end{aligned}$$

- Etape 7 : Résoudre le programme linéaire et appliquer la fonction d'utilité obtenue à l'ensemble des actions de A.

ANNEXE III

Réalisation et validation

Réalisation et Validation

III.1 L'architecture de haut niveau HLA

III.1.1 Règles pour la fédération

- Les fédérations doivent avoir un FOM (Federation Object Model), documenté conformément à l'OMT.
- Toutes les représentations d'objets dans le FOM seront situées au niveau des fédérés et non au niveau de la RTI.
- Pendant l'exécution d'une fédération, tous les échanges de données figurant dans le FOM et agissant entre les fédérés devront s'effectuer via le RTI.
- Pendant l'exécution d'une fédération, les fédérés devront interagir avec l'infrastructure d'exécution (RTI).
- A tout moment pendant l'exécution d'une fédération, un attribut d'une instance d'un objet sera possédé par au plus un fédéré.

III.1.2 Règles pour les fédérés

- Les fédérés auront un SOM, documenté conformément à l'OMT.
- Les fédérés seront capables de mettre à jour et/ou refléter n'importe quels attributs d'objets et d'envoyer et de recevoir des interactions issues d'objets extérieurs, dont la description est fournie dans leur SOM.
- Les fédérés seront capables de transférer et/ou d'accepter le contrôle d'attributs dynamiquement pendant l'exécution d'une fédération, comme spécifiée dans leur SOM.
- Les fédérés seront capables de varier les conditions sous lesquelles ils fournissent des mises à jour des attributs d'objets, comme spécifié dans leur SOM.
- Les fédérés seront capables de gérer le temps local de façon à permettre de coordonner l'échange de données avec d'autres membres d'une fédération.

III.1.3 L'OMT

HLA ne définit pas le contenu du SOM et du FOM néanmoins, elle exige qu'une approche commune de documentation soit employée.

Les modèles d'objets HLA sont composés d'un groupe de composants spécifiant l'information sur les classes d'objets, leurs attributs, les interactions et leurs paramètres. Le contenu de l'information de ces composants peut être représenté de plusieurs façons. Par exemple, le format OMT tabulaire est conçu pour la présentation sur pages imprimées, alors que le Format d'Échange de Données OMT (DIF) est une présentation conçue pour utiliser le modèle d'objets au travers d'outils logiciels. L'OMT consiste en quatorze composants, mais seule la table de Structure de Classe d'Objets, la table de Structure de Classe d'Interaction, la table d'Attribut, la table de Paramètre et le Lexique FOM/SOM comportent des informations impératives. Les autres tables sont utilisées pour définir des compléments d'information.

III.1.4 Spécification d'Interface

Le TABLEAU III.1.1 ci-dessous, montre les six catégories du service.

Catégories	Fonctionnalité
Gestion de fédération	Créer et détruire une exécution de fédération. Rejoindre et quitter une fédération. Sauvegarde et restauration d'une fédération
Gestion de déclaration	.Publier et souscrire des attributs d'une classe d'objets. .Publier et souscrire des classes d'interaction. .Etre informé des souscriptions actives.
Gestion d'objets	Créer et détruire des objets. Mettre à jour des attributs. Envoyer des interactions. Recevoir des mises à jours et interactions.
Gestion des propriétés	Soutient le transfère dynamique des propriétés de l'objet durant l'exécution.
Gestion du temps	.Faire avancer le temps logique (temps simulé) d'une manière coordonnée entre les fédérés. .Soutient la synchronisation du temps d'exécution pour l'échange de données de simulation. .Ce service fondamental et puissant mais complexe.
Gestion de distribution de données	.Optimiser les échange entre les fédérés. .Le cheminement efficace des données parmi les fédérés pendant une exécution d'une fédération.

TABLEAU III.1.1 : Tableau récapitulatif des différentes classes de services

Les spécifications d'interface de HLA définissent la manière dont ces services sont accessibles fonctionnellement. L'échange de données et autre variété de services sont également assurés par l'infrastructure d'exécution (RTI).

III.2 Algorithme d'intégration DEVS-HLA :

Nous présentons ci-dessous l'algorithme établi pour l'intégration des modèles DEVS-EPA dans un environnement HLA en vue d'assurer une avance dans le temps respectant les principes de causalité des événements.

```
do
  if (EstVide(Echeancier)&(EstNull(LITS)) AttenteAutorisation(); // si l'échéancier est vide il se met en attente.

  else if (EstVide(Echeancier)&(Not EstNull(LITS))// si l'échéancier est vide.
    Lookahead←Calcul_Lookahead(TempsActuel);
    modifyLookahead(Lookahead);
    modifyLookahead(Zero);
    NextMessageRequestAvailable(LITS);// alors demander l'avancement du temps à LITS.
    AttenteAutorisation();// il attend l'autorisation du RTI.

  else if (Not EstVide(Echeancier)) // s'il existe des évènements dans l'échéancier.
    TrierEcheancier(); // trier l'échéancier par ordre croissant suivant la date d'occurrence des événements.
    Evenement ← PremierElement(Echeancier); // Sélection du premier évènement.

    if (Date(Evenement) ≤LITS)
      AcceptAutorisation=True;//si la date du prochain évènement est inférieure à LITS il sera immédiatement traité.
      Lookahead←CalculLookahead(TempsActuel);
      modifyLookahead(Lookahead);
      modifyLookahead(Zero);
      NextMessageRequestAvailable(Date(Evenement));// alors demander l'avancement du temps à LITS.
      AttenteAutorisation();

    else if(Date(Evenement)>LITS)
      Lookahead←CalculLookahead(TempsActuel);
      modifyLookahead(Lookahead);
      modifyLookahead(Zero);
      TimeAdvanceRequestAvailable(LITS); // sinon il demande l'autorisation de traiter cette évènement.
      AttenteAutorisation();//attendre l'autorisation du RTI(voir description de cette fonction dans la section suivante).

  if ((AcceptAutorisation)& (Not EstVide(Echeancier))) // la partie qui traite les évènements après la réponse du RTI.
    TrierEcheancier();//trier l'échéancier par ordre croissant suivant la date d'occurrence des événements
    Evenement ← PremierElement(Echeancier);// Sélection du premier évènement.
    if (Date(Evenement) ≤LBTS);// si la date du l' évènement est inférieure à LBTS il sera immédiatement traité.
      Supprimer(Evenement) ; //suppression de l'évènement à traiter.
      TraitementEvent(Evenement);// Traitement de l'évènement sélectionné(voir la
        description de cette fonction dans la section suivante).
    else AcceptAutorisation← False;//sinon ne devons reboucler, et commençant dès le début.

while Not(FinSimulation) // si la simulation est encore en route.
```

III.2.1 Représentation des évènements :

Les évènements sont représentés par une classe d'objets "StructEvent" comportant : le type de l'évènement, le type de données qu'il transmet, la date d'occurrence, la source de l'évènement c.-à-d. le simulateur qui l'a généré, ainsi que la valeur de la donnée transportée par cet évènement. Cette valeur peut être soit les TrameAOs ou les TrameRAOs définissant respectivement les AOs et les RAOs.

III.2.2 Attendre une autorisation :

La fonction AttenteAutorisation est employée quand le noyau attend une réponse venant de la RTI lors d'une demande invoqué au préalable. Pour ce faire, nous utilisons un objet

“AutorisationSemaphore” avec lequel nous obligeons le noyau d’attendre (Wait) jusqu’à ce que la RTI envoie la réponse.

- Le fédéré peut recevoir une demande d’autorisation TimeAdvanceGrant, pour cela nous devons réveiller (notify) le noyau.
- Il peut aussi recevoir des messages par receiveInteraction, pour cela nous devons appeler la méthode ExtractionEvenement qui permet d’extraire un événement d’entrée et de l’insérer dans l’échéancier, ces événements sont représentés par des Trames AOs ou des Trames RAOs.
- A partir de l’interface utilisateur, nous pouvons aussi insérer des événements qui représentent nos AOs locales lancés ou bien d’autres fonctionnalités offertes aux utilisateurs.

III.2.3 Traitement des événements :

La méthode *TraitementEvent* permet de traiter le premier événement de l’échéancier. En sélectionnant sa destination :

- Si l’évènement sélectionné est un événement d’entrée ou interne, nous procédons à l’envoi de celui-ci vers le simulateur concerné.
- Si l’évènement est un événement de sortie, nous convertissons l’évènement en un événement d’entrée, en suite, de la même façon, cet événement est envoyé vers le simulateur concerné. Toute fois, nous testons également, s’il y a des fédérés qui sont intéressés par cet événement (qui représente en général un AO local ou bien une réponse à un AO). S’il existe des fédérés intéressés, nous appelons la méthode sendInteraction de la classe RTIAmbassador afin de diffuser cet événement.

La méthode SendMessage a comme valeur de sortie une liste.

- Si elle contient un événement de sortie, nous devons insérer cet événement dans l’échéancier. Par la suite, nous supprimons l’évènement interne destiné à ce simulateur se trouvant dans l’échéancier.
- Si elle contient un événement de type L, c.-à-d. un événement qui porte la valeur de lookahead de ce simulateur. Nous devons insérer cet événement dans une liste qui contient les valeurs de lookahead.

III.2.4 Calcul du Lookahead :

La méthode *CalculLookahead* permet de calculer le lookahead, pour ce faire, nous devons parcourir deux listes.

- La première correspond à l’échéancier, nous devons obtenir la date du premier événement interne.
- La deuxième c’est une liste qui contient tous les lookahead des modèles atomique (simulateur).

Par la suite, le lookahead égale au minimum entre la valeur du premier événement interne et le lookahead trouvé lors de parcours de la liste contenant tous les lookahead des modèles atomique (deuxième liste).

III.3 Elaboration du jeu de données

III.3.1 Dimensionnement des entreprises et des chaînes logistiques

Métiers	Entreprises	Activités	Codes activités	Charge/activ	Capa Max /activité	Nbre ressources/activ
Conception et fabrication de produits cosmétiques	A1	Conception fabrication produits cosmétiques	Fcos	462,5	490	13
		Fabrication produits plastiques	Fplas	340,2777778	350	9
		Conditionnement en verre de produits	Cver	9,722222222	15	1
		Bouchage	Bouch	29,16666667	35	1
		Etiquetage	Etiq	69,44444444	75	2
		Assemblage produits	Ass	138,8888889	145	4
	A2	Conception et Fabrication produits cosmétiques	Fcos	63,33333333	70	2
		Conditionnement plastique des produits	Cplas	30	34	1
		Bouchage	Bouch		5	
		Etiquetage	Etiq	15	16	1
		Assemblage produits	Ass		5	
	A3	Conception Fabrication produits cosmétiques	Fcos	243,3333333	260	7
	A4	Conception Fabrication produits cosmétiques	Fcos	69,44444444	80	2
		Conditionnement en verre de produits	Cver	41,66666667	45	2
		Bouchage	Bouch	41,66666667	45	2
Etiquetage		Etiq		5		
Assemblage		Ass	26,66666667	30	1	
Fabrication emballage papier carton - Conditionnement	B1	Fabrication transformation papier carton	Fpap	158,3333333	165	5
		Conditionnement en papier de produits	Cpap	31,66666667	40	1
	B2	Fabrication transformation papier carton	Fpap	256,9444444	280	7
B3	Conditionnement en papier de produits	Cpap	48,61111111	55	2	
	Impression	Impr	191,6666667	195	5	
Fabrication produits plastiques - Conditionnement	C1	Fabrication produits plastiques	Fplas	51,66666667	55	2
		Conditionnement plastique de produits	Cplas		5	
		Bouchage	Bouch		5	
		Etiquetage	Etiq		5	
		Assemblage	Ass		5	
	C2	Fabrication produits plastiques	Fplas	162,2222222	170	5
		Conditionnement plastique de produits	Cplas		5	
		Bouchage	Bouch		5	
		Etiquetage	Etiq		5	
		Assemblage	Ass		5	
C3	Fabrication produits plastiques	Fplas	211,9444444	220	6	
	Conditionnement plastique de produits	Cplas		5		
	Bouchage	Bouch		5		
	Etiquetage	Etiq	11,11111111	15	1	
	Assemblage	Ass	44,44444444	50	2	
Fabrication produits en verre - Conditionnement	D1	Fabrication tube souple	Fts	37,7777778	44	2
		Conditionnement tube souple	Cts	14,44444444	16	1
		Bouchage	Bouch	64,16666667	70	2
		Etiquetage	Etiq		5	
		Fabrication Emballage en verre	Fver	83,33333333	90	3
		Conditionnement en verre de liquide	Cver	6,944444444	10	1
	D2	Assemblage	Ass		5	
		Fabrication tube souple	Fts	25	30	1
		Conditionnement tube souple	Cts	8,333333333	10	1
		Bouchage	Bouch	16,66666667	20	1
		Fabrication Emballage en verre	Fver	95,2777778	100	3
		Conditionnement en verre de liquide	Cver		5	
	D3	Assemblage	Ass		5	
		Fabrication tube souple	Fts		5	
		Conditionnement tube souple	Cts		5	
		Bouchage	Bouch	22,22222222	30	1
		Etiquetage	Etiq		5	
		Fabrication Emballage en verre	Fver	60,55555556	70	2
E1	Conditionnement en verre de liquide	Cver	11,11111111	15	1	
	Assemblage	Ass	44,44444444	50	2	
Fabrication transformation de papier	E2	Fabrication transformation papier (carton, étiquettes...)	Fpap	281,9444444	300	8
		Fabrication transformation papier (carton, étiquettes...)	Fpap	119,1666667	130	4
Impression sur plastique, papier, verre	M1	Impression	Impr	134,1666667	138	4
		Sérigraphie	Serig	100,2777778	112	3
	M2	Impression	Impr	234,4444444	250	7
		Sérigraphie	Serig	129,7222222	135	4

TABLEAU III.3.1 : Dimensionnement initial des entreprises

Produits	Nomenclature	Type	Chaîne / Etapes	Chaîne / Entreprises	Tps unit (sec)	Quantités	Charge par produit	Approvisionnement	
PF1	Produit Emballage plastique Emballage papier	1	Fabrication produit	A2	2	30000	16,6666667		
			Conditionnement plastique	A2	2	30000	16,6666667	C1 (emballages plastique)	
			Etiquetage	A2	1	30000	8,33333333	E2 (Etiquettes)	
			Impression	M1	2	30000	16,6666667		
			<i>Retour de M1 vers A2</i>						
			Fabrication transformation papier	B1	5	30000	41,6666667		
			Conditionnement papier du produit	B1	1	30000	8,33333333		
			Sérigraphie	M1	2	30000	16,6666667		
			<i>Retour de M1 vers B1</i> <i>Retour de B1 vers A2</i>						
		2	Fabrication produit	A2	4	24000	26,6666667		
			Conditionnement plastique	A2	2	24000	13,3333333	C1 (emballages plastique)	
			Etiquetage	A2	1	24000	6,6666667	E2 (Etiquettes)	
			Impression	M1	3	24000	20		
			<i>Retour de M1 vers A2</i>						
			Fabrication transformation papier	B1	5	24000	33,3333333		
			Conditionnement papier	B1	1	24000	6,6666667		
			Sérigraphie	M1	4	24000	26,6666667		
			<i>Retour de M1 vers B1</i> <i>Retour de B1 vers A2</i>						
PF2	Produit Emballage tube souple Emballage papier	3	Fabrication produit	A3	3	20000	16,6666667		
			Fabrication tube souple	D1	2	20000	11,1111111		
			Conditionnement tube souple	D1	1	20000	5,5555556		
			Bouchage	D1	3	20000	16,6666667	C2 (Bouchons)	
			Impression	M2	2	20000	11,1111111		
			<i>Retour de M2 vers D1</i>						
			Conditionnement papier	B3	2	20000	11,1111111	E1(Emballage papier)	
			Sérigraphie	M2	2	20000	11,1111111		
			<i>Retour de M2 vers B3</i> <i>Retour de B3 vers D1</i> <i>Retour de D1 vers A3</i>						
			4	Fabrication produit	A3	4	15000	16,6666667	
				Fabrication tube souple	D1	3	15000	12,5	
				Conditionnement tube souple	D1	1	15000	4,1666667	
		Bouchage		D1	3	15000	12,5	C2 (Bouchons)	
		Impression		M2	3	15000	12,5		
		<i>Retour de M2 vers D1</i>							
		Conditionnement papier		B3	2	15000	8,3333333	E1(Emballages papier)	
		Sérigraphie		M2	3	15000	12,5		
		<i>Retour de M2 vers B3</i> <i>Retour de B3 vers D1</i> <i>Retour de D1 vers A3</i>							
		5		Fabrication produit	A3	1	30000	8,3333333	
				Fabrication tube souple	D2	3	30000	25	
				Conditionnement tube souple	D2	1	30000	8,3333333	
			Bouchage	D2	2	30000	16,6666667	C3 (Bouchons)	
			Impression	M1	2	30000	16,6666667		
			<i>Retour de M1 vers D2</i>						
			Conditionnement papier	B3	2	30000	16,6666667	E1 (Emballages papier)	
			Sérigraphie	M2	2	30000	16,6666667		
			<i>Retour de M2 vers B3</i> <i>Retour de B3 vers D2</i> <i>Retour de D2 vers A3</i>						
			6	Fabrication produit	A4	4	17000	18,8888889	
				Fabrication tube souple	D1	3	17000	14,1666667	
				Conditionnement tube souple	D1	1	17000	4,7222222	
Bouchage	D1	3		17000	14,1666667	C2 (Bouchons)			
Impression	M2	3		17000	14,1666667				
<i>Retour de M2 vers D1</i>									
Conditionnement papier	B3	2		17000	9,4444444	E1 (Emballages Papier)			
Sérigraphie	M2	4		17000	18,8888889				
<i>Retour de M2 vers B3</i> <i>Retour de B3 vers D1</i> <i>Retour de D1 vers A4</i>									

PF3	Produit Emballage en verre Emballage papier	7	Fabrication produit	A4	2	43000	23,88888889	
			Conditionnement en verre de liquide	A4	2	43000	23,88888889	D2 (Emballages en verre)
			Bouchage	A4	2	43000	23,88888889	C3 (Bouchons)
			Impression	M2	2	43000	23,88888889	
			<i>Retour de M2 vers A4</i>					
			Conditionnement papier	B3	2	43000	23,88888889	E1 (Emballages papier)
		8	Sérigraphie	M2	2	43000	23,88888889	
			<i>Retour de M2 vers B3</i>					
			<i>Retour de B3 vers A4</i>					
			Fabrication produit	A1	2	35000	19,44444444	
			Conditionnement en verre de liquide	A1	1	35000	9,722222222	D1 (Emballages en verre)
			Bouchage	A1	3	35000	29,16666667	C2 (Bouchons)
		9	Impression	M1	3	35000	29,16666667	
			<i>Retour de M1 vers A1</i>					
			Fabrication transformation papier	B1	5	35000	48,61111111	
			Conditionnement papier	B1	1	35000	9,722222222	
			Sérigraphie	M1	3	35000	29,16666667	
			<i>Retour de M1 vers B1</i>					
		10	<i>Retour de B1 vers A1</i>					
			Fabrication produit	A3	4	25000	27,77777778	
			Fabrication Emballage en verre	D1	5	25000	34,72222222	
Conditionnement en verre de liquide	D1		1	25000	6,944444444			
Bouchage	D1		3	25000	20,83333333	C2 (Bouchons)		
Impression	M2		4	25000	27,77777778			
<i>Retour de M2 vers D1</i>								
Fabrication transformation papier	B1		5	25000	34,72222222			
Conditionnement papier	B1		1	25000	6,944444444			
Sérigraphie	M1		4	25000	27,77777778			
<i>Retour de M1 vers B1</i>								
<i>Retour de B1 vers D1</i>								
<i>Retour de D1 vers A3</i>								
PF4	Produit Emballage en verre Emballage papier	10	Fabrication produit	A2	4	18000	20	
			Fabrication emballage en verre	D3	6	18000	30	
			Flaconnage en verre de liquide	D3	1	18000	5	
			Assemblage vaporisateur	D3	4	18000	20	C2 (Vaporisateurs)
			Bouchage	D3	2	18000	10	C3 (Bouchons)
			Impression	M2	3	18000	15	
			<i>Retour de M2 vers D3</i>					
			Fabrication transformation papier	B2	6	18000	30	
			Conditionnement papier	B2	1	18000	5	
			Sérigraphie	B2	3	18000	15	
			<i>Retour de B2 vers D3</i>					
			<i>Retour de D3 vers A2</i>					
		11	Fabrication produit	A4	3	32000	26,66666667	
			Flaconnage en verre de liquide	A4	2	32000	17,77777778	D2 (Emballages en verres)
			Assemblage vaporisateur	A4	3	32000	26,66666667	C2 (Vaporisateurs)
			Bouchage	A4	2	32000	17,77777778	C3 (Bouchons)
			Impression	M2	4	32000	35,55555556	
			<i>Retour de M2 vers A4</i>					
		12	Fabrication transformation papier	B2	6	32000	53,33333333	
			Conditionnement papier	B2	1	32000	8,888888889	
			Sérigraphie	B2	3	32000	26,66666667	
			<i>Retour de B2 vers A4</i>					
			Fabrication produit	A3	3	22000	18,33333333	
			Fabrication emballage en verre	D3	5	22000	30,55555556	
		12	Flaconnage en verre de liquide	D3	1	22000	6,111111111	
			Assemblage vaporisateur	D3	4	22000	24,44444444	C2 (Vaporisateurs)
			Bouchage	D3	2	22000	12,22222222	C3 (Bouchons)
			Impression	M1	3	22000	18,33333333	
			<i>Retour de M1 vers D3</i>					
			Conditionnement papier	B3	2	22000	12,22222222	E1 (Emballage papier)
Sérigraphie	M2		4	22000	24,44444444			
<i>Retour de M2 vers B3</i>								
<i>Retour de B3 vers D3</i>								
<i>Retour de D3 vers A3</i>								

PFS	Produit1 Produit2 Produit3 (plastique) Emballage papier	13	Fabrication produit1	A3	4	40000	44,4444444		
			Fabrication produit2	A3	10	40000	111,1111111		
			Fabrication produit3	C3	10	40000	111,1111111		
			Etiquetage produit3	C3	1	40000	11,1111111	E1 (Etiquettes)	
			Impression produit3	M1	3	40000	33,3333333		
			Assemblage 1/ 2/ 3	C3	4	40000	44,4444444		
			Fabrication transformation papier	B2	5	40000	55,5555556		
			Conditionnement papier	B2	1	40000	11,1111111		
			Sérigraphie	B2	4	40000	44,4444444		
			<i>Retour de B2 vers C3</i>						
			<i>Retour de C3 vers A3</i>						
			14	Fabrication produit1	A1	3	40000	33,3333333	
				Fabrication produit2	A1	9	40000	100	
		Fabrication produit3		A1	7	40000	77,7777778		
		Etiquetage produit3		A1	2	40000	22,2222222	E2 (Etiquettes)	
		Impression produit3		M2	2	40000	22,2222222		
		Assemblage 1/ 2/ 3		A1	4	40000	44,4444444		
		Conditionnement papier		B3	2	40000	22,2222222	E1 (Emballages papier)	
		Sérigraphie		M2	2	40000	22,2222222		
		<i>Retour de M2 vers B3</i>							
		<i>Retour de B3 vers A1</i>							
		15		Fabrication produit1	A1	3	40000	33,3333333	
				Fabrication produit2	A1	8	40000	88,8888889	
				Fabrication produit3	A1	9	40000	100	
			Etiquetage produit3	A1	2	40000	22,2222222	E2 (Etiquettes)	
			Impression produit3	M2	2	40000	22,2222222		
			Assemblage 1/ 2/ 3	A1	4	40000	44,4444444		
			Fabrication transformation papier	B2	5	40000	55,5555556		
			Conditionnement papier	B2	1	40000	11,1111111		
			Sérigraphie	B2	5	40000	55,5555556		
			<i>Retour de B2 vers A1</i>						
			16	Fabrication produit1	A1	4	45000	50	
				Fabrication produit2	A1	11	45000	137,5	
				Fabrication produit3	A1	13	45000	162,5	
		Etiquetage produit3		A1	2	45000	25	E2 (Etiquettes)	
		Impression produit3		M2	4	45000	50		
		Assemblage 1/ 2/ 3		A1	4	45000	50		
		Fabrication transformation papier		B2	5	45000	62,5		
		Conditionnement papier		B2	1	45000	12,5		
		Sérigraphie		B2	4	45000	50		
		<i>Retour de B2 vers A1</i>							

TABLEAU III.3.2 : Dimensionnement des chaînes logistiques

III.3.2 Flux des différents produits et chaînes logistiques associées

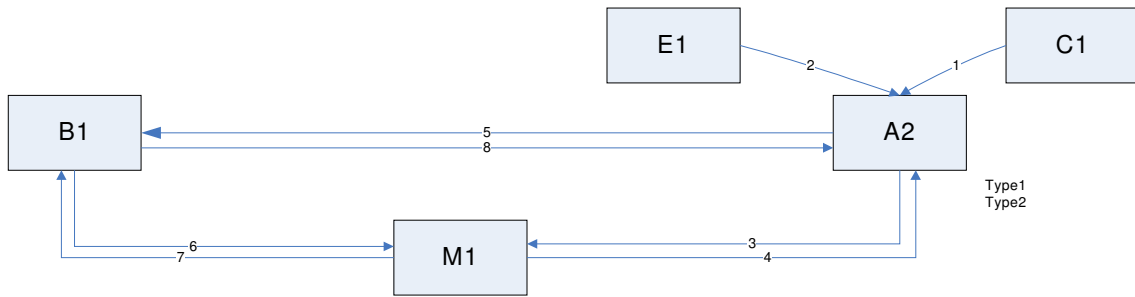


FIGURE III.3.1 : Représentation des Flux des deux types d produit 1

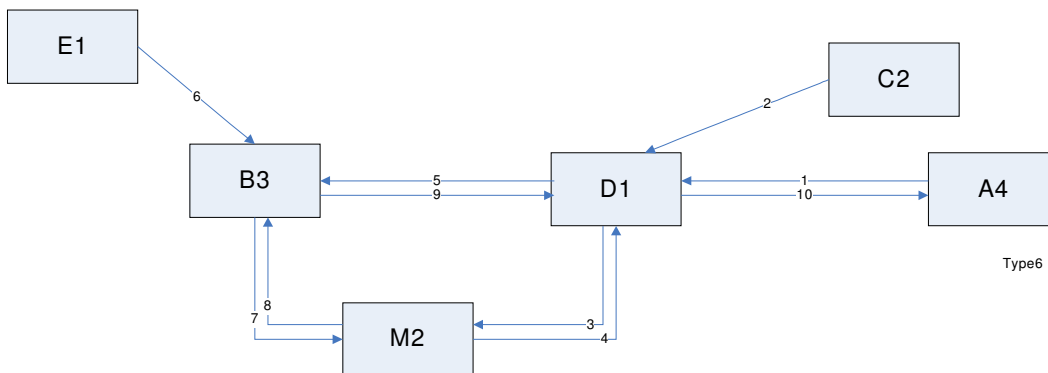
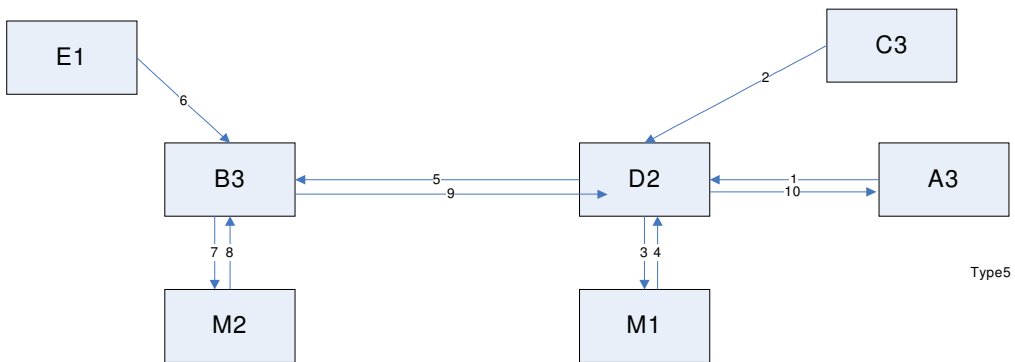
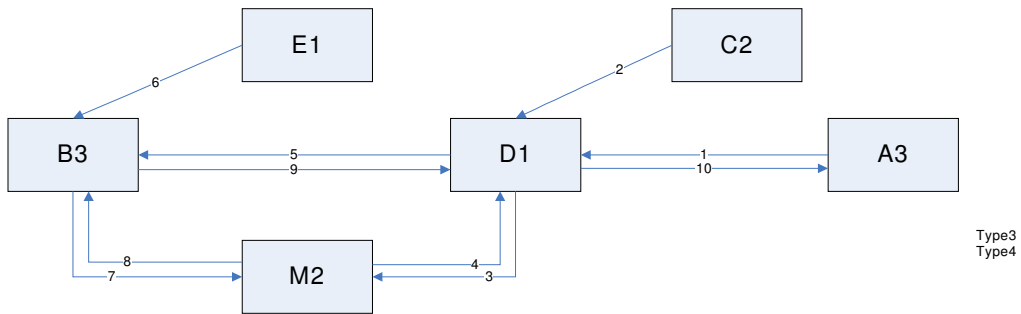
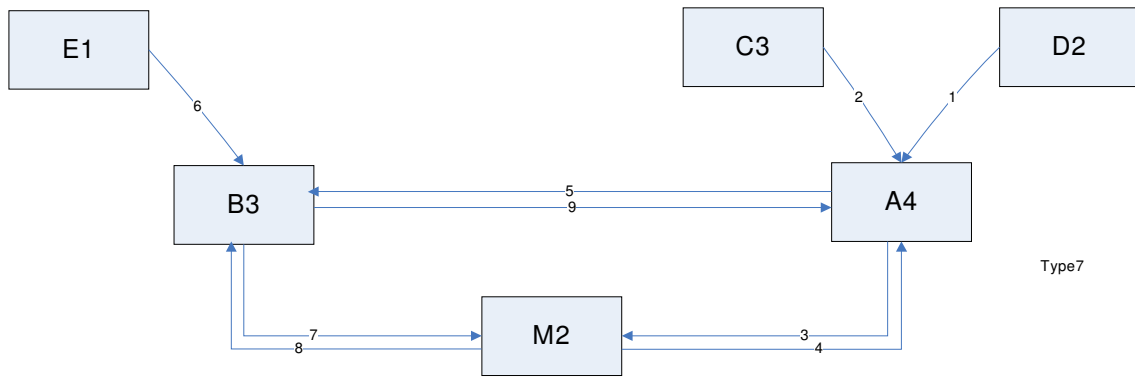
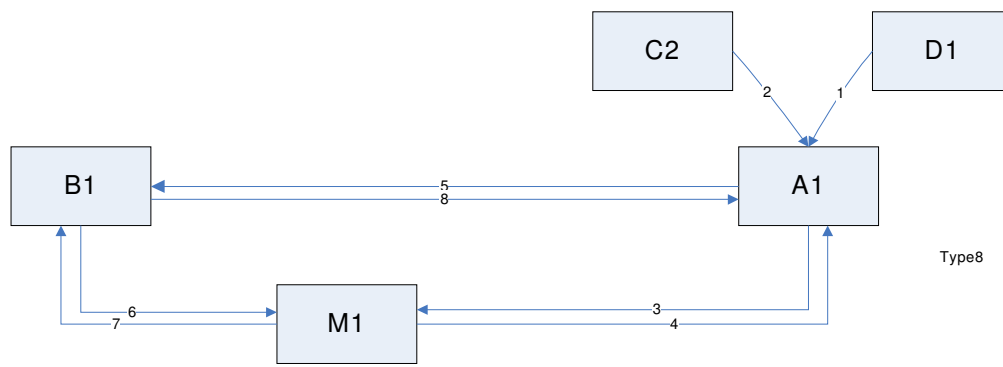


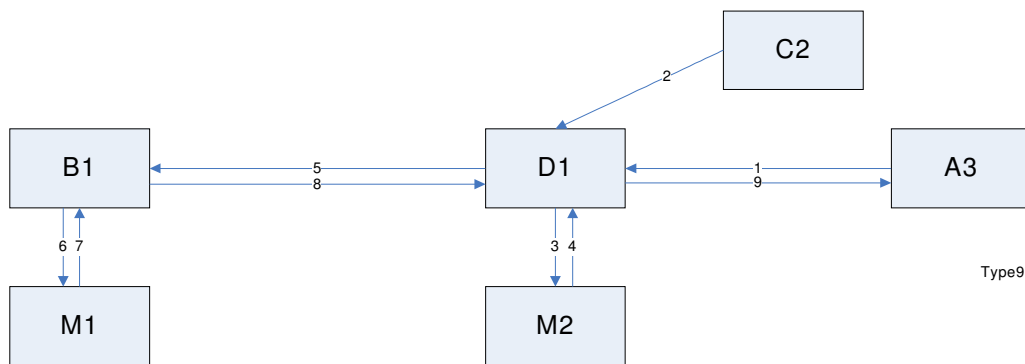
FIGURE III.3.2 : Représentation des Flux des quatre types du produit 2



Type7



Type8



Type9

FIGURE III.3.3: Représentation des Flux des trois types du produit 3

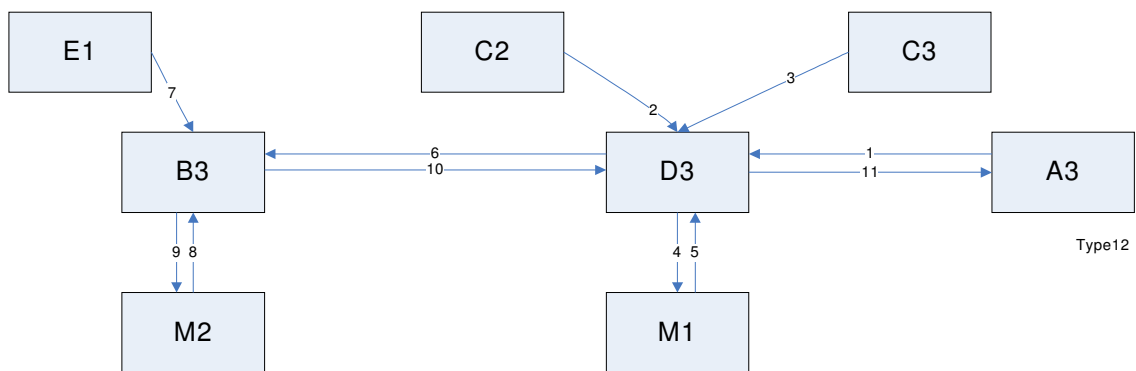
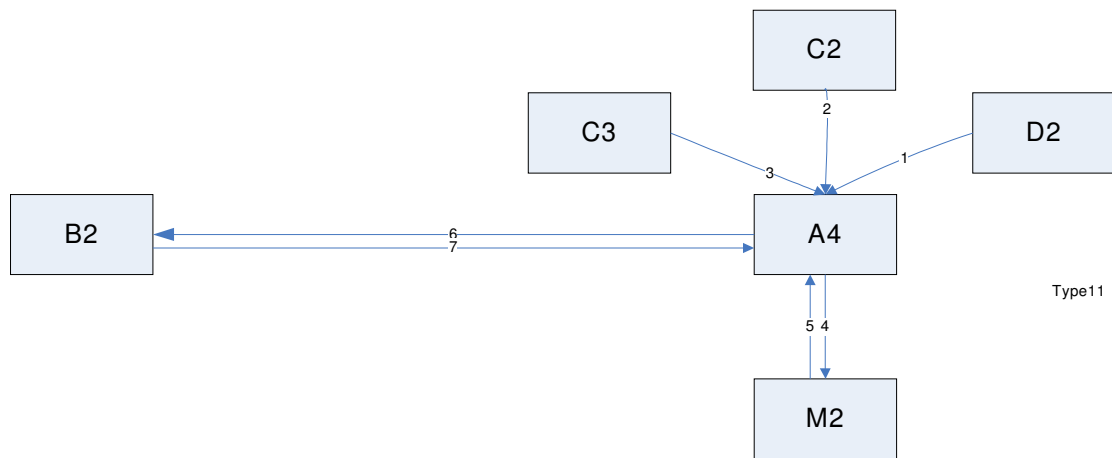
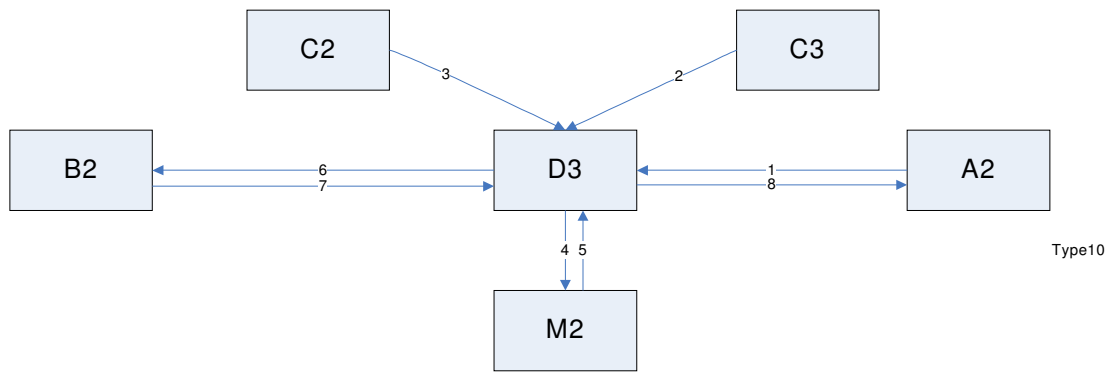
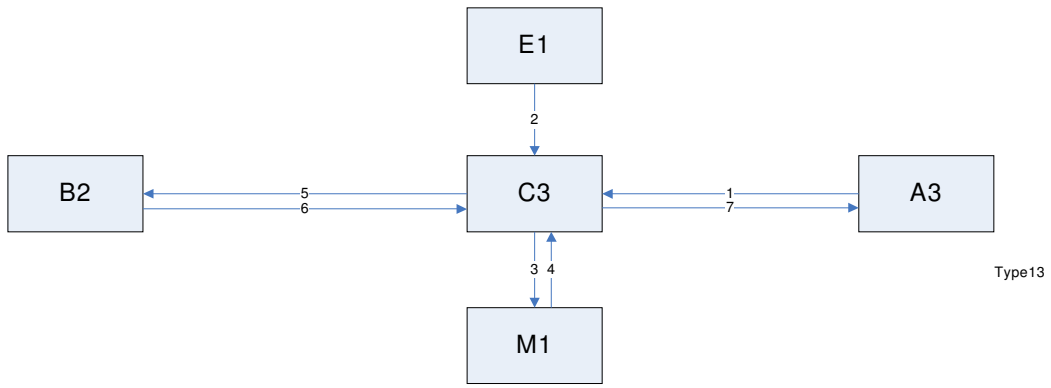
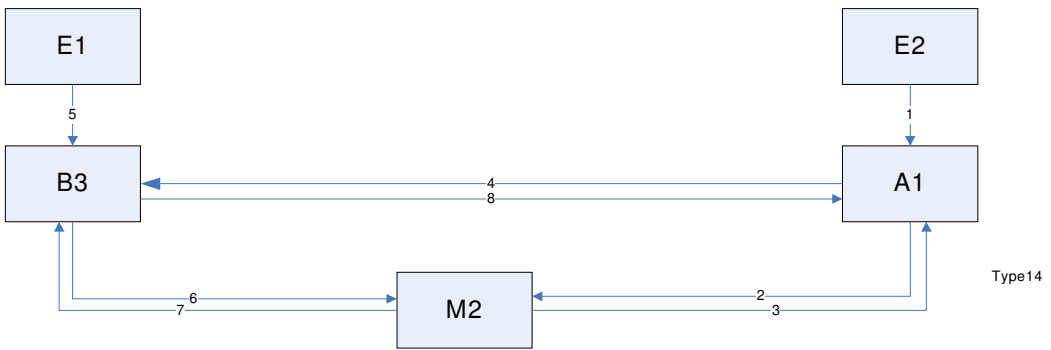


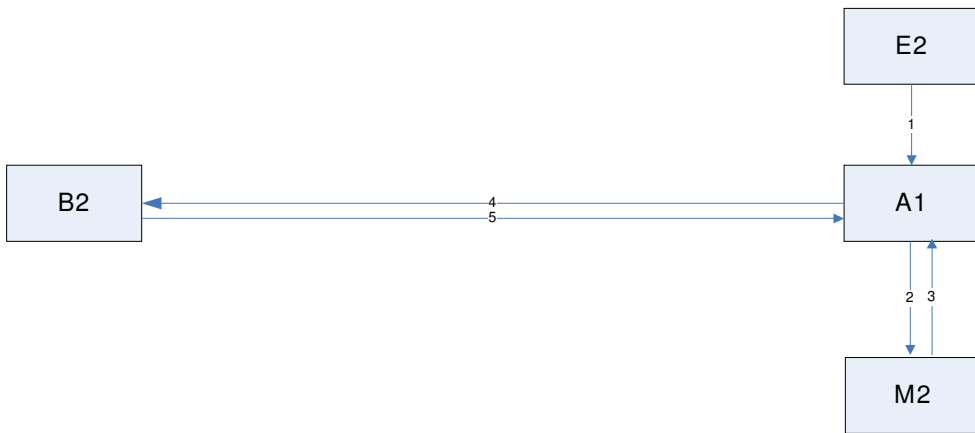
FIGURE III.3.4 : Représentation des Flux des trois types du produit 4.



Type13



Type14



Type15
Type16

FIGURE III.3.5 : Représentation des Flux des quatre types du produit 5.

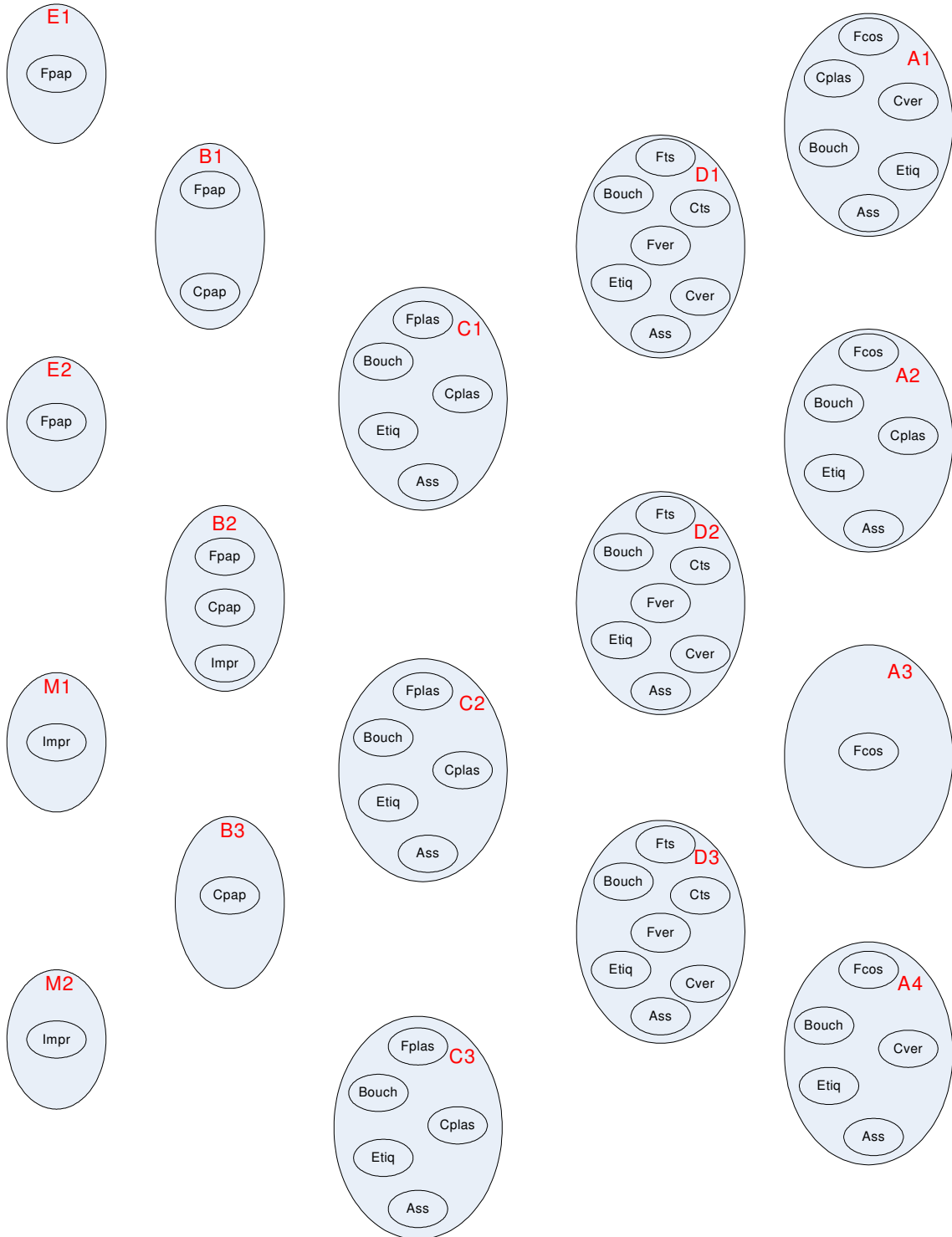


FIGURE III.3.6 : Les activités/entreprise.

Récapitulatif

Entreprises	Charges	Capacité initiale en h/semaine	Chargée à x% de sa capacité
A1	1050	1110	94,59459459
A2	108,3333333	130	83,33333333
A3	243,3333333	260	93,58974359
A4	179,4444444	205	87,53387534
B1	190	205	92,68292683
B2	497,2222222	530	93,81551363
B3	103,8888889	110	94,44444444
C1	51,6666667	75	68,88888889
C2	162,2222222	190	85,38011696
C3	267,5	295	90,6779661
D1	206,6666667	240	86,11111111
D2	145,2777778	170	85,45751634
D3	138,3333333	180	76,85185185
E1	281,9444444	300	93,98148148
E2	119,1666667	130	91,66666667
M1	234,4444444	250	93,77777778
M2	364,1666667	385	94,58874459

TABLEAU III.3.3 : Charge globale et capacité/entreprise.

III.4 Modélisation ARENA

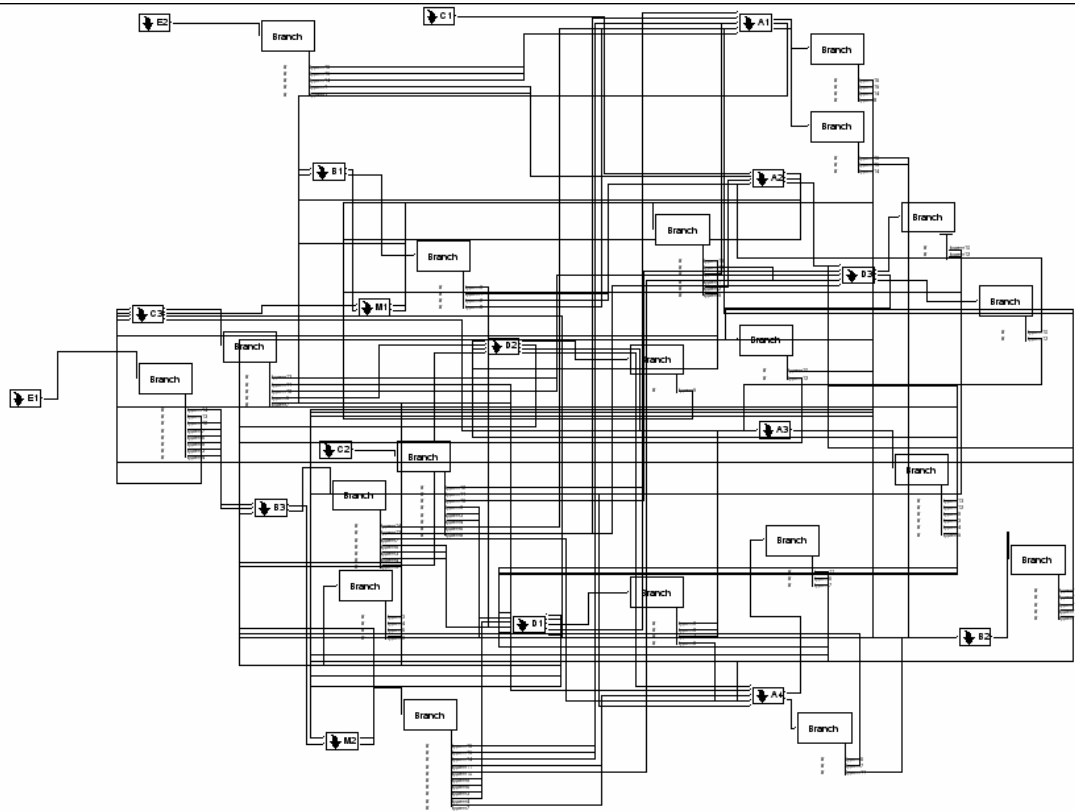


FIGURE III.4.1 : Modèle global ARENA.

III.4.1 Exemples de sous modèles d'entreprises sous Arena

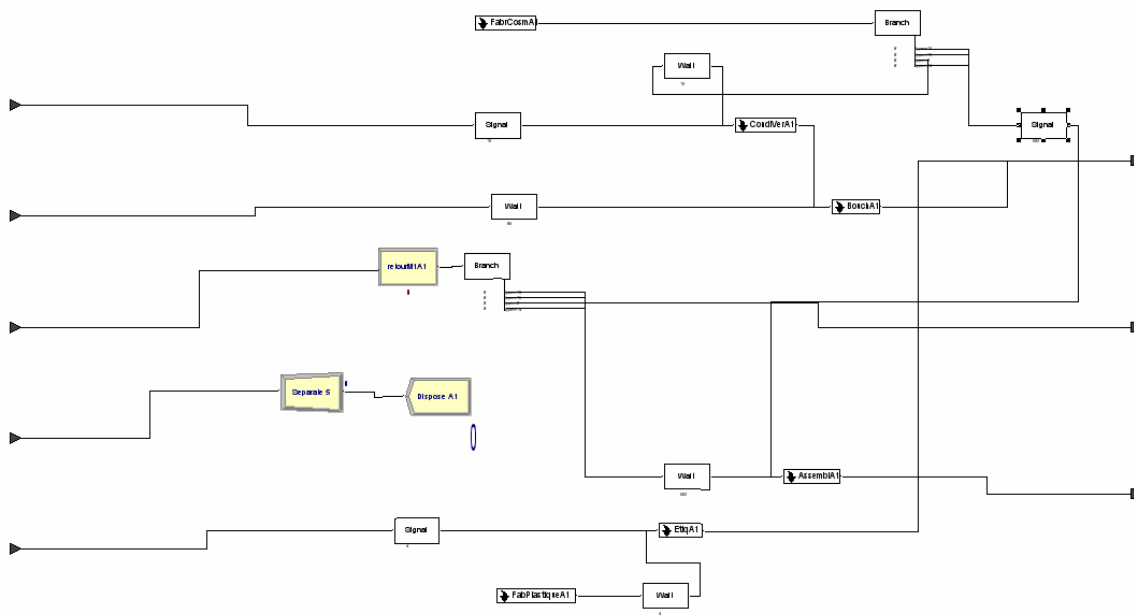


FIGURE III.4.2 : Modèle de l'entreprise A1.

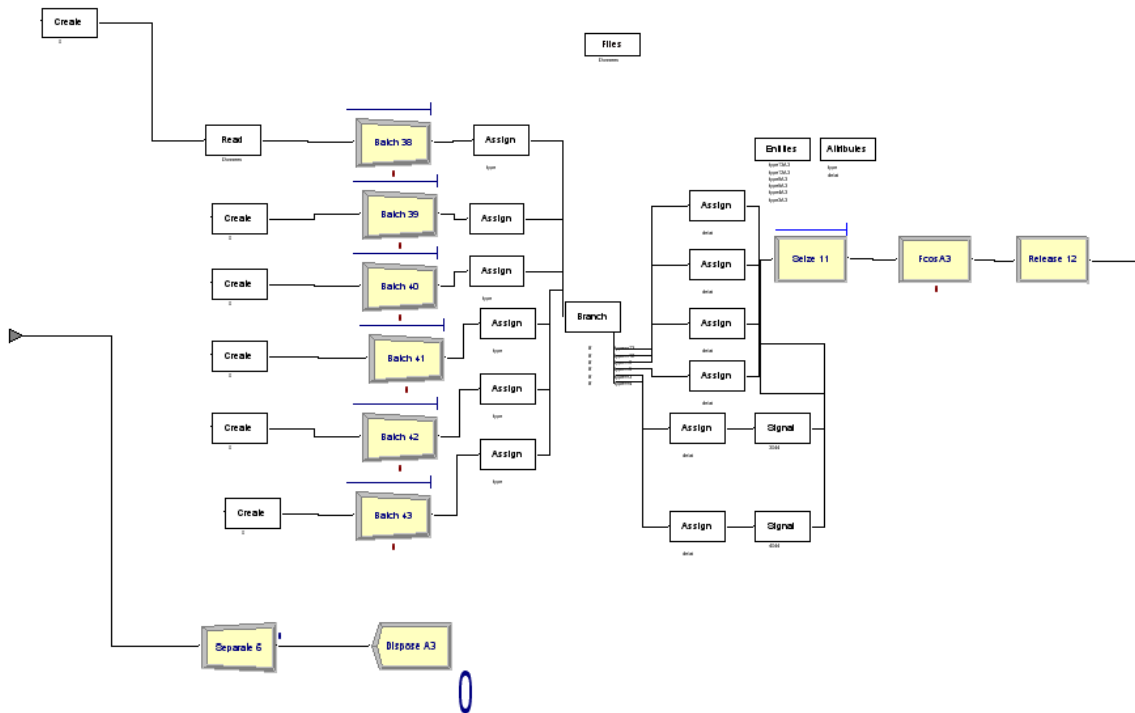


FIGURE III.4.3 : Modèle de A3.

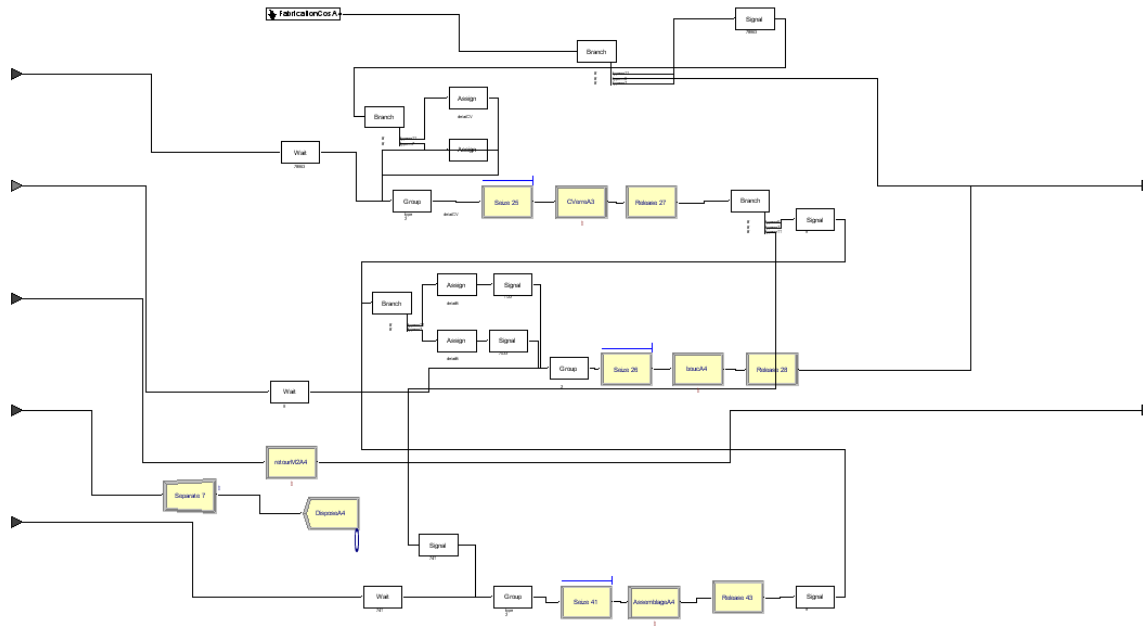


FIGURE III.4.4 : Modèle de A4.

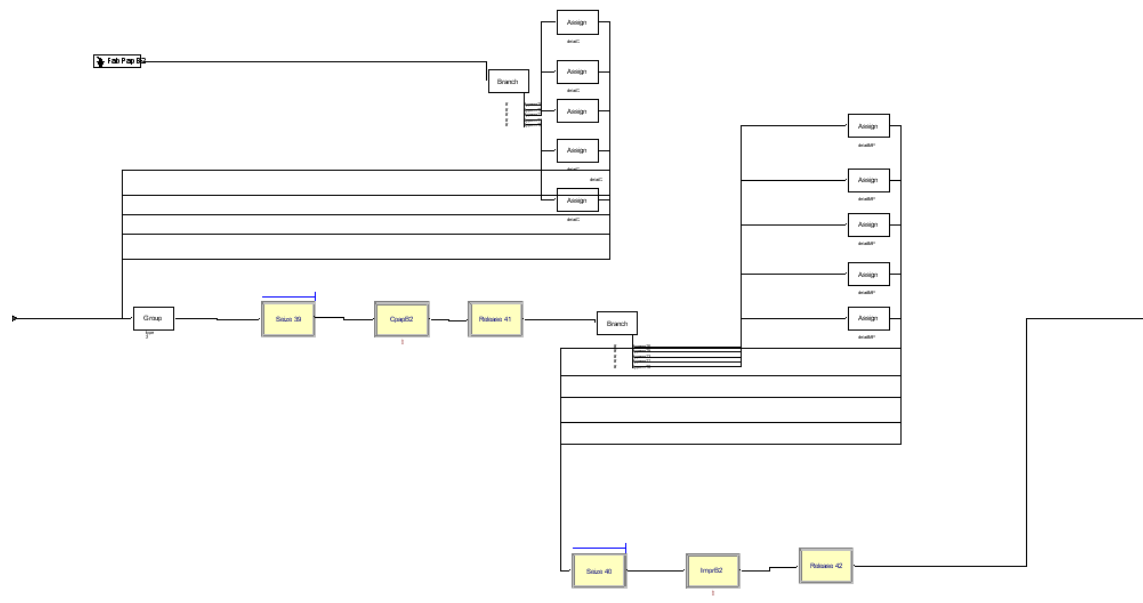


FIGURE III.4.5 : Modèle de B2.

III.4.2 Tableau de données et de dimensionnements

Produits	Type	Chaîne / Etapes / Approvisionnement	Délai	Variables
PF1	Type 1	Fabrication produit	30000	A2F1
PF1	Type 1	Conditionnement plastique	60000	A2C1
PF1	Type 1	Etiquetage	30000	A2E1
PF1	Type 1	Impression	15000	M1I1
PF1	Type 1	Fabrication transformation papier	30000	B1F1
PF1	Type 1	Conditionnement papier du produit	30000	B1C1
PF1	Type 1	Sérigraphie	20000	M1S1
PF1	Type 1	C1 (emballages plastique)	45000	AC11
PF1	Type 1	E2 (Etiquettes)	7500	AE21
PF1	Type 2	Fabrication produit	48000	A2F2
PF1	Type 2	Conditionnement plastique	48000	A2C2
PF1	Type 2	Etiquetage	24000	A2E2
PF1	Type 2	Impression	18000	M1I2
PF1	Type 2	Fabrication transformation papier	24000	B1F2
PF1	Type 2	Conditionnement papier	24000	B1C2
PF1	Type 2	Sérigraphie	32000	M1S2
PF1	Type 2	C1 (emballages plastique)	48000	AC12
PF1	Type 2	E2 (Etiquettes)	6000	AE22
PF2	Type 3	Fabrication produit	8571,428571	A3F3
PF2	Type 3	Fabrication tube souple	20000	D1F3
PF2	Type 3	Conditionnement tube souple	20000	D1C3
PF2	Type 3	Bouchage	30000	D1B3
PF2	Type 3	Impression	5714,285714	M2I3
PF2	Type 3	Conditionnement papier	13333,33333	B3C3
PF2	Type 3	Sérigraphie	10000	M2S3
PF2	Type 3	C2 (Bouchons)	12000	AC23
PF2	Type 3	E1(Emballage papier)	12500	AE13
PF2	Type 4	Fabrication produit	8571,428571	A3F4
PF2	Type 4	Fabrication tube souple	22500	D1F4
PF2	Type 4	Conditionnement tube souple	15000	D1C4
PF2	Type 4	Bouchage	22500	D1B4
PF2	Type 4	Impression	6428,571429	M2I4
PF2	Type 4	Conditionnement papier	10000	B3C4
PF2	Type 4	Sérigraphie	11250	M2S4
PF2	Type 4	C2 (Bouchons)	12000	AC24
PF2	Type 4	E1(Emballage papier)	9375	AE14
PF2	Type 5	Fabrication produit	4285,714286	A3F5
PF2	Type 5	Fabrication tube souple	90000	D2F5
PF2	Type 5	Conditionnement tube souple	30000	D2C5
PF2	Type 5	Bouchage	60000	D2B5
PF2	Type 5	Impression	15000	M1I5
PF2	Type 5	Conditionnement papier	20000	B3C5
PF2	Type 5	Sérigraphie	15000	M2S5
PF2	Type 5	C3 (Bouchons)	15000	AC35
PF2	Type 5	E1(Emballage papier)	18750	AE15

PF2	Type 6	Fabrication produit	34000	A4F6
PF2	Type 6	Fabrication tube souple	25500	D1F6
PF2	Type 6	Conditionnement tube souple	17000	D1C6
PF2	Type 6	Bouchage	25500	D1B6
PF2	Type 6	Impression	7285,714286	M2I6
PF2	Type 6	Conditionnement papier	11333,33333	B3C6
PF2	Type 6	Sérigraphie	17000	M2S6
PF2	Type 6	C2 (Bouchons)	13600	AC26
PF2	Type 6	E1 (Emballage papier)	10625	AE16
PF3	Type 7	Fabrication produit	43000	A4F7
PF3	Type 7	Conditionnement en verre de liquide	43000	A4C7
PF3	Type 7	Bouchage	43000	A4B7
PF3	Type 7	Impression	12285,71429	M2I7
PF3	Type 7	Conditionnement papier	28666,66667	B3C7
PF3	Type 7	Sérigraphie	21500	M2S7
PF3	Type 7	D2 (Emballages en verre)	71666,66667	AD27
PF3	Type 7	C3 (Bouchons)	21500	AC37
PF3	Type 7	E1 (Emballages papier)	26875	AE17
PF3	Type 8	Fabrication produit	7777,777778	A1F8
PF3	Type 8	Conditionnement en verre de liquide	35000	A1C8
PF3	Type 8	Bouchage	105000	A1B8
PF3	Type 8	Impression	26250	M1I8
PF3	Type 8	Fabrication transformation papier	35000	B1F8
PF3	Type 8	Conditionnement papier	35000	B1C8
PF3	Type 8	Sérigraphie	26250	M1S8
PF3	Type 8	D1 (Emballages en verre)	58333,33333	AD18
PF3	Type 8	C2 (Bouchons)	21000	AC28
PF3	Type 9	Fabrication produit	14285,71429	A3F9
PF3	Type 9	Fabrication Emballage en verre	62500	D1F9
PF3	Type 9	Conditionnement en verre de liquide	25000	D1C9
PF3	Type 9	Bouchage	37500	D1B9
PF3	Type 9	Impression	14285,71429	M2I9
PF3	Type 9	Fabrication transformation papier	25000	B1F9
PF3	Type 9	Conditionnement papier	25000	B1C9
PF3	Type 9	Sérigraphie	33333,33333	M1S9
PF3	Type 9	D1 (Emballages en verre)	15000	AD19
PF4	Type 10	Fabrication produit	36000	A2F10
PF4	Type 10	Fabrication emballage en verre	54000	D3F10
PF4	Type 10	Flaconnage en verre de liquide	18000	D3FL10
PF4	Type 10	Assemblage vaporisateur	36000	D3A10
PF4	Type 10	Bouchage	36000	D3B10
PF4	Type 10	Impression	7714,285714	M2I10
PF4	Type 10	Fabrication transformation papier	15428,57143	B2F10
PF4	Type 10	Conditionnement papier	9000	B2C10
PF4	Type 10	Sérigraphie	10800	B2S10
PF4	Type 10	C2 (Vaporisateurs)	10800	AC210
PF4	Type 10	C3 (Bouchons)	6000	AC310

PF4	Type 11	Fabrication produit	48000	A4F11
PF4	Type 11	Flaconnage en verre de liquide	32000	A4FL11
PF4	Type 11	Assemblage vaporisateur	96000	A4A11
PF4	Type 11	Bouchage	32000	A4B11
PF4	Type 11	Impression	18285,71429	M2I11
PF4	Type 11	Fabrication transformation papier	27428,57143	B2F11
PF4	Type 11	Conditionnement papier	16000	B2C11
PF4	Type 11	Sérigraphie	19200	B2S11
PF4	Type 11	D2 (Emballaes en verres)	42666,66667	AD211
PF4	Type 11	C2 (Vaporisateurs)	19200	AC211
PF4	Type 11	C3 (Bouchons)	10666,66667	AC311
PF4	Type 12	Fabrication produit	9428,571429	A3F12
PF4	Type 12	Fabrication emballage en verre	55000	D3F12
PF4	Type 12	Flaconnage en verre de liquide	22000	D3FL12
PF4	Type 12	Assemblage vaporisateur	44000	D3A12
PF4	Type 12	Bouchage	44000	D3B12
PF4	Type 12	Impression	16500	M1I12
PF4	Type 12	Conditionnement papier	14666,66667	B3C12
PF4	Type 12	Sérigraphie	22000	M2S12
PF4	Type 12	C2 (Vaporisateurs)	13200	AC212
PF4	Type 12	C3 (Bouchons)	7333,333333	AC312
PF4	Type 12	E1 (Emballage papier)	13750	AE112
PF5	Type 13	Fabrication produit1	22857,14286	A3F13
PF5	Type 13	Fabrication produit2	57142,85714	A3FA13
PF5	Type 13	Fabrication produit3	66666,66667	C3F13
PF5	Type 13	Etiquetage produit3	40000	C3E13
PF5	Type 13	Impression produit3	30000	M1I13
PF5	Type 13	Assemblage 1/ 2/ 3	80000	C3A13
PF5	Type 13	Fabrication transformation papier	28571,42857	B2F13
PF5	Type 13	Conditionnement papier	20000	B2C13
PF5	Type 13	Sérigraphie	32000	B2S13
PF5	Type 13	E1 (Etiquettes)	15000	AE113
PF5	Type 14	Fabrication produit1	13333,33333	A1F114
PF5	Type 14	Fabrication produit2	40000	A1F214
PF5	Type 14	Fabrication produit3	31111,11111	A1F314
PF5	Type 14	Etiquetage produit3	40000	A1E14
PF5	Type 14	Impression produit3	11428,57143	M2I14
PF5	Type 14	Assemblage 1/ 2/ 3	40000	A1A14
PF5	Type 14	Conditionnement papier	26666,66667	B3C14
PF5	Type 14	Sérigraphie	20000	M2S14
PF5	Type 14	E2 (Etiquettes)	30000	AE214
PF5	Type 14	E1 (Emballages papier)	20000	AE114
PF5	Type 15	Fabrication produit1	13333,33333	A1F115
PF5	Type 15	Fabrication produit2	35555,55556	A1F215
PF5	Type 15	Fabrication produit3	40000	A1F315
PF5	Type 15	Etiquetage produit3	40000	A1E15
PF5	Type 15	Impression produit3	11428,57143	M2I15

PF5	Type 15	Assemblage 1/ 2/ 3	40000	A1A15
PF5	Type 15	Fabrication transformation papier	28571,42857	B2F15
PF5	Type 15	Conditionnement papier	20000	B2C15
PF5	Type 15	Sérigraphie	40000	B2S15
PF5	Type 15	E2 (Etiquettes)	30000	AE215
PF5	Type 16	Fabrication produit1	20000	A1F116
PF5	Type 16	Fabrication produit2	55000	A1F216
PF5	Type 16	Fabrication produit3	65000	A1F316
PF5	Type 16	Etiquetage produit3	45000	A1E15
PF5	Type 16	Impression produit3	25714,28571	M2I16
PF5	Type 16	Assemblage 1/ 2/ 3	45000	A1A16
PF5	Type 16	Fabrication transformation papier	32142,85714	B2F16
PF5	Type 16	Conditionnement papier	22500	B2C16
PF5	Type 16	Sérigraphie	36000	B2S16
PF5	Type 16	E2 (Etiquettes)	33750	AE216

TABLEAU III.4.1 : Tableau « Données ».

Transférer les données

Produits	Nomenclature	Type	Chaîne / Etapes	Chaîne / Entreprise	Tps unit (sec)	Quantité	Charge par	Approvisionnement	Quantités	Temps unit	Charge	Delai d'utilisation machin	Variables
PF1	Produit	Type 1	Fabrication produit	A2	2	120000	72,22222222						120000 A2F1
PF1	Emballage plastique	Type 1	Conditionnement plastique	A2	2	30000	16,66666667	C1 (emballages plastique)	30000	3	25		60000 A2C1
PF1	Emballage papier	Type 1	Etiquetage	A2	1	30000	8,333333333	E2 (Etiquettes)	30000	1	8,333333333		30000 A2E1
PF1		Type 1	Impression	M1	2	30000	16,66666667						15000 M1I
PF1		Type 1	<i>Retour de M1 vers A2</i>										
PF1		Type 1	Fabrication transformation papier	B1	5	30000	41,66666667						30000 B1F1
PF1		Type 1	Conditionnement papier du produit	B1	1	30000	8,333333333						30000 B1C1
PF1		Type 1	Sérigraphie	M1	2	30000	16,66666667						20000 M1S1
PF1		Type 1	<i>Retour de M1 vers B1</i>										
PF1		Type 1	<i>Retour de B1 vers A2</i>										
PF1		Type 2	Fabrication produit	A2	4	24000	26,66666667						48000 A2F2
PF1		Type 2	Conditionnement plastique	A2	2	24000	12,33333333	C1 (emballages plastique)	24000	4	26,66666667		48000 A2C2
PF1		Type 2	Etiquetage	A2	1	24000	6,666666667	E2 (Etiquettes)	24000	1	6,666666667		24000 A2E2
PF1		Type 2	Impression	M1	3	24000	20						18000 M1I2
PF1		Type 2	<i>Retour de M1 vers A2</i>										
PF1		Type 2	Fabrication transformation papier	B1	5	24000	33,33333333						24000 B1F2
PF1		Type 2	Conditionnement papier	B1	1	24000	6,666666667						24000 B1C2
PF1		Type 2	Sérigraphie	M1	4	24000	26,66666667						32000 M1S2
PF1		Type 2	<i>Retour de M1 vers B1</i>										
PF1		Type 2	<i>Retour de B1 vers A2</i>										
PF2	Produit	Type 3	Fabrication produit	A3	3	20000	16,66666667						8571,428571 A3F3
PF2		Type 3	Fabrication tube souple	D1	2	20000	11,11111111						20000 D1F3
PF2	Emballage tube souple	Type 3	Conditionnement tube souple	D1	1	20000	5,555555556						20000 D1C3
PF2	Emballage papier	Type 3	Bouchage	D1	3	20000	16,66666667	C2 (Bouchons)	20000	3	16,66666667		30000 D1B3
PF2		Type 3	Impression	M2	2	20000	11,11111111						5714,285714 M2I3
PF2		Type 3	<i>Retour de M2 vers D1</i>										
PF2		Type 3	Conditionnement papier	B3	2	20000	11,11111111	E1 (Emballage papier)	20000	5	27,77777778		13333,33333 B3C3
PF2		Type 3	Sérigraphie	M2	2	20000	11,11111111						10000 M2S3
PF2		Type 3	<i>Retour de M2 vers B3</i>										
PF2		Type 3	<i>Retour de B3 vers D1</i>										
PF2		Type 3	<i>Retour de D1 vers A3</i>										
PF2		Type 4	Fabrication produit	A3	4	15000	16,66666667						8571,428571 A3F4
PF2		Type 4	Fabrication tube souple	D1	3	15000	12,5						22500 D1F4
PF2		Type 4	Conditionnement tube souple	D1	1	15000	4,166666667						15000 D1C4
PF2		Type 4	Bouchage	D1	3	15000	12,5	C2 (Bouchons)	15000	4	16,66666667		22500 D1B4
PF2		Type 4	Impression	M2	3	15000	12,5						6428,571428 M2I4
PF2		Type 4	Fabrication tube souple	D1	3	15000	12,5						22500 D1F4
PF2		Type 4	Conditionnement tube souple	D1	1	15000	4,166666667						15000 D1C4
PF2		Type 4	Bouchage	D1	3	15000	12,5	C2 (Bouchons)	15000	4	16,66666667		22500 D1B4
PF2		Type 4	Impression	M2	3	15000	12,5						6428,571428 M2I4
PF2		Type 4	<i>Retour de M2 vers D1</i>										
PF2		Type 4	Conditionnement papier	B3	2	15000	8,333333333	E1 (Emballages papier)	15000	5	20,83333333		10000 B3C4
PF2		Type 4	Sérigraphie	M2	3	15000	12,5						11250 M2S4
PF2		Type 4	<i>Retour de M2 vers B3</i>										
PF2		Type 4	<i>Retour de B3 vers D1</i>										
PF2		Type 4	<i>Retour de D1 vers A3</i>										
PF2		Type 5	Fabrication produit	A3	1	30000	8,333333333						4285,714286 A3F5
PF2		Type 5	Fabrication tube souple	D2	3	30000	25						90000 D2F5
PF2		Type 5	Conditionnement tube souple	D2	1	30000	8,333333333						30000 D2C5
PF2		Type 5	Bouchage	D2	2	30000	16,66666667	C3 (Bouchons)	30000	3	25		60000 D2B5
PF2		Type 5	Impression	M1	2	30000	16,66666667						15000 M1I5
PF2		Type 5	<i>Retour de M1 vers D2</i>										
PF2		Type 5	Conditionnement papier	B3	2	30000	16,66666667	E1 (Emballages papier)	30000	5	41,66666667		20000 B3C5
PF2		Type 5	Sérigraphie	M2	2	30000	16,66666667						15000 M2S5
PF2		Type 5	<i>Retour de M2 vers B3</i>										
PF2		Type 5	<i>Retour de B3 vers D2</i>										
PF2		Type 5	<i>Retour de D2 vers A3</i>										
PF2		Type 6	Fabrication produit	A4	4	17000	18,88888889						34000 A4F6
PF2		Type 6	Fabrication tube souple	D1	3	17000	14,16666667						25500 D1F6
PF2		Type 6	Conditionnement tube souple	D1	1	17000	4,722222222						17000 D1C6
PF2		Type 6	Bouchage	D1	3	17000	14,16666667	C2 (Bouchons)	17000	4	18,88888889		25500 D1B6
PF2		Type 6	Impression	M2	3	17000	14,16666667						7285,714286 M2I6
PF2		Type 6	<i>Retour de M2 vers D1</i>										
PF2		Type 6	Conditionnement papier	B3	2	17000	9,444444444	E1 (Emballages Papier)	17000	5	23,61111111		10332,33333 B3C6
PF2		Type 6	Sérigraphie	M2	4	17000	18,88888889						17000 M2S6
PF2		Type 6	<i>Retour de M2 vers B3</i>										
PF2		Type 6	<i>Retour de B3 vers D1</i>										
PF2		Type 6	<i>Retour de D1 vers A4</i>										
PF3	Produit	Type 7	Fabrication produit	A4	2	43000	23,88888889						43000 A4F7
PF3	Emballage verre	Type 7	Conditionnement en verre de liquide	A4	2	43000	23,88888889	D2 (Emballages en verre)	43000	5	59,72222222		43000 A4C7
PF3	Emballage papier	Type 7	Bouchage	A4	2	43000	23,88888889	C3 (Bouchons)	43000	3	35,83333333		43000 A4B7
PF3		Type 7	Impression	M2	2	43000	23,88888889						12285,71429 M2I7
PF3		Type 7	<i>Retour de M2 vers A4</i>										
PF3		Type 8	Fabrication produit	A1	2	35000	18,44444444						7777,777778 A1F8
PF3		Type 8	Conditionnement en verre de liquide	A1	1	35000	9,722222222	D1 (Emballages en verre)	35000	5	48,61111111		35000 A1C8
PF3		Type 8	Bouchage	A1	3	35000	29,16666667	C2 (Bouchons)	35000	3	29,16666667		10500 A1B8
PF3		Type 8	Impression	M1	3	35000	29,16666667						26250 M1I8
PF3		Type 8	<i>Retour de M1 vers A1</i>										
PF3		Type 8	Fabrication transformation papier	B1	5	35000	48,61111111						35000 B1F8
PF3		Type 8	Conditionnement papier	B1	1	35000	9,722222222						35000 B1C8
PF3		Type 8	Sérigraphie	M1	3	35000	29,16666667						26250 M1S8
PF3		Type 8	<i>Retour de M1 vers B1</i>										
PF3		Type 8	<i>Retour de B1 vers A1</i>										
PF3		Type 9	Fabrication produit	A3	4	25000	27,77777778						14285,71429 A3F9
PF3		Type 9	Fabrication emballage en verre	D1	5	25000	34,72222222						62500 D1F9
PF3		Type 9	Conditionnement en verre de liquide	D1	1	25000	6,944444444						25000 D1C9
PF3		Type 9	Bouchage	D1	3	25000	20,83333333	C2 (Bouchons)	25000	3	20,83333333		37500 D1B9
PF3		Type 9	Impression	M2	4	25000	27,77777778						14285,71429 M2I9
PF3		Type 9	<i>Retour de M2 vers D1</i>										
PF3		Type 9	Fabrication transformation papier	B1	5	25000	34,72222222						25000 B1F9
PF3		Type 9	Conditionnement papier	B1	1	25000	6,944444444						25000 B1C9
PF3		Type 9	Sérigraphie	M1	4	25000	27,77777778						33333,33333 M1S9
PF3		Type 9	<i>Retour de M1 vers B1</i>										
PF3		Type 9	<i>Retour de B1 vers A3</i>										
PF3		Type 9	<i>Retour de A3 vers A2</i>										
PF4	Produit	Type 10	Fabrication produit	A2	4	18000	20						36000 A2F10
PF4	Emballage en verre	Type 10	Fabrication emballage en verre	D3	6	18000	30						54000 D3F10
PF4	Emballage papier	Type 10	Flaconnage en verre de liquide	D3	1	18000	5						18000 D3C10
PF4		Type 10	Assemblage vaporisateur	D3	4	18000	20	C2 (Vaporisateurs)	18000	3	15		36000 D3B10
PF4		Type 10	Bouchage	D3	2	18000	10	C3 (Bouchons)	18000	2	10		36000 D3B10
PF4		Type 10	Impression	M2	3	18000	15						774,285714 M2I10
PF4		Type 10	<i>Retour de M2 vers D3</i>										
PF4		Type 10	Fabrication transformation papier	B2	6	18000	30						18428,57143 B2F10
PF4		Type 10	Conditionnement papier	B2	1	18000	5			</			

III.5 Deuxième type de perturbation : Perturbation/entreprises impliquées dans plusieurs chaînes

III.5.1 Charge des entreprises : Approche classique

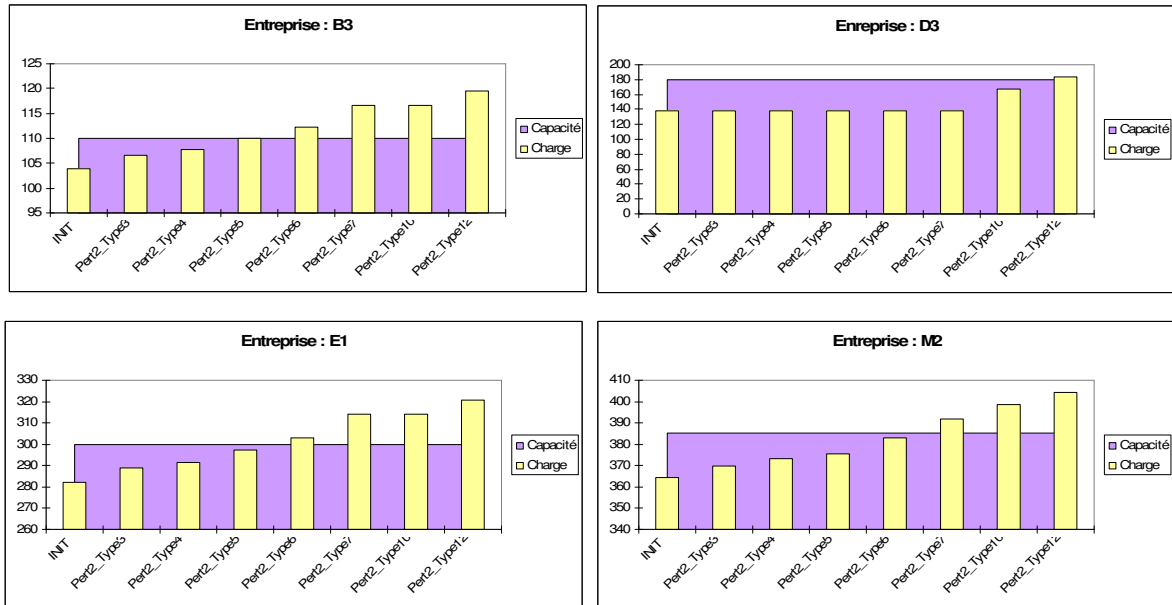


FIGURE III.5.1 : Charge globale des entreprises B3, D3, E1 et M2.

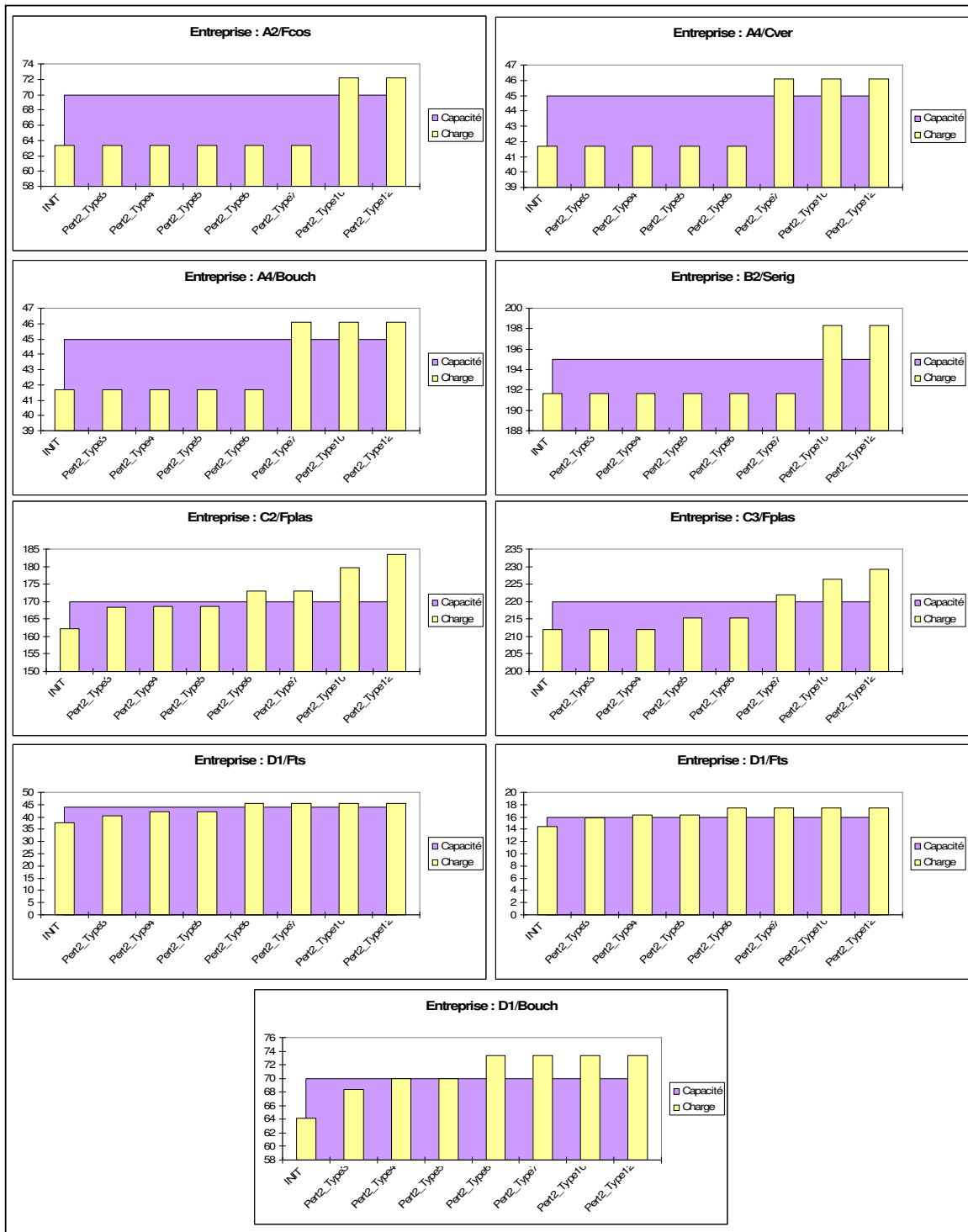


FIGURE III.5.2 : Charge par activité des entreprises : A2, A4, B2, C2, C3, D1

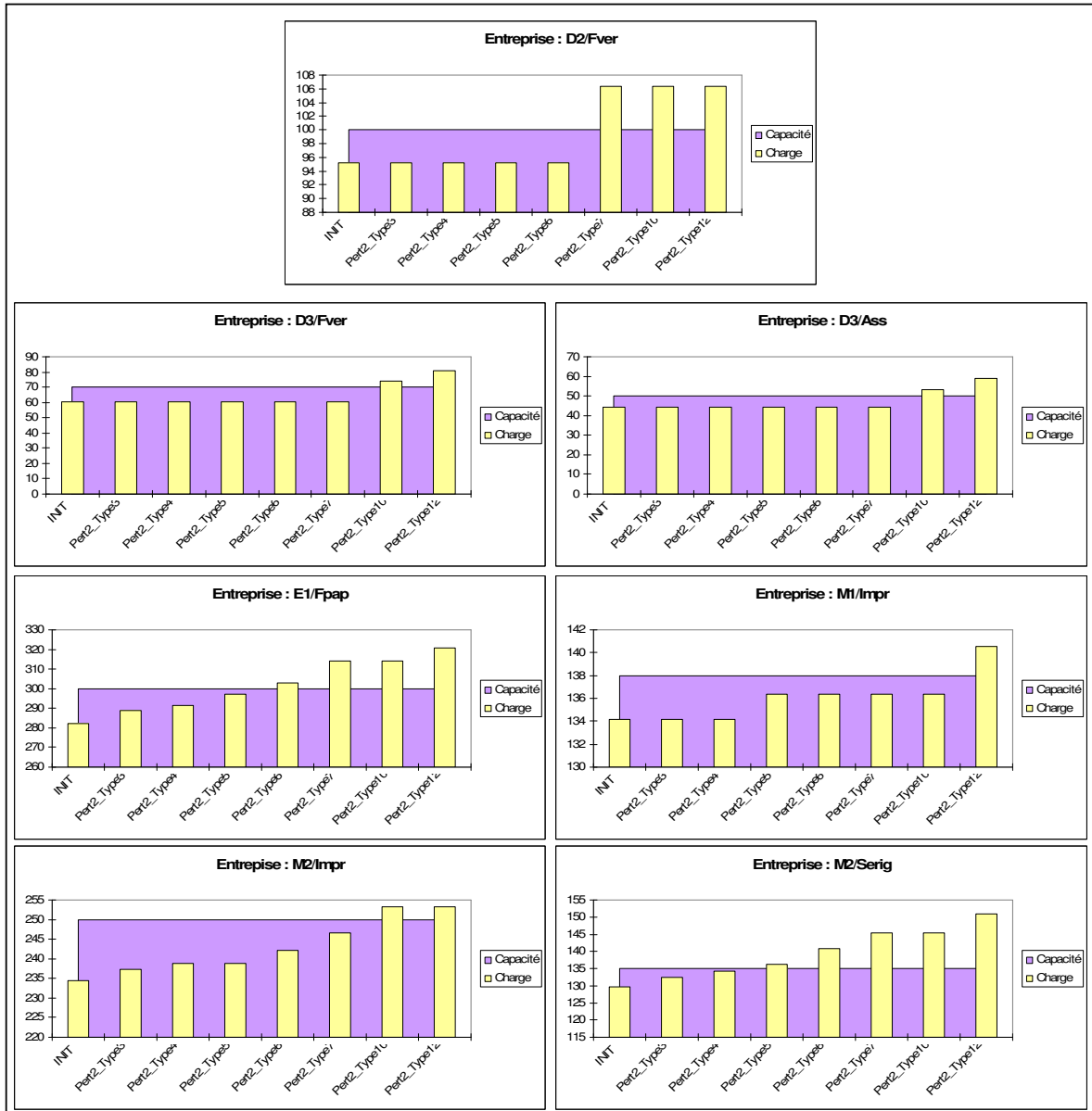


FIGURE III.5.3 : Charge par activité des entreprises : D2, D3, E1, M1 et M2

III.5.2 Résultat de la simulation sur le modèle ARENA : Approche classique

	type	dateArri	dela	sejour	queue
A2FAB	1	3	50000	30000	0
	2	14	48000	77989	29989
	10	99	95000	113904	77904
A3	9	0	8571,42857142857	8571,42857142857	0
	4	21	8571,42857142857	17121,8571428571	8550,42857142857
	6	28	4285,71428571429	21400,5714285714	17114,8571428571
	8	80	14285,7142857143	35634,2857142857	21348,5714285714
	12	130	9428,57142857143	45012,8571428571	35634,2857142857
13	140	22857,1428571429	67860	45002,8571428571	
A4FAB	6	58	34000	34000	0
	7	53	43000	76985	33985
A4CVER	1	13	48000	134925	76925
	7	77038	43000	43000	0
A4ASS	11	125038	32000	32000	0
	11	157038	96000	96000	0
A4Bouch	7	120038	43000	43000	0
	11	253038	32000	32000	0
B1	1	5	50065	30000	0
	2	18	24000	63985	29985
	8	70	35000	88933	63933
	9	84	25000	113919	88919
B2FPAP	15	176	28571,4285714286	93340,5808024691	64769,1522310406
	16	195	32142,8571428571	126453,437945326	93320,5808024691
	10	99	15428,5714285714	183332,571428571	167904
	11	114	27428,5714285714	280352,571428571	252924
	13	144	28571,4285714286	351233,761904762	322662,333333333
B2CPAP	15	63516,5808024691	20000	20000	0
	16	126659,437945326	20000	20000	0
	10	211717,285992063	9000	9000	0
	11	303323,714563492	16000	16000	0
	13	351377,761904762	20000	20000	0
B2IMPR	15	113516,580802469	40000	40000	0
	16	145659,437945326	42000	39857,1428571429	7857,14285714287
	10	220717,285992063	10800	10800	0
	11	319323,714563492	19200	19200	0
	13	371377,761904762	32000	32000	0
B3CPAP	14	62502	28566,6666666667	28566,6666666667	0
	3	96360,1436904762	13343,3333333333	26141,8563095238	12808,5229761905
	4	112931,571706349	10000	19570,4282936508	9570,42829365078
	6	139288,714563492	11333,3333333333	11333,3333333333	0
	7	175323,714563492	28666,6666666667	28666,6666666667	0
	8	190758	30000	85232,3812301587	6232,38123015873
	12	272503,000277778	14666,6666666667	14666,6666666667	0
C1	1	0	45000	45000	0
	2	15	48000	92985	44985
	9	3	12000	12000	0
	9	83	21000	32933	11933
C2	9	83	15000	47920	32920
	10	99	6000	53904	47904
	11	114	10666,6666666667	64555,6666666667	53989
	12	129	7333,33333333333	71874	64540,6666666667
C3ETIQ	4	18	12000	13985	7195
	6	38	13600	97565	83955
	13	172806,333333333	40000	40000	0
C3FAB	5	23	15000	15000	0
	7	51	21500	36472	14972
	10	96	42666,6666666667	79091,6666666667	35425
	11	114	13200	92275,6666666667	79075,6666666667
	12	129	13750	106010,6666666667	92260,6666666667
13	144	66666,6666666667	172652,333333333	105995,6666666667	
D1C	3	20002	80000	80000	0
	4	42502	15000	20000	0
	6	68002	17000	15000	0
D1B	3	40002	30000	30000	0
	4	84003	22500	22500	0
	6	97603	25500	34400	8900
D1FTS	3	2	20000	20000	0
	4	18	22500	42484	19984
	6	38	25500	67964	42464
D2CTS	5	90008	30000	30000	0
	5	120008	60000	60000	0
D2FTS	5	8	90000	90000	0
	8	8	90000	90000	0
D2FVER	7	53	71666,6666666667	71666,6666666667	0
	11	119	19200	90800,6666666667	71666,6666666667
D3CVER	10	114003	18000	18000	0
	12	114003	22000	40000	18000
D3FVER	10	108	54000	54000	0
	12	123	55000	108985	53985
D3ASS	10	132003	36000	36000	0
	12	154003	44000	58000	14000
D3Bouch	10	168003	36000	36000	0
	12	212003	44000	44000	0
E1	13	144	30000	30000	0
	3	3	12500	52499	39999
	14	159	30000	82343	52343
	4	18	9375	91859	82484
	6	31	10625	102471	91846
	7	53	26875	146660	119985
	8	38	18750	198720	179970
12	129	15000	226874	211874	
E2	1	3	7500	7500	0
	2	13	6000	13490	7490
	14	13	20000	33490	7490
	15	13	20000	53490	7490
	16	13	0	53490	7490
M1	1	45025	15000	15000	0
	8	89032,1666666667	26250	26250	0
	2	93020	18000	40262,1666666667	22262,1666666667
	6	180008	15000	15000	0
	13	212806,333333333	30000	30000	0
M1S	12	255003	16500	16500	0
	1	60033,35	20000	20000	0
	9	115282,166944444	26250	26250	0
	9	128288,714563492	33333,3333333333	46576,7857142857	13243,4523809524
	2	133282,183333333	32000	73583,3169444445	41583,3169444445
M2	14	33503,000555556	11428,5714285714	34426,5714285714	0
	15	53503,000555556	11428,5714285714	11428,5714285714	0
	16	53503,0011111111	25714,2857142857	37142,8565873016	11428,5708730159
	3	70002	5714,28571428571	26358,1434126984	20643,8576984127
	4	106503	6428,57142857143	6428,57142857143	0
	11	140003	14285,7142857143	14285,7142857143	0
	6	132003	7285,71428571429	7285,71428571429	0
M2S	7	163038	12285,7142857143	12285,7142857143	0
	10	204003	7714,28571428571	7714,28571428571	0
	11	285038	18265,7142857143	18265,7142857143	0
	14	109168,666666667	20000	20000	0
	3	122502	10000	16666,6666666667	6666,6666666667
	4	132502	11250	17916,6666666667	6666,6666666669
	6	150622,047896825	17000	17000	0
M2S	7	203990,381230159	21500	21500	0
	7	203990,381230159	15000	16500	1500
	5	223990,381230159	15000	16500	1500
	5	287169,666944444	22000	22000	0
	12				

TABLEAU III.5.1 : Résultat de la simulation avant l'injection de la perturbation

	type	dateArri	délai	séjour	quete
A2FAB	1	3	30000	30000	0
	2	14	48000	77989	29989
	10	39	52000	129904	72904
A3	4	0	10714,2857142857	10714,2857142857	0
	4	21	9714,28571428571	20407,5714285714	10693,2857142857
	5	28	4857,14285714286	25257,7142857143	20400,5714285714
	9	60	14285,7142857143	39491,4285714286	25205,7142857143
	12	130	11571,4285714286	51012,8571428571	39441,4285714286
	13	140	22857,1428571429	73850	51002,8571428571
A4FAB	5	38	42000	42000	0
	7	53	51000	92985	41985
	11	113	48000	140925	92925
A4CVER	7	93038	51000	51000	0
	11	141038	32000	35000	3000
A4ASS	11	175038	96000	96000	0
A4Bouch	7	144038	51000	51000	0
	11	272038	32000	32000	0
B1	2	18	30000	30000	0
	2	18	24000	53985	29985
	8	70	35000	88933	53933
	9	64	25000	113919	88919
B2FPAP	15	176	28571,4285714286	93340,5808024691	64769,1522310406
	16	196	32142,8571428571	125463,437945326	93320,5808024691
	10	39	22236,7142857143	52009,714285714	207904
	11	114	27428,5714285714	299362,571428571	271924
B2CPAP	13	144	28571,4285714286	363358,761904762	334787,3333333333
	15	93516,5808024691	20000	20000	0
	16	125659,437945326	20000	20000	0
	10	271146,857420635	13000	13000	0
B2IMPR	11	322323,714563492	16000	16000	0
	13	363502,761904762	20000	20000	0
	15	113516,5808024691	40000	40000	0
	16	145659,437945326	32000	39857,1428571429	7857,14285714287
B3CPAP	10	284145,857420635	15600	15600	0
	11	338323,714563492	19200	19200	0
	13	383502,761904762	32000	32000	0
	14	74946,3867989418	26666,6666666667	26666,6666666667	0
C1	3	57738,7151190476	16666,6666666667	20491,0050132275	3824,33834666083
	4	136574,428849206	11333,3333333333	11333,3333333333	0
	6	158936,333611111	14000	14000	0
	7	209609,428849206	34000	34000	0
	5	225258	22666,6666666667	41018,0955158731	18351,4288492064
C2	12	336253,000277778	18000	18000	0
	0	0	45000	45000	0
	2	15	48000	92985	44985
	3	3	15000	15000	0
C3ETIQ	8	70	21000	35933	14933
	9	83	15000	50920	36920
	10	99	8666,6666666667	59570,6666666667	50904
	11	114	10666,6666666667	70222,3333333333	59565,6666666667
	12	129	9000	79207,3333333333	70207,3333333333
	4	18	13600	92918,3333333333	79318,3333333333
C3FAB	6	38	16800	109696,3333333333	92898,3333333333
	13	184931,3333333333	40000	40000	0
	5	23	17000	17000	0
	7	51	25500	42472	16972
C3ASS	10	96	42666,6666666667	65091,6666666667	42425
	11	114	16200	101275,6666666667	86075,6666666667
	12	129	16875	118135,6666666667	101260,6666666667
	13	144	66666,6666666667	184787,3333333333	118120,6666666667
	13	254931,3333333333	80000	80000	0
D1C	3	25002	25000	25000	0
	4	50502	17000	17000	0
	6	62002	21000	21000	0
D1B	3	50002	37500	37500	0
	4	92936,3333333333	25500	25500	0
	6	109736,3333333333	31500	40200	8700
D1FTS	3	2	25000	25000	0
	4	18	25500	50484	24984
	6	38	31500	81964	50464
D2CTS	5	102008	34000	34000	0
D2Bouch	5	136008	68000	68000	0
D2FTS	5	8	102000	102000	0
D2FVER	7	53	85000	85000	0
	11	119	19200	104134	85000
D3CVER	10	130003	26000	26000	0
	12	145608	27000	37395	10395
D3FVER	10	108	78000	78000	0
	12	123	67500	145485	77985
D3ASS	10	156003	62000	62000	0
	12	183003	54000	79000	25000
D3Bouch	10	208003	52000	52000	0
	12	262003	54000	54000	0
	13	144	30000	30000	0
E1	14	159	30000	74787,3867989418	44787,3867989418
	3	3	15625	90566,3867989418	74943,3867989418
	4	18	10625	101178,386798942	90563,3867989418
	6	31	13125	116096	102971
	7	53	31875	175860	143985
	5	38	21250	225220	203970
E2	12	129	15000	276874	261874
	1	3	7500	7500	0
	2	13	6000	13490	7490
	14	13	20000	33490	7490
M1	15	13	20000	53490	7490
	16	13	0	53490	7490
	1	45025	15000	15000	0
	8	89032,1666666667	26250	26250	0
	2	93020	18000	40262,1666666667	22262,1666666667
M1S	5	204008	17000	17000	0
	13	224931,3333333333	30000	30000	0
	12	316003	20250	20250	0
	1	60033,35	20000	20000	0
M2	8	115282,166944444	26250	26250	0
	9	128288,714563492	33333,3333333333	46576,7857142857	13243,4523809524
	2	133282,1833333333	32000	75593,3169444445	41563,3169444445
	14	33503,0005555556	11428,5714285714	11428,5714285714	0
	15	53503,0005555556	11428,5714285714	11428,5714285714	0
	16	53503,0011111111	25714,2857142857	37142,8565873016	11428,5708730159
M2S	3	87502	7142,85714285714	10286,7148412698	3143,8576984127
	9	114003	14285,7142857143	14285,7142857143	0
	4	118436,3333333333	7285,71428571429	17138,0952380953	9852,38095238096
	6	149936,3333333333	6000	6000	0
	7	195038	14571,4285714286	14571,4285714286	0
	10	260003	11142,8571428571	11142,8571428572	0
M2S	11	304038	18285,7142857143	18285,7142857143	0
	14	101613,053455608	20000	20000	0
	3	118279,720132275	12500	15833,3333333333	3333,333333333333
	4	146907,76218254	12750	12750	0
	6	172936,333611111	21000	21000	0
M2S	7	243609,428849206	25500	25500	0
	5	266276,095515873	17000	19833,3333333333	2833,33333333331
	12	354253,000277778	27000	27000	0

TABLEAU III.5.2 : Résultat de la simulation après l'injection de la perturbation

III.5.3 Tableaux d'indicateurs relatifs aux types d'AOs lancés : Approche auto-organisée

Ai	A1								A2						
Client i	Client1		Client2		Client3	Client4		Client1		Client2		Client3	Client4		
AOi	Fcos3	Fcos4	Fcos5	Fcos6	Fcos7	Fcos10	Fcos12	Fcos3	Fcos4	Fcos5	Fcos6	Fcos7	Fcos10	Fcos12	
I11	2	8	4	3	1	4	4	4	3	1,5	4	4	4	3	
I12	345600	691200	432000	432000	259200	518400	518400	518400	345600	345600	518400	518400	432000	518400	
I21	3	8	4	5	3	4	4	4	2	2	4	5	4	4	
I22	300	1100	700	700	400	800	800	650	400	300	700	700	1000	900	
I31	0,9							0,9							
I32	2,1							2,1							
I33	0,88							0,88							
I41	0,92							0,92							
I42	0,9							0,9							
I51	9	5	10	5	9	10	6	5							
I52	10	6	9	6	10	9	5	6							

(a)

Ai	A3								A4						
Client i	Client1		Client2		Client3	Client4		Client1		Client2		Client3	Client4		
AOi	Fcos3	Fcos4	Fcos5	Fcos6	Fcos7	Fcos10	Fcos12	Fcos3	Fcos4	Fcos5	Fcos6	Fcos7	Fcos10	Fcos12	
I11	5	8	4	1	3	4	4	4	7	4	3	2	2	2	
I12	432000	691200	518400	345600	432000	518400	432000	432000	691200	432000	518400	518400	345600	259200	
I21	4	7	5	3	5	5	5	5	7	5	5	4	2	2	
I22	700	1200	1100	300	600	1000	800	800	1200	700	700	800	400	400	
I31	0,9							0,9							
I32	2,1							2,1							
I33	0,88							0,88							
I41	0,92							0,92							
I42	0,9							0,9							
I51	5	10	6	5	6	6	5	9							
I52	4	9	5	6	5	5	6	8							

(b)

TABLEAU III.5.3 : Tableau d'indicateurs relatifs au premier type d'AO (Fcos)

Ai	C1						C2							
Clients	D1	D2			D3	A4		D1	D2			D3	A4	
AOi	Fplas3	Fplas4	Fplas5	Fplas6	Fplas10	Fplas12	Fplas3	Fplas4	Fplas5	Fplas6	Fplas10	Fplas12		
I11	5	1,5	4	1	3	4	3	3	2	4	4	3		
I12	172800	21600	172800	21600	172800	259200	259200	259200	21600	172800	172800	259200		
I21	5	3	5	2	5	2	5	5	3	6	4	5		
I22	800	400	900	400	500	900	900	1000	500	800	1000	1000		
I31	0,9						0,9							
I32	2,1						2,1							
I33	0,88						0,88							
I41	0,92						0,92							
I42	0,9						0,9							
I51	6	10	10	6	6	6	5	10	6	6	5	5		
I52	4	9	8	4	4	4	6	9	4	4	4	4		

(a)

Ai	C3						A1							
Clients	D1	D2			D3	A4		D1	D2			D3	A4	
AOi	Fplas3	Fplas4	Fplas5	Fplas6	Fplas10	Fplas12	Fplas3	Fplas4	Fplas5	Fplas6	Fplas10	Fplas12		
I11	3	4	4	4	2	2	2	3	4	2	4	3		
I12	345600	172800	259200	172800	21600	21600	21600	172800	172800	172800	172800	172800		
I21	6	4	4	5	2	3	3	5	5	7	5	6		
I22	1000	800	800	700	400	500	500	900	900	900	500	600		
I31	0,9						0,9							
I32	2,1						2,1							
I33	0,88						0,88							
I41	0,92						0,92							
I42	0,9						0,9							
I51	5	5	4	8	10	5	6	5	6	5	5	5		
I52	4	4	6	10	9	4	5	4	5	6	6	6		

(b)

TABLEAU III.5.4 : Tableau d'indicateurs relatif au type d'AO Fplas.

Ai	M1							M2								
Clients	D1	D2			D3	A1	A4		D1	D2			D3	A1	A4	
AOi	Impr3	Impr4	Impr5	Impr6	Impr7	Impr10	Impr12	Impr3	Impr4	Impr5	Impr6	Impr7	Impr10	Impr12		
I11	5	5	4	1,15	1,15	5	4	2	3	2	4	4	3	1		
I12	259200	259200	172800	86400	86400	259200	172800	86400	86400	86400	259200	259200	86400	86400		
I21	4	5	6	2	3	5	5	1	3	2	5	6	2	2		
I22	900	900	900	400	500	1000	1000	400	500	450	800	700	400	300		
I31	0,9							0,9								
I32	2,1							2,1								
I33	0,88							0,88								
I41	0,92							0,92								
I42	0,9							0,9								
I51	5	6	10	9	6	9	10	4	5	8	5	8	8	8		
I52	4	5	9	8	5	10	8	5	6	10	5	6	10	10		

TABLEAU III.5.5 : Tableau d'indicateurs relatifs au type d'AO Impr.

Ai	B1							B2								
Clients	D1	D2			D3	A1	A4		D1	D2			D3	A1	A4	
AOi	Cpap3	Cpap4	Cpap5	Cpap6	Cpap7	Cpap10	Cpap12	Cpap3	Cpap4	Cpap5	Cpap6	Cpap7	Cpap10	Cpap12		
I11	3	3	4	4	3	1,5	4	5	1	2	5	1	4	1		
I12	86400	259200	259200	345600	259200	86400	345600	259200	86400	86400	259200	86400	345600	86400		
I21	2	5	4	5	5	2	5	4	3	2	5	3	5	2		
I22	400	700	800	800	800	700	1000	700	400	500	700	500	1000	400		
I31	0,9							0,9								
I32	2,1							2,1								
I33	0,88							0,88								
I41	0,92							0,92								
I42	0,9							0,9								
I51	10	5	4	7	8	6	10	5	8	9						
I52	9	6	5	5	10	7	9	4	10	10						

(a)

Ai	B3							
Clients	D1	D2			D3	A1	A4	
AOi	Cpap3	Cpap4	Cpap5	Cpap6	Cpap7	Cpap10	Cpap12	
I11	5	4	4	2	3	3	3	
I12	345600	259200	345600	86400	345600	259200	345600	
I21	5	5	5	3	5	5	5	
I22	900	1000	1000	400	1000	1000	1000	
I31	0,9							
I32	2,1							
I33	0,88							
I41	0,92							
I42	0,9							
I51	5	6	10	5	6			
I52	7	4	9	4	5			

(b)

TABLEAU III.5.6 : Tableau d'indicateurs relatifs au type d'AO Cpap.

III.5.4 Réponses des fournisseurs sur les AOs lancés : Approche Auto-organisée

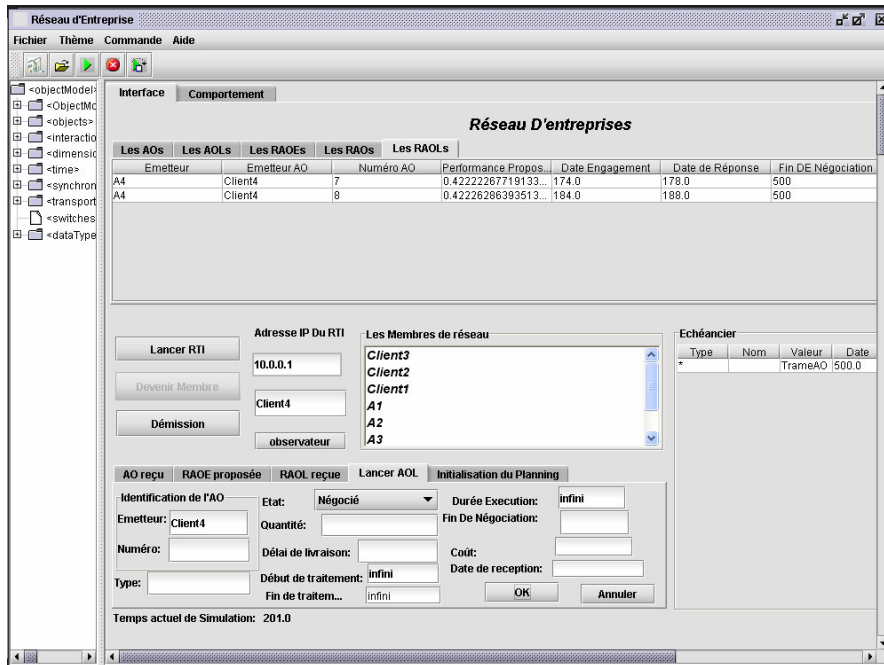


FIGURE III.5.4 : Réponse de l'entreprise A4 pour le Client 4.

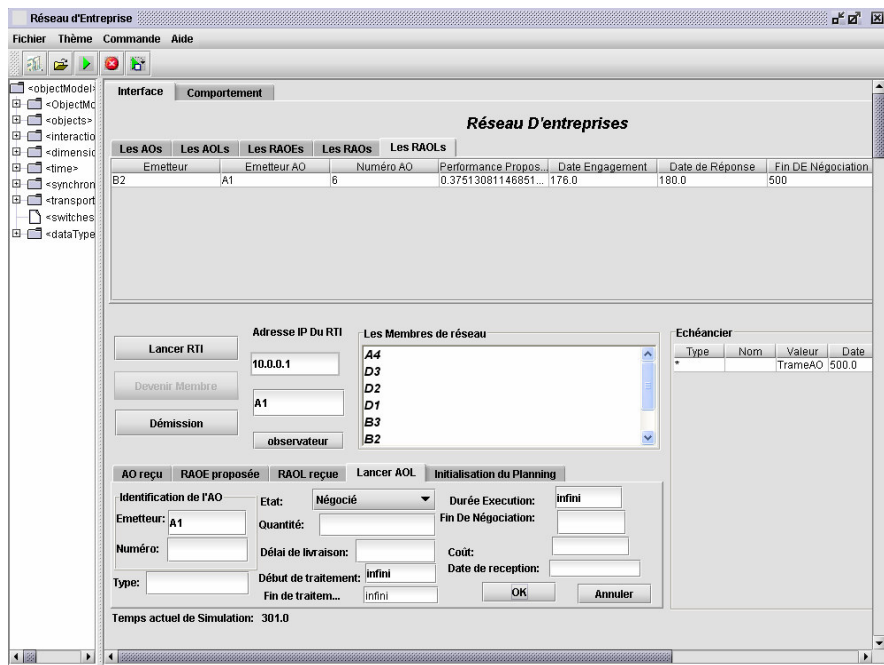


FIGURE III.5.5 : Réponse de l'entreprise B2 pour l'entreprise A1.

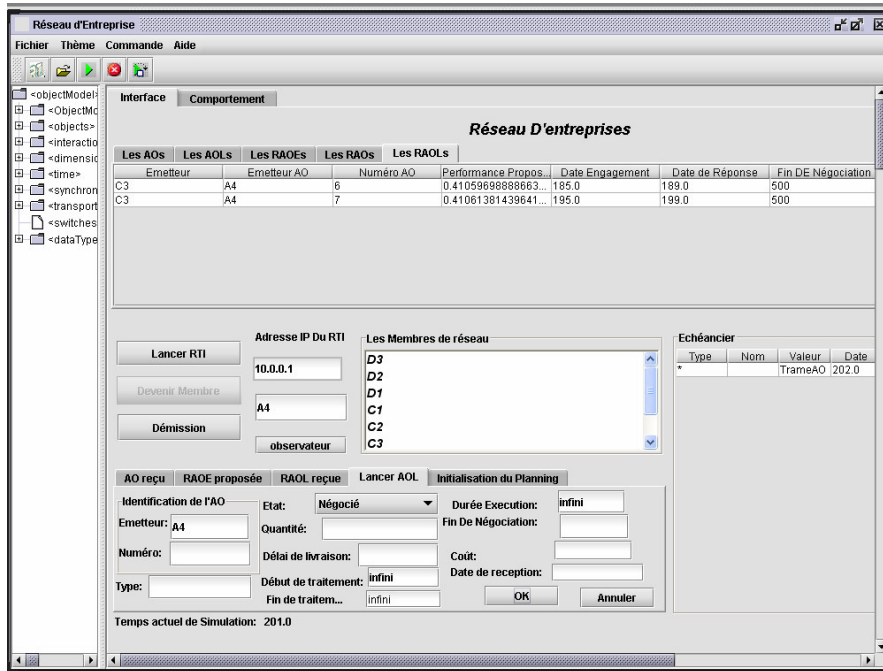


FIGURE III.5.6 : Réponse de l'entreprise C3 pour l'entreprise A4.

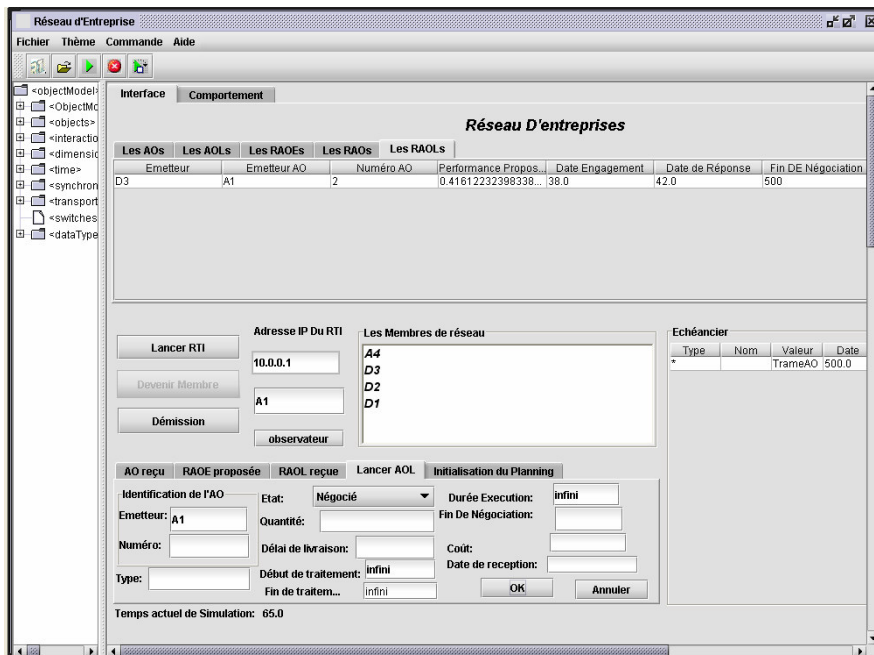


FIGURE III.5.7 : Réponse de l'entreprise D3 pour l'entreprise A1.

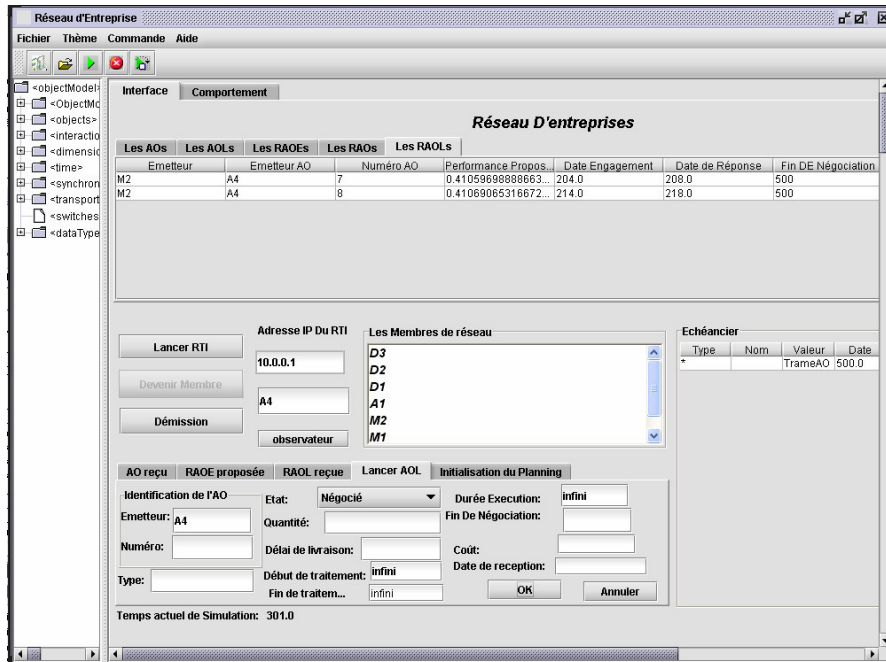


FIGURE III.5.8 : Réponse de l'entreprise M2 pour l'entreprise A4.

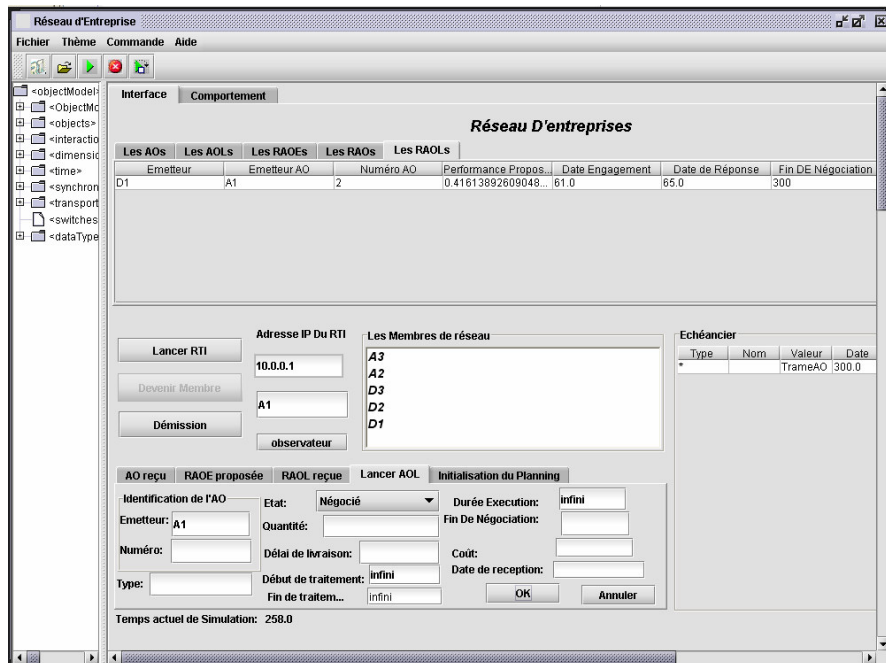


FIGURE III.5.9 : Réponse de l'entreprise D1 pour l'entreprise A1.

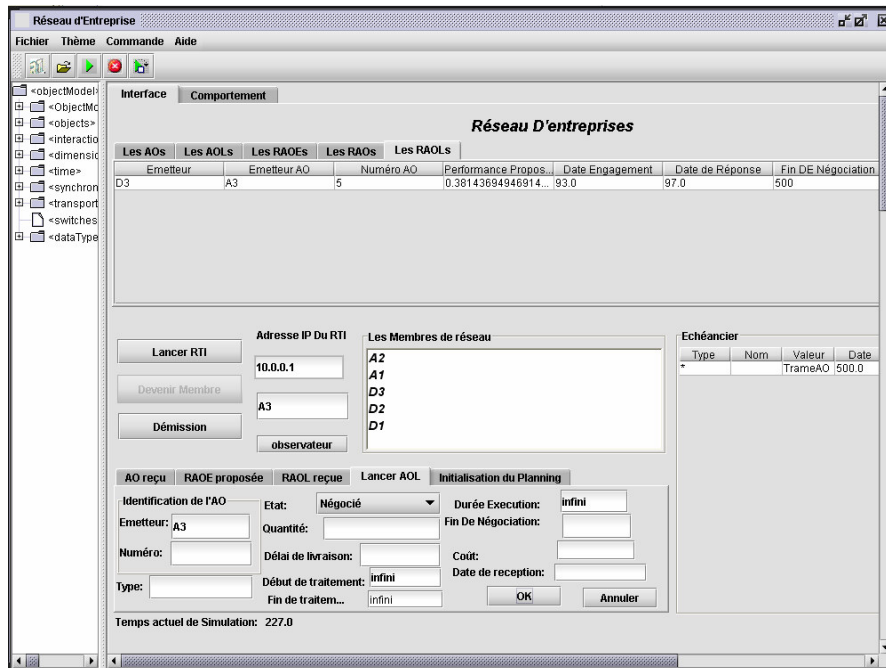


FIGURE III.5.10 : Réponse de l'entreprise D2 pour l'entreprise A2.

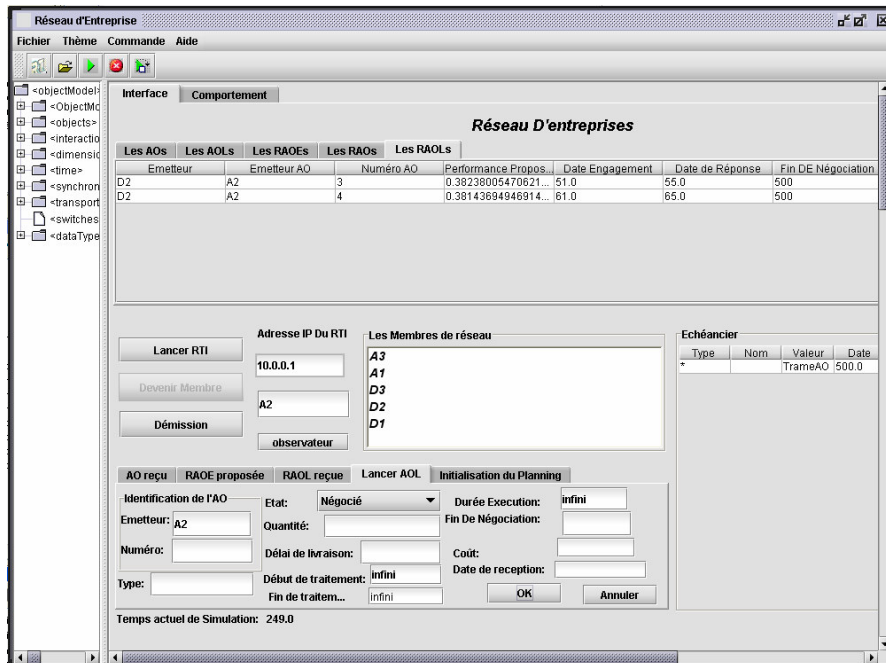


FIGURE III.5.11 : Réponse de l'entreprise D3 pour l'entreprise A3.

III.5.5 Charge des entreprises : Approche auto-organisée

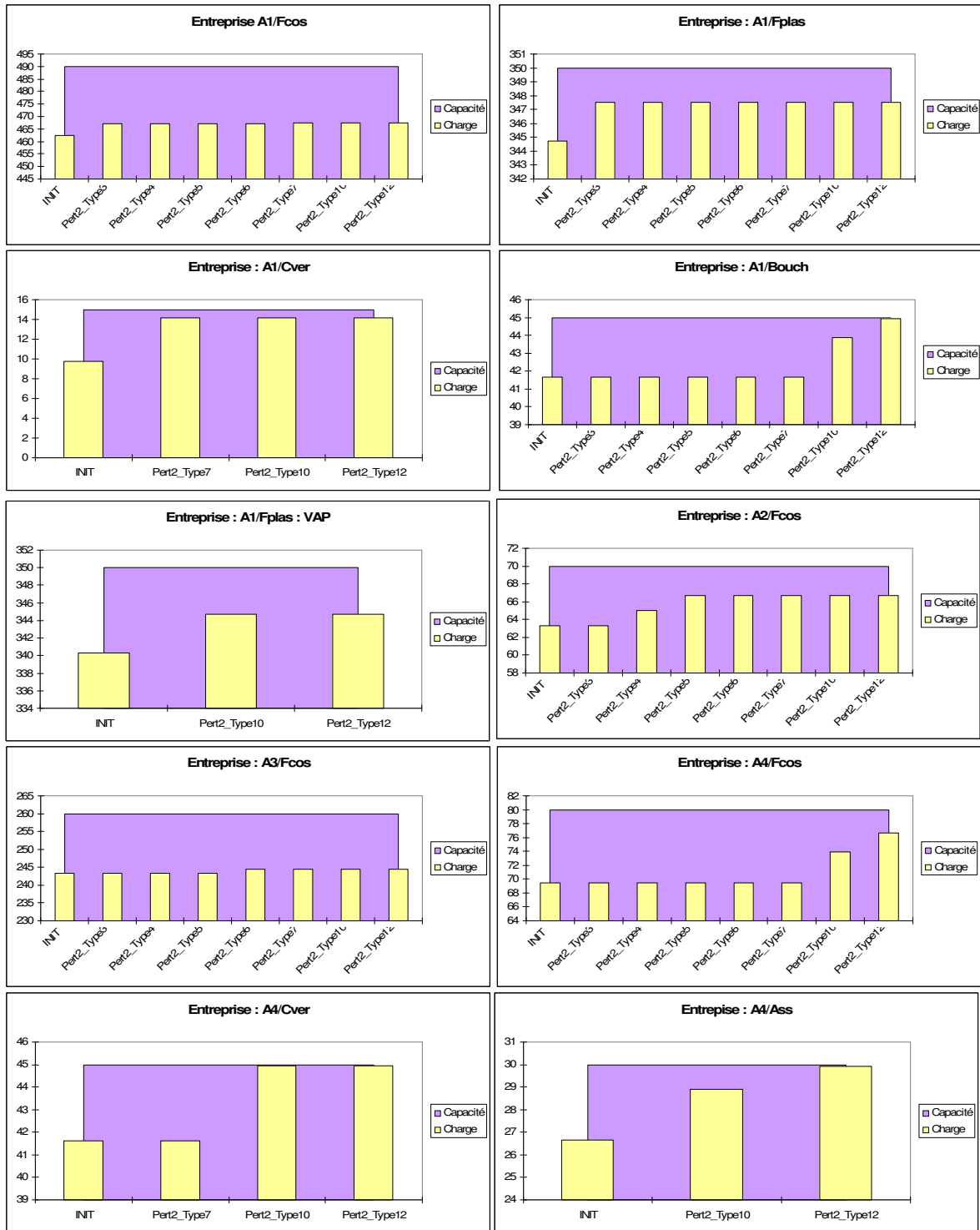


FIGURE III.5.12 : Charge par activité des entreprises : A1, A2, A3 et A4.

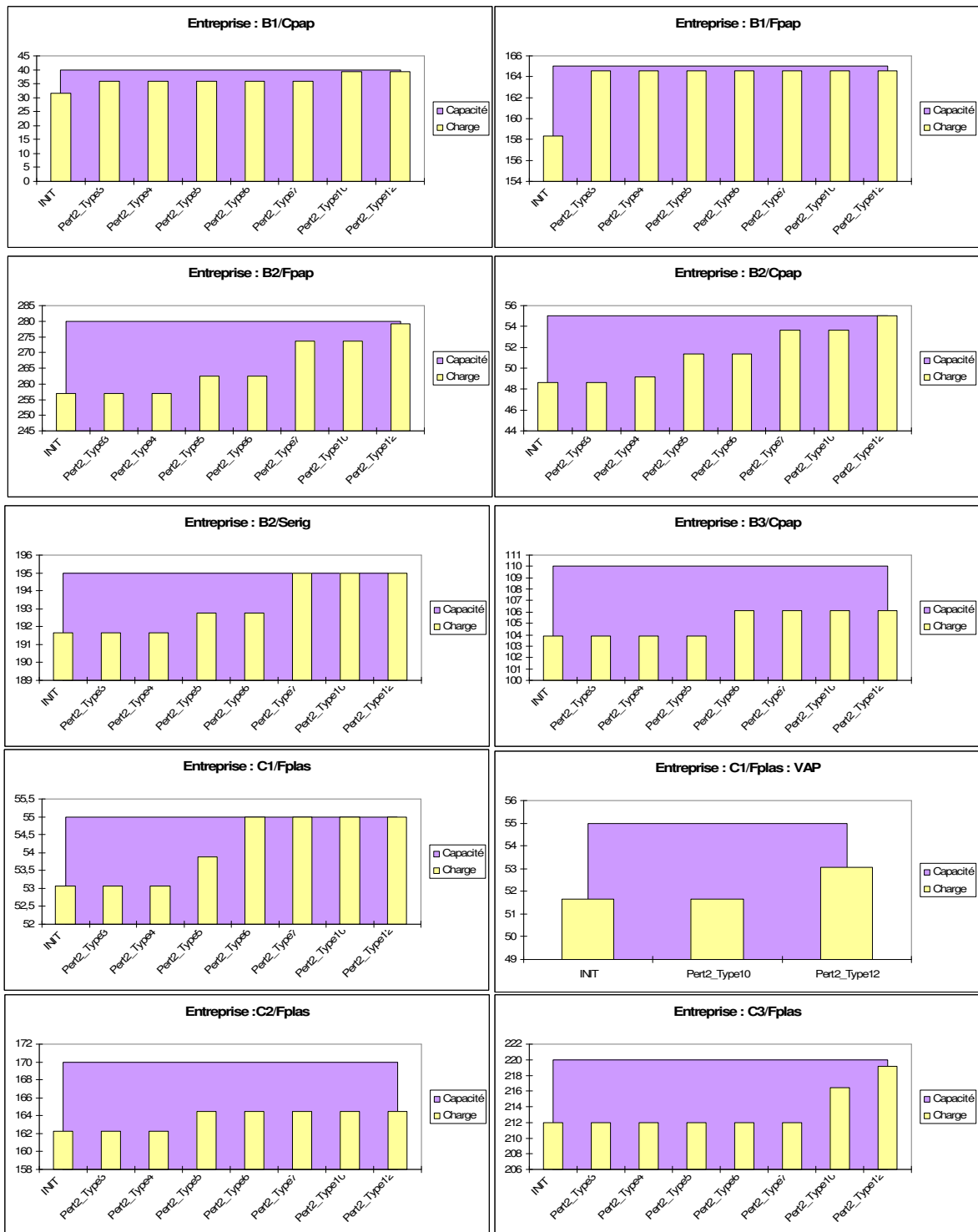


FIGURE III.5.13 : Charge par activité des entreprises : B1, B2, B3, C1, C2 et C3.

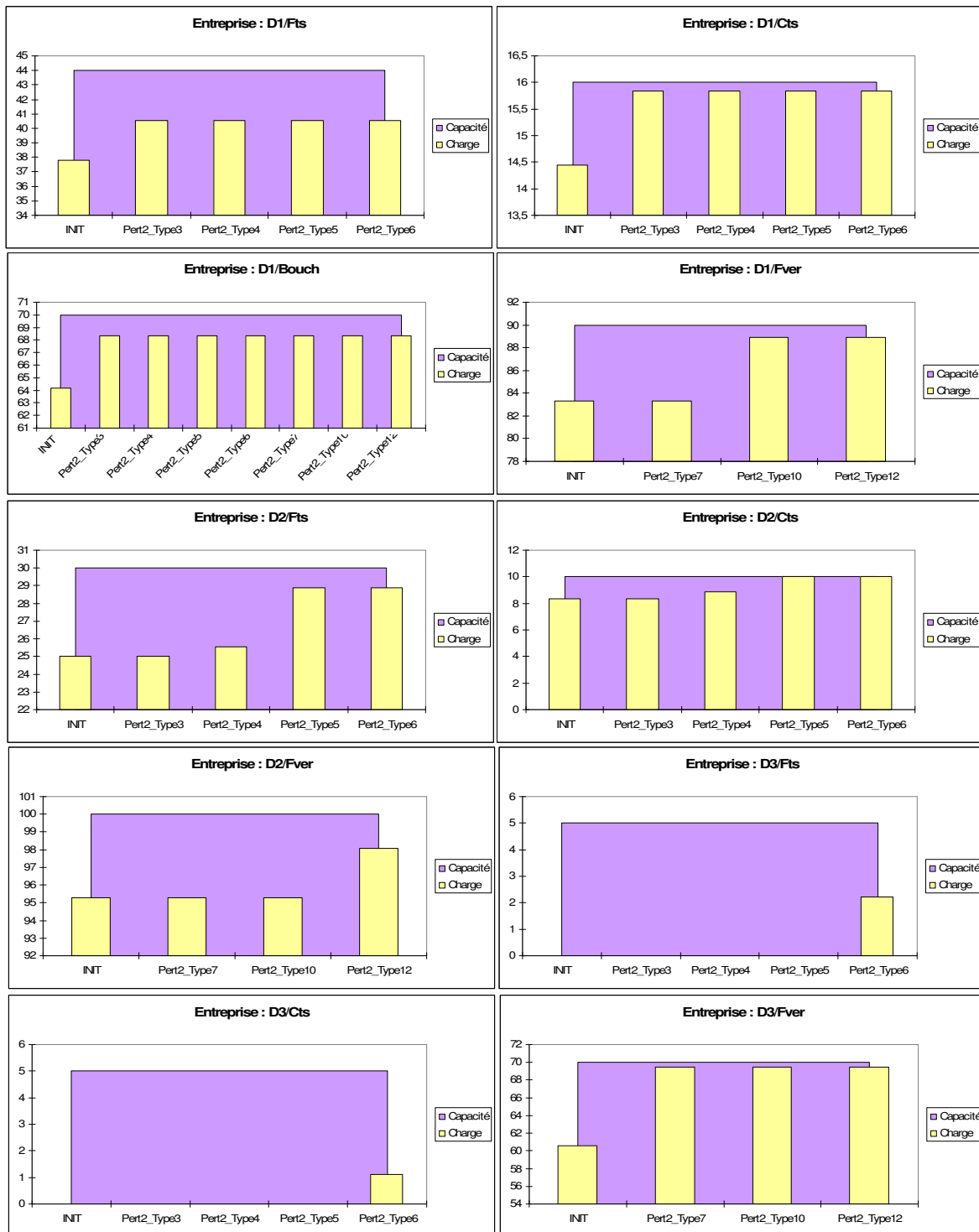


FIGURE III.5.14 : Charge par activité des entreprises : D1, D2 et D3.

III.6 Troisième type de perturbation : Perturbation de type 2/pannes dans certaines entreprises

III.6.1 Tableaux d'indicateurs relatifs aux types d'A0s lancés : Approche Auto-organisée

Ai	C1						C2							
Clients	D1	D3			D2	A4		D1	D3			D2	A4	
A0i	Fplas3	Fplas4	Fplas6	Fplas5	Fplas10	Fplas12	Fplas3	Fplas4	Fplas6	Fplas5	Fplas10	Fplas12		
I11	5	1,5	1	4	3	4	3	3	4	2	4	3		
I12	172800	21600	21600	172800	172800	259200	259200	259200	172800	21600	172800	259200		
I21	5	3	2	5	5	2	5	5	6	3	4	5		
I22	800	400	400	900	500	900	900	1000	800	500	1000	1000		
I31	0,9						0,9							
I32	2,1						2,1							
I33	0,88						0,88							
I41	0,92						0,92							
I42	0,9						0,9							
I51	6	10		10	6		5	6		10	5			
I52	4	8		9	4		6	4		9	4			

(a)

Ai	C3						A1							
Clients	D1	D3			D2	A4		D1	D3			D2	A4	
A0i	Fplas3	Fplas4	Fplas6	Fplas5	Fplas10	Fplas12	Fplas3	Fplas4	Fplas6	Fplas5	Fplas10	Fplas12		
I11	3	4	4	4	2	2	2	3	2	4	4	3		
I12	345600	172800	172800	259200	21600	21600	21600	172800	172800	172800	172800	172800		
I21	6	4	5	4	2	3	3	5	7	5	5	6		
I22	1000	800	700	800	400	500	500	900	900	900	500	600		
I31	0,9						0,9							
I32	2,1						2,1							
I33	0,88						0,88							
I41	0,92						0,92							
I42	0,9						0,9							
I51	5	4		5	8		10	6		5	5			
I52	4	6		4	10		9	5		4	6			

(b)

TABLEAU III.6.1 : Tableau d'indicateurs relatifs au type d'AO Fplas.

Ai	B1							B2								
Clients	D1	D3			D2	A1	A4		D1	D3			D2	A1	A4	
A0i	Cpap3	Cpap4	Cpap6	Cpap5	Cpap7	Cpap10	Cpap12	Cpap3	Cpap4	Cpap6	Cpap5	Cpap7	Cpap10	Cpap12		
I11	3	3	4	4	3	1,5	4	5	1	5	2	1	4	1		
I12	86400	259200	345600	259200	259200	86400	345600	259200	86400	259200	86400	86400	345600	86400		
I21	2	5	5	4	5	2	5	4	3	5	2	3	5	2		
I22	400	700	800	800	800	700	1000	700	400	700	500	500	1000	400		
I31	0,9							0,9								
I32	2,1							2,1								
I33	0,88							0,88								
I41	0,92							0,92								
I42	0,9							0,9								
I51	10	4		5	7	8		6	5		10	8	9			
I52	9	5		6	5	10		7	4		9	10	10			

(a)

Ai	B3						
Clients	D1	D2		D3	A1	A4	
AOi	Cpap3	Cpap4	Cpap6	Cpap5	Cpap7	Cpap10	Cpap12
I11	5	4	2	4	3	3	3
I12	345600	259200	86400	345600	345600	259200	345600
I21	5	5	3	5	5	5	5
I22	900	1000	400	1000	1000	1000	1000
I31	0,9						
I32	2,1						
I33	0,88						
I41	0,92						
I42	0,9						
I51	5	10		6	5	6	
I52	7	9		4	4	5	

(b)

TABLEAU III.6.2 : Tableau d'indicateurs relatifs au type d'AO Cpap.

Ai	M1							M2						
Clients	D1	D3		D2	A1	A4		D1	D3		D2	A1	A4	
AOi	Impr3	Impr4	Impr6	Impr5	Impr7	Impr10	Impr12	Impr3	Impr4	Impr6	Impr5	Impr7	Impr10	Impr12
I11	5	5	1,15	4	1,15	5	4	2	3	4	2	4	3	1
I12	259200	259200	86400	172800	86400	259200	172800	86400	86400	259200	86400	259200	86400	86400
I21	4	5	2	6	3	5	5	1	3	5	2	6	2	2
I22	900	900	400	900	500	1000	1000	400	500	800	450	700	400	300
I31	0,9							0,9						
I32	2,1							2,1						
I33	0,88							0,88						
I41	0,92							0,92						
I42	0,9							0,9						
I51	5	10		6	9	6		9	4		10	5	8	
I52	4	9		5	8	5		10	5		8	6	10	

TABLEAU III.6.3 : Tableau d'indicateurs relatifs au type d'AO Impr.

III.6.2 Charge des entreprises : Approche auto-organisée

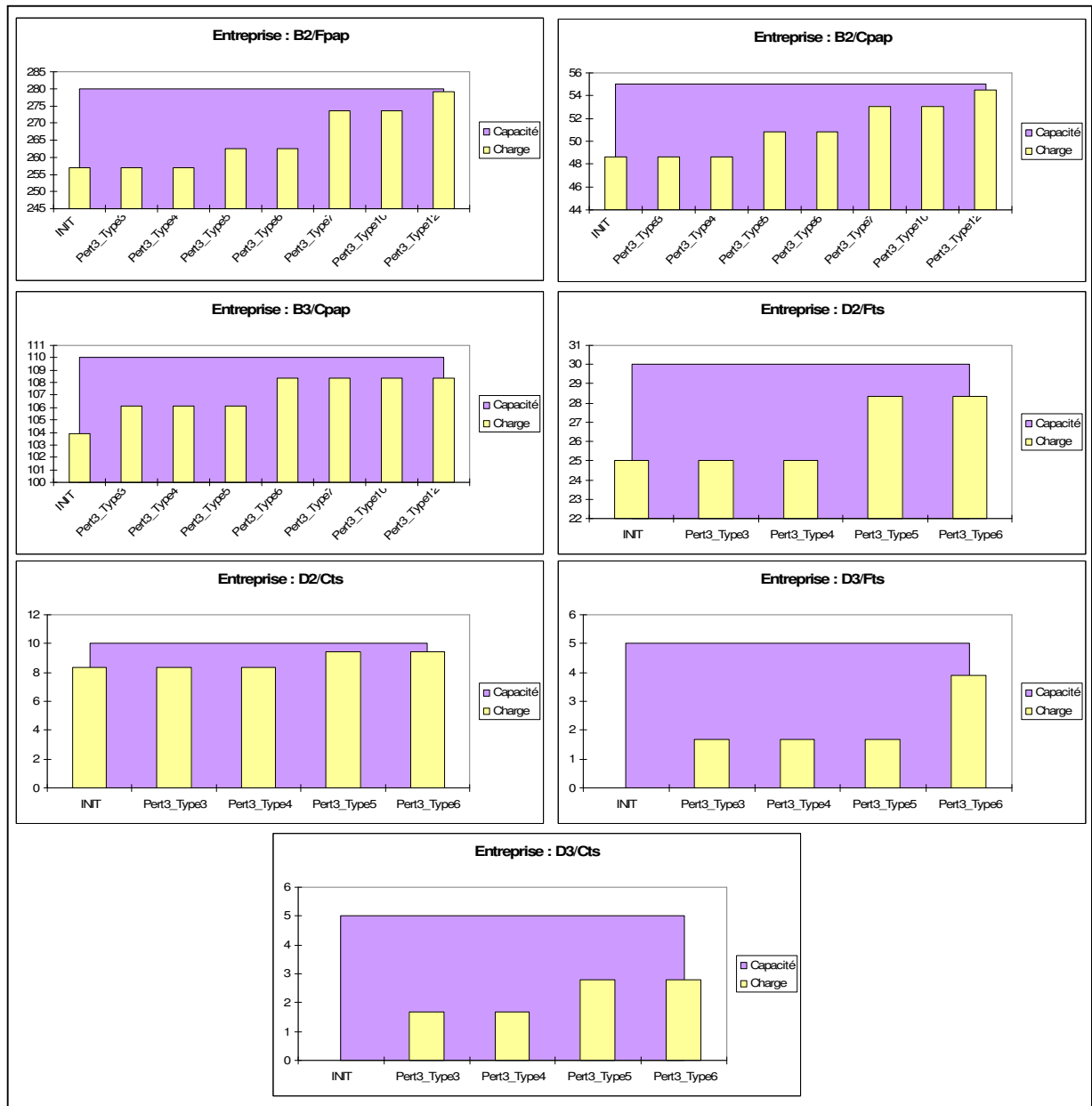


FIGURE III.6.1 : Charge par activité des entreprises : B2, B3, D2 et D3.

TITRE : PILOTAGE HOLONIQUE AUTO-ORGANISE DE RESEAUX LOGISTIQUES : VALIDATION PAR MODELISATION ET SIMULATION DISTRIBUEE

Résumé :

L'objectif du travail réalisé est d'améliorer les structures de prise de décision de pilotage des flux de produits d'un réseau logistique par la dynamique des relations Clients/Fournisseurs. Le Système d'Aide à la Décision proposé est fondé sur trois axes complémentaires :

- Approche holonique auto-organisée de la prise de décision, obtenue par émergence de la meilleure solution (meilleure réponse à un appel d'offre). En effet, pour décrire notre approche, nous nous appuyons sur l'architecture de référence PROSA, qui permet de spécifier des approches holoniques selon une décomposition en holons de type Product, Resource, Order, et Staff. L'approche est basée sur l'association d'un centre de décision (EPA : Entité de Pilotage Autonome) à chaque partenaire qui lui permettra de s'auto-évaluer face à la réception des appels d'offres.
- Evaluation de la performance obtenue, par une approche de type analyse multicritères basée sur la méthode multicritères Analytic Hierarchy Process (AHP).
- Vérification de la cohérence de la solution globale et validation de l'approche décisionnelle par modélisation-simulation distribuée. Pour cela, chaque EPA a été modélisée selon le formalisme DEVS (Discrete Event system Specification) et a été intégrée dans un environnement de simulation distribuée HLA (High Level Architecture). La simulation de l'approche a permis d'illustrer, d'une part, le comportement interne d'une EPA ainsi que ses interactions avec d'autres EPAs (illustration de l'auto organisation), et d'autre part, de mettre en évidence l'intérêt de l'approche proposée.

Mots Clés : Réseau logistique, Relations Clients/Fournisseurs, Pilotage Auto-Organisé, Système Holonique, Entité de Pilotage Autonome (EPA), Discrete Event system Specification (DEVS), High Level Architecture (HLA).

TITLE: SELF ORGANIZED HOLONIC CONTROL OF LOGISTIC NETWORK: VALIDATION BY MODELLING AND SIMULATION

Abstract:

The objective of this work is to improve decision making structures for product flow control of a supply network through Customer-Supplier Relationship (CSR) dynamics. The proposed decision making system relies on three complementary axes:

- Self Organized holonic approach of decision making, obtained through the emergence of the best solution (i.e., the best response to a call for proposals). This approach was described by using the PROSA reference architecture which allows specifying holonic approaches according to a breakdown into holons of several types (i.e., Product, Resource, Order and Staff). The proposed approach is based on the association of an Autonomous Control Entity (ACE) to each partner of the network, allowing performance self-evaluation with respect to calls for proposals.
- Performance evaluation through a multicriteria analysis based on the Analytic Hierarchy Process (AHP) method.
- Coherence checking of the global solution and validation of the decision approach with distributed modelling and simulation. For that, each ACE was modelled according to the Discrete Event system Specification (DEVS) formalism and was integrated into a High Level Architecture (HLA) distributed simulation environment. The simulation was used to illustrate the internal behaviour of an ACE and its interactions with other ACEs (illustration of the self-organization) as well as to highlight the advantages of the proposed approach.

Key Words: Logistic Network, Customers-Suppliers Relationship, Self Organized Control, Holonic System, Autonomous Control Entity (ACE), Discrete Event system Specification (DEVS), High Level Architecture (HLA).