

République Algérienne Démocratique et Populaire

MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITÉ MENTOURI DE CONSTANTINE

FACULTÉ DES SCIENCES DE L'INGÉNIEUR

DÉPARTEMENT D'INFORMATIQUE

N° d'ordre : ...

Série : ...

MEMOIRE

Pour obtenir le diplôme de :
Magister en Informatique

Sujet du Mémoire

Une Approche Basée-Agent pour le Développement d'Entreprises Virtuelles

Présenté par :

BOUKHELFA Kamel

Dirigé par :

Mr. Mahmoud BOUFAIDA (Professeur, Université de Constantine)

Mémoire soutenu le : .../.../2005

Devant le Juré composé de :

- Président Mr. Zaidi SAHNOUN (Professeur, Université de Constantine)
- Rapporteur Mr. Mahmoud BOUFAIDA (Professeur, Université de Constantine)
- Examineur Mr. Med Chaouki BATOUCHE (Professeur, Université de Constantine)
- Examineur Mr. Nacereddine ZAROOUR (Maître de conférence, Université de Constantine)

REMERCIEMENTS

Je tiens à remercier en premier lieu Monsieur Mahmoud Boufaïda, Professeur à l'université Mentouri Constantine, qui a accepté de diriger ce travail, qui m'a accueilli au sein de l'équipe 'Systèmes d'information et Bases de Connaissances' et qui m'a soutenu tout au long de ce travail en me consacrant beaucoup de temps et d'intérêt. Je le remercie une autre fois pour ses remarques, critiques et suggestions portant sur le mémoire, rapports et articles.

Je remercie tous mes enseignants, collègues d'études et de travail, ainsi que tous mes amis et toute personne qui m'a porté aide pour la réalisation de ce travail.

Enfin, je remercie les membres de ma famille ; mes parents, mes frères et sœurs. Toutefois, j'adresse un remerciement particulier à mon épouse pour son soutien et compréhension envers mes humeurs tout au long de ce travail.

Kamel Boukhelfa

TABLE DES MATIERES

INTRODUCTION GÉNÉRALE

1. Contexte et motivation.....	1
2. Problématique et objectifs	4
3. Plan du mémoire	5

CHAPITRE 1 : ENTREPRISE VIRTUELLE : PRINCIPES ET CONCEPTS

1. Introduction	7
2. Les différentes formes d'organisation en réseau	9
3. Entreprise virtuelle : un concept, nombreuses définitions	10
3.1 Motivations de l'entreprise virtuelle	10
3.2 Les différentes définitions de l'entreprise virtuelle	12
3.3 Principe de fonctionnement d'une EV	14
3.4 La coopération inter-entreprise	15
4. Caractéristiques de l'entreprise virtuelle.....	15
5. Catégories d'entreprises virtuelles	17
5.1 Les entreprises virtuelles statiques.....	17
5.2 Les entreprises virtuelles dynamiques.....	19
6. Classes d'entreprises virtuelles.....	20
7. Le Cycle de vie d'une Entreprise Virtuelle	22
7.1 Les différentes phases de cycle de vie d'une EV.....	23
7.1.1 <i>Création</i>	24
7.1.2 <i>Opération / Evolution</i>	25
7.1.3 <i>Dissolution</i>	27
7.2 Infrastructures et outils nécessaires pour le cycle de vie de l'EV	27
8. Rôles des participants dans l'EV	28
9. Concepts liés à l'entreprise virtuelle	29

9.1 Le télé-travail.....	29
9.2 L'équipe virtuelle.....	30
9.3 Les produits virtuels.....	30
10. Exemples d'application de l'entreprise virtuelle	30
11. Conclusion.....	32

CHAPITRE 2 : DÉVELOPPEMENT DE L'ENTREPRISE VIRTUELLE

1. Introduction	33
2. Projets et travaux de recherche sur l'entreprise virtuelle.....	34
2.1 Projets de recherche développant l'infrastructure.....	34
2.2 Projets de recherche traitant l'exécution du processus d'affaire	36
2.3 Projets et travaux de recherche basés sur les agents	39
2.4 Synthèse des projets et des travaux de recherche présentés	41
3. Infrastructure support à l'Entreprise Virtuelle.....	42
4. Technologies et standards déployés dans l'EV	43
4.1 Système d'aide au travail coopératif (CSCW).....	45
4.1.1 <i>Le Groupware</i>	45
4.2 Le Workflow.....	46
4.3 Le standard d'échange de données informatisées EDI-EDIFACT	48
4.4 Les systèmes Distribués Basés sur des composant d'affaires	48
4.5 Les systèmes de messagerie.....	50
4.6 Les agents et les systèmes multi-agents	51
4.6.1 <i>Qu'est ce qu'un agent?</i>	51
4.6.2 <i>Les systèmes multi-agents</i>	53
4.6.3 <i>Le paradigme d'agent pour l'entreprise virtuelle</i>	55
5. Principales Architectures supports à l'entreprise virtuelle.....	56
5.1 Les Architectures en couches (Transactionnelles).....	56
5.2 Les architectures basées agent	57
5.3 Les architectures basées sur la fédération des services	57
5.4 Recherche et sélection des partenaires dans l'EV.....	58
5.4.1 <i>Les ressources d'information</i>	59
5.4.2 <i>Recherche et sélection des partenaires basée sur les annuaires</i>	60
5.4.3 <i>Recherche et sélection des partenaires basée sur les clusters</i>	61

5.4.4 Recherche basée sur la fédération de services	62
6. Le projet PRODNET : Une plateforme ouverte pour le développement d'EVs.....	63
7. Conclusion.....	67

CHAPITRE 3 : UNE ARCHITECTURE GÉNÉRIQUE BASÉE-AGENT POUR L'ENTREPRISE VIRTUELLE

1. Introduction	68
2. Objectifs et motivations	69
2.1 Objectifs de travail	69
2.2 Motivations	70
3. Description de l'architecture proposée	71
4. Modélisation de l'entreprise virtuelle	72
5. Structure des différents agents de l'EV	74
5.1 Structure du l'agent gestionnaire du marché électronique	74
5.2 Structure de l'agent d'entreprise	76
5.3 Structure de l'agent broker	78
5.4 Structure de l'agent gestionnaire de l'EV	81
6. Description fonctionnelle de l'architecture proposée	83
6.1 La coordination dans l'entreprise virtuelle	83
6.1.1 <i>La coordination durant la phase de création.....</i>	83
6.1.2 <i>La coordination durant la phase opération/évolution.....</i>	85
6.2 La négociation dans l'entreprise virtuelle	86
6.3 La communication dans l'entreprise virtuelle	91
6.3.1 <i>Les messages échangés.....</i>	91
6.3.2 <i>Le contenu de messages.....</i>	92
7. Conclusion.....	94

CHAPITRE 4 : ÉTUDE DE CAS ET PERSPECTIVES D'IMPLEMENTATION

1. Introduction	95
2. Etude de cas :	
Entreprise virtuelle pour la construction des logements (ENVICOL)	95
2.1 Description de l'environnement de l'EV.....	95
2.2 Etablissement de l'Entreprise virtuelle	97

3. Perspectives d'implémentation.....	103
3.1 La plate-forme JADE	104
3.2 Utilisation du JADE pour le développement de l'entreprise virtuelle	104
3.3 Implémentation de l'EV dans JADE.....	106
3.4 Simulation de l'interaction entre agents d'entreprise et broker.....	106
4. Conclusion.....	110
 CONCLUSION GÉNÉRALE	
1. Conclusion et bilan du travail.....	111
2. Perspectives et travaux futurs	112
BIBLIOGRAPHIE	114
ANNEXE : IMPLÉMENTATION DES AGENTS DANS JADE	118

INTRODUCTION GENERALE

1. Contexte et motivation

Après l'automatisation intensive des systèmes de production menée durant la décennie 1980, et l'émergence des nouveaux environnements de concurrence au niveau mondial pour les produits et les services qui a caractérisé la décennie 1990. Aujourd'hui, les entreprises se sont retrouvées dans un marché mondial complexe et en expansion continue. Cela a augmenté la compétition mondiale et ainsi, il devient nécessaire de livrer plus rapidement des produits personnalisés, répondant à une demande extrêmement diversifiée de la part d'une clientèle de plus en plus exigeante.

Dans cet environnement, marqué par une concurrence rude, la flexibilité, l'adaptabilité et l'agilité sont les facteurs de succès et de continuité pour toute entreprise.

D'autre part, les sociétés de production ne sont plus des unités de fabrication isolées, mais plutôt des noeuds centraux d'une infrastructure complexe regroupant des fournisseurs, des consommateurs, et d'autres services de l'entreprise. Actuellement, les TIC (pour Technologies de l'Information et de Communication) constituent le support incontournable pour les échanges commerciaux internationaux, ainsi que pour le partage des ressources, compétences et savoir-faire des organisations. Par conséquent, les TIC facilitent le regroupement de plusieurs entreprises pour saisir les opportunités offertes sur le marché et d'être plus flexibles vis-à-vis les changements du marché.

Le changement d'environnement pour des entreprises d'envergure mondiale pourra être résumé ainsi [PARK, 1997]:

- La mondialisation. : l'entreprise est confrontée à une économie et à des marchés mondiaux sans frontières. La mondialisation des échanges comprend l'universalité des marchés, des activités et de la concurrence.

- La coopération : les entreprises sont en compétition et en coopération en même temps sur des projets différents.
- La production *orientée-client* : Les souhaits des clients vont être intégrés au coeur de toutes les étapes du cycle de production. Ils demandent une qualité élevée, des prix bas et une livraison rapide pour des produits toujours plus personnalisés.
- L'innovation technologique : Les techniques de la télécollaboration rendent nécessaires et possibles les unités organisationnelles mondialement réparties.

Les entreprises sont en train d'évoluer vers une structure plus souple, qui doit répondre rapidement à la demande de changement, d'innovations technologiques, des spécifications de la production, des conditions du marché, et des contraintes commerciales. Ce changement requiert de grands progrès dans l'infrastructure des systèmes d'information.

Par ailleurs, les avancées rapides des télécommunications, la disponibilité des réseaux ouverts tel que l'Internet et le WEB et l'apparition des technologies orientées objet distribuées et des plates-formes permettant l'interopérabilité et incluant CORBA (Common Object Request Broker Architecture) [OMG, 1998] et Java [Java, 1998] ont permis de par leur nature ouverte de fournir des mécanismes efficaces pour la gestion et le conduit électronique des affaires.

L'instauration d'Internet et du WEB comme infrastructure disponible et accessible, et parallèlement aux nouvelles avancées technologiques, incite les entreprises à saisir les opportunités du business offertes par les affaires électroniques et d'être omniprésentes dans le nouveau monde interconnecté. Cette situation permet aux entreprises de coopérer durant les différentes phases de développement des produits et de partager leurs processus d'affaire (Business Process), leurs ressources, leurs compétences fondamentales et leur savoir-faire [Ouzounis, 2001 ; Camarinha, 1999].

Ce nouveau modèle des affaires initie le concept d'entreprises virtuelles, qui est la base de l'économie en réseau. Des expressions comme *l'entreprise étendue*, *l'organisation virtuelle*, *l'organisation en réseau*, *la gestion de chaîne d'approvisionnement* et *le cluster d'entreprises* sont apparues et elles sont employées parfois d'une façon indistincte, sans souci des différences et des significations authentiques de ces termes [Camarinha, 2001]. L'entreprise étendue et l'entreprise virtuelle sont des concepts utilisés pour caractériser l'offre mondiale d'un produit dans un environnement de groupements d'entreprises

dynamiques engagées dans différentes relations complexes. Tous ces aspects sont supportés par l'utilisation intense des technologies d'information et de communication.

Les buts originaux des systèmes d'affaires relatifs aux entreprises virtuelles étaient de permettre le déploiement des processus distribués d'affaires parmi des partenaires différents, d'augmenter l'efficacité des services fournis, de diminuer le coût pour ces services et de s'adapter à de nouveaux changements du marché [Meissonnier, 2000].

Dans le contexte de ce mémoire, nous retenons la définition suivante [Probst, 1996] :

« Une entreprise virtuelle est un réseau temporaire d'entreprises indépendantes et de personnes qui unissent leurs moyens, leurs compétences et ressources afin de réaliser en commun un projet pouvant dépassé les capacités de chaque unité considérée séparément, de manière à exploiter les opportunités d'affaire volatiles, à accéder à de nouveaux marchés et à partager les coûts et les risques. Ceci sans superstructure organisationnelle importante et en exploitant les facilités fournies par les nouvelles technologies de l'informatique et des télécommunication »

En se basant sur les particularités communes mentionnées par les différentes définitions de l'entreprise virtuelle (EV) dans la littérature, deux catégories d'EV peuvent être identifiées, à savoir les entreprises virtuelles statiques et les entreprises virtuelles dynamiques.

L'entreprise virtuelle est caractérisée par son agilité. L'idée des organisations fortement dynamiques qui se forment selon les besoins et les opportunités du marché -et cela reste opérationnelle tant que ces opportunités persistent- est généralement associée à ce concept d'agilité [Camarinha, 1999]. L'entreprise virtuelle a une durée de vie relativement courte, une fois que l'affaire est finie, l'organisation se démonte bien que ses membres continuent à exister et participeront probablement à d'autres consortiums dynamiques identiques. La composition d'une EV est déterminée par le besoin d'associer l'ensemble le plus approprié des compétences et des ressources apportées par certaines organisations individuelles distinctes. L'EV peut, si cela est nécessaire, se réorganiser en ajoutant/excluant certains membres ou en réassignant dynamiquement des tâches ou des rôles à ses membres.

En termes technologiques il y a un besoin d'une infrastructure adéquate, fortement flexible, sûre et robuste pour soutenir l'EV tout au long de son cycle de vie.

La mise en oeuvre d'une infrastructure supportant les systèmes coopératifs dans les EVs est dépendante d'un grand nombre de composantes technologiques, de paradigmes et de standards tel que le standard d'échange de données informatisé EDI (pour : Échange des Données Informatisées), les protocoles TCP/IP, KQML, les systèmes de gestion de Workflow, le paradigme agent et systèmes multi-agents.

Des difficultés surgissent quand une EV est composée d'entreprises opérant dans des structures légalement différentes, par exemple, quand la politique est différente de douane, des impôts, des droits de consommateur, etc. Un autre point compliqué est la gestion de propriété intellectuelle qui est produite suite à un effort coopératif pluripartite [Camarinha, 2001]. Finalement les aspects culturels et socio-organisationnels sont des problèmes-clés pour l'implantation du paradigme de l'EV. La création d'une culture de coopération, la construction de la confiance (trust), le rapprochement des différences interculturelles, la redéfinition de l'organisation interne des entreprises, la définition de nouveaux rôles internes et la planification de programmes de formation appropriés, sont les défis principaux que les entreprises devront continuellement faire face.

Les entreprises virtuelles fournissent, la possibilité de partager les processus d'affaire d'une façon rentable et d'un autre côté, l'accès aux capacités, compétences et ressources offertes par les différents partenaires. Cela peut ramener à raccourcir le développement et les cycles de vie des produits/services et par conséquent, réduire les coûts et les dépenses et permettre une adaptabilité rapide aux besoins du marché.

2. Problématique et Objectifs

La majorité des travaux et projets de recherche concernant le développement d'entreprises virtuelles tels que NIIP [NIIP, 1996], PRODNET-II [Camarinha, 2002], MASSYVE [Rabelo, 2001], VEGA [VEGA, 1998] et autres, sont de nature empirique, c'est-à-dire, qu'ils sont destinés au développement des standards et des architectures de référence pour des entreprises virtuelles spécifiques (liées au secteur d'activité). Par conséquent, un modèle ou une architecture adoptée par un projet ne convient pas à un nouveau projet, si ce dernier vise un secteur d'activité différent.

Dans le contexte de notre travail, nous visons à aborder le contexte d'étude et de développement des entreprises virtuelles, commençant par la présentation des différents

concepts de base de l'entreprise virtuelle ainsi que l'ensemble des technologies employées pour le développement d'EVs.

Notre travail est une contribution aux efforts dépensés par de nombreux travaux de recherche visant la réalisation des modèles standard, et des architectures de référence pour l'entreprise virtuelle. Dans cette perspective, nous allons présenter une architecture générique support à l'établissement d'EVs, indépendamment de secteur d'activité de cette entreprise. L'architecture proposée est une architecture basée sur le paradigme des agents, conçue pour supporter tout le processus de cycle de vie d'une entreprise virtuelle.

Pour l'élaboration de notre approche nous allons développer les points suivants :

1. L'identification des activités génériques, c'est-à-dire toutes les activités et les tâches à exécuter dans n'importe quel processus de construction d'entreprise virtuelle, et cela quelle que soit la nature de l'entreprise virtuelle à établir (industrielle, de service, d'édition de logiciel, etc.)
2. La spécification d'une architecture générique, c'est-à-dire la définition des concepts de base de l'architecture qui doivent assurer les activités recensées (l'environnement, les différents types d'agent et leurs structures)
3. La définition d'un modèle de négociation qui soit indépendant de tout domaine d'application particulier, et donc la spécification des mécanismes de négociation génériques, utilisables durant la création de l'EV.

3. Plan du mémoire

Ce mémoire est organisé en quatre chapitres présentant l'état de l'art dans le contexte de l'entreprise virtuelle, les travaux et projets de recherches, ainsi que les technologies et les paradigmes déployés pour le développement d'entreprises virtuelles et l'approche proposée et sa validation par une étude cas.

Le premier chapitre est une introduction pour aborder le contexte d'entreprise virtuelle. Il inclut une présentation et une analyse des différents concepts, termes et définitions relatives à l'entreprise virtuelle.

Le deuxième chapitre présente quelques projets et travaux de recherche réalisés ou en cours de développement, en relation avec notre cadre d'étude. Dans ce chapitre une classification selon l'intérêt et les concepts traités dans chaque projet est établie. De plus,

les différentes technologies, standards et paradigmes de développement et leurs déploiements dans le contexte d'EV y sont présentés, ainsi que les principales architectures adoptées par des projets différents pour l'établissement d'EV.

Le troisième chapitre est consacré, à l'approche proposée. Il présente les motivations pour le choix de l'approche agent, la spécification de l'architecture proposée et de tous les concepts, agents et autres déployés pour l'établissement de cette architecture. En plus, une étude concernant les points pertinents est effectuée, à savoir, la coordination, la négociation et la communication inter-agents.

Le quatrième chapitre présente une étude de cas, pour permettre la validation de l'architecture proposée. Elle permet aussi de fournir des explications supplémentaires concernant certains aspects qui n'ont pas pu être bien éclairés dans le chapitre précédent, puisque ils sont reliés à l'activité de l'EV. Cette étude de cas est consolidée par une simulation faite dans l'environnement JADE [JADE, 2002].

Enfin, nous terminons ce mémoire par une conclusion générale dans laquelle, nous présentons un bilan du travail effectué ainsi que les perspectives et les travaux futurs méritant d'être effectués pour améliorer et approfondir cette étude.

ENTREPRISE VIRTUELLE PRINCIPES ET CONCEPTS

1. Introduction

Dans un marché mondial, marqué par une rude concurrence entre les différents participants, les entreprises cherchent continuellement de nouveaux moyens pour surmonter la pression compétitive engendrée. Reconnaissant le besoin de raccourcir le processus de développement des produits et les cycles industriels, de réduire le temps et les dépenses, d'atteindre un degré élevé de satisfaction des clients, d'être opérationnelles à l'échelle mondiale et de s'adapter rapidement aux nouveaux changements du marché, les entreprises sont menées à automatiser leurs procédés et à établir la coopération inter-organisations et le partage des moyens, des ressources et des informations [Ouzounis, 2001]. En conséquence, les systèmes d'information relatifs à ces entreprises devraient être sans cesse capables de refléter cette énorme diversité de besoins et de changements.

Les entreprises virtuelles ne sont pas un nouveau concept dans les études de management [Camarinha, 1999]. Certaines grandes entreprises industrielles et particulièrement dans la construction d'automobile possèdent déjà des relations d'affaires avec leurs fournisseurs et clients. Ces relations d'affaires '*virtuelles*' permettent le partage des processus d'affaire et des ressources entre les différents acteurs mais, le niveau d'intégration et les TICs employées ne permettent pas de parler réellement de vraies entreprises virtuelles, la plupart des activités sont toujours exécutées manuellement, ad hoc et d'une façon complexe.

Le paradigme d'EV présente un secteur de recherche promoteur et une avancé technologique significative pour les industries actuelles. Ce secteur de recherche est cependant croissant et multidisciplinaire et qui est toujours en manque d'une définition précise des concepts et d'une convention sur la terminologie employée [Camarinha, 1998a].

Une première définition possible de l'EV est celle de Camarinha *et al.* [Camarinha, 2001] :

« Une entreprise virtuelle est une alliance provisoire d'entreprises qui veulent partager ensemble leur spécialités, leurs compétences fondamentales et leurs ressources pour mieux répondre aux opportunités d'affaires et dont la coopération est soutenue par des réseaux d'ordinateurs »

Les deux éléments clefs dans cette définition sont la gestion du réseau et la coopération. Il est clair, qu'il y a une tendance pour décrire une EV comme un réseau d'entreprises coopérantes. Certaines entreprises ou organisations préexistantes possédant des buts communs forment ensemble un réseau inter-opérable qui agit comme une organisation unique simple, sans former une nouvelle entité, ou mettre en place un siège social physique. Autrement dit, les entreprises virtuelles se réalisent par l'intégration des compétences et des actifs de différentes entreprises dans une simple entité d'affaires. Ce paradigme présente un challenge pour les entreprises en ce qui concerne leurs méthodes d'organisation et de gestion. Les entreprises, particulièrement les entreprises de petite et moyennes tailles (PMEs) doivent unir leurs compétences et leurs ressources pour être compétitives dans un marché marqué par une forte concurrence d'une portée internationale.

Une deuxième vue de l'entreprise virtuelle est celle d'Ouzounis [Ouzounis, 2001], dans laquelle il utilise l'expression 'domaine des affaires' pour exprimer d'une façon généralisée une entreprise ou une organisation :

« Une EV est un réseau des domaines administratifs d'affaires différents qui coopèrent en partageant des processus d'affaire et des ressources et de fournir un service à valeur ajoutée au client. Chaque partenaire de l'entreprise virtuelle contribuera principalement en ce qui concerne ses compétences fondamentales. Il y a un délai fixé de l'existence de l'entreprise virtuelle causée par l'accomplissement de son but d'affaires. Du point de vue d'un observateur externe (un client), l'entreprise virtuelle apparaît comme une entreprise unitaire »

Dans ce chapitre, nous allons aborder le contexte de l'entreprise virtuelle en présentant et analysant les différents concepts, termes et définitions fréquemment rencontrés dans la littérature.

2. Les différentes formes d'organisation en réseau

Avec la large variété de formes d'organisation en réseau et l'émergence de nouveaux paradigmes de commerce électronique, la terminologie de ce domaine devient conflictuelle. Des expressions comme '*l'entreprise étendue*', '*l'organisation virtuelle*', '*l'organisation en réseau*', '*la gestion de chaîne d'approvisionnement*' et '*le cluster d'entreprises*' sont employée parfois par certains auteurs de façon indistincte, sans souci des différences et des significations authentiques de ces termes. De ce fait, ces concepts ont besoin d'une clarification rigoureuse permettant de les distinguer.

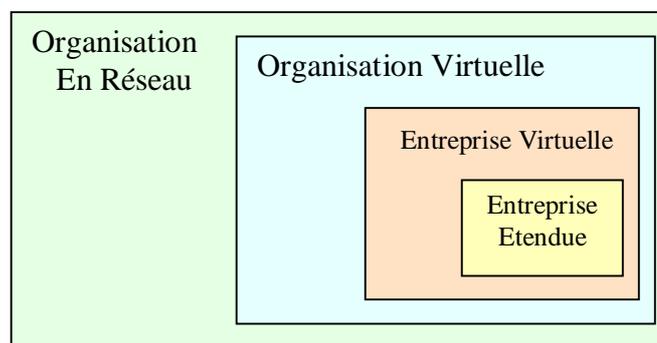


Figure 1.1 : Différentes formes d'organisation en réseau

La figure 1.1 illustre les formes d'organisation virtuelle les plus utilisées [Camarinha, 1998a] :

L'entreprise étendue : Ce terme, est le rival le plus proche à l'entreprise virtuelle. Il est mieux adapté aux organisations dans lesquelles une entreprise dominante *étend* ses frontières pour contenir tous ou certains de ses fournisseurs, sous-traitants et mêmes à des entreprises concurrentes.

Les partenaires dans l'entreprise étendue travaillent en commun, sur au moins un objectif partagé, tout en profitant mutuellement des compétences et des ressources. C'est une situation typiquement rencontrée dans l'industrie de l'automobile et dans les chaînes d'approvisionnement stables.

Entreprise Virtuelle : Comparativement à l'entreprise étendue, l'EV peut être vue comme un concept plus général incluant d'autres types d'organisations, à savoir une structure plus démocratique dans laquelle la coopération est égal à égal. Dans ce sens, on peut voir une entreprise étendue comme un cas particulier d'une entreprise virtuelle.

Organisation Virtuelle : L'organisation virtuelle dépasse les limites d'une simple alliance d'entreprises tel est le cas des EVs. Elle fait référence à n'importe quel groupe d'organisations liées par un réseau d'ordinateurs, partageant les compétences et les ressources, pour réaliser un but commun entre les différents participants. Un exemple d'organisation virtuelle pourrait être une organisation de municipalité virtuelle associant, via un réseau d'ordinateurs toutes les organisations impliquées dans une municipalité (l'hôtel de ville, les services de distribution municipaux d'eau, les services internes de revenu, les équipements publics de loisir, les services des cadastres, etc.). Une entreprise virtuelle est donc, un cas particulier d'organisation virtuelle.

Organisation en réseau : C'est peut-être le terme le plus général se référant à n'importe quel groupe d'organisations liées par un réseau d'ordinateur, mais sans partager nécessairement des compétences ou des ressources, ou ayant un but commun. Les organisations typiquement en réseau correspondent à un type très libre d'organisation.

Le terme « **gestion de la chaîne d'approvisionnement** » réfère à la politique et aux mécanismes supports de la gestion de flux des matériels dans une chaîne de valeur. Il couvre probablement plusieurs aspects, depuis les fournisseurs de matière première aux consommateurs et il implique les fabricants de produit, les distributeurs, les détaillants, etc. [Camarinha, 1998a ; Zarin, 1999]. Ce concept est traditionnellement appliqué aux organisations qui sont relativement stables, c'est-à-dire où les compétences fondamentales restent inchangeables pendant une grande période de temps.

Finalement, le **cluster d'entreprises** est un groupe d'entreprises qui ont le potentiel et la volonté pour coopérer et donc, peuvent devenir des partenaires dans une EV. Ces entreprises sont normalement enregistrées dans un annuaire (liste d'adresses), où leurs compétences fondamentales sont déclarées. Basé sur cette information, un initiateur d'EV peut sélectionner des partenaires quand une opportunité d'affaires est repérée.

3. Entreprise virtuelle : un concept, nombreuses définitions

3.1 Motivations de l'entreprise virtuelle

Avec le développement des nouvelles technologies (l'informatique, la robotique et l'électronique) et avec les demandes diversifiées des consommateurs soucieux d'innovation et de plus en plus exigeants, l'organisation doit évoluer vers un type de structures plus mobile et plus réactif. La hiérarchie des décisions dans les organisations

traditionnelles doit être remplacée par des unités de production décentralisées, aptes à prendre les décisions d'une façon autonome. Les organigrammes verticaux et figés doivent être transformés en organigrammes en réseaux reflétant ainsi, la flexibilité et l'évolutivité de l'organisation. Le personnel doit s'adapter en permanence aux évènements imprévisibles et aux incertitudes du marché.

L'adoption de telles organisations permet aux entreprises [SCMC, 1999] :

- ***D'être agiles*** : en se dotant de la capacité de reconnaître, réagir rapidement et de faire face aux changements imprévisibles de leurs environnements pour mieux répondre aux opportunités, et pour fournir des produits de haute qualité dans des délais plus courts, tout en minimisant l'investissement.
- ***De chercher des complémentarités*** : la création des synergies regroupant plusieurs entreprises avec des compétences différentes, permet à toute entreprise membre d'un groupe de participer aux opportunités d'affaires compétitives et d'affranchir de nouveaux marchés jusqu'à présent hors de sa portée.
- ***Elargir la dimension*** : Les PME (Petites et Moyennes Entreprises) par le biais des associations (partenariat) interentreprises auront la possibilité d'apparaître avec une plus grande taille (plus de visibilité) sur le marché.
- ***D'être compétitives*** : La rentabilité et la productivité sont nettement améliorées en attribuant des tâches secondaires à un ensemble d'organisations appropriées coopérantes.
- ***D'optimiser les ressources*** : les organisations de petite taille peuvent partager les infrastructures, les connaissances et les compétences, et ainsi l'exploitation efficace des ressources offertes.
- ***De Faciliter l'innovation*** : le fait qu'une organisation soit dans un réseau, permet d'exploiter les opportunités qui se présentent par l'échange et la confrontation d'idées entre les différents participants. Cela permet de découvrir de nouveaux talents et potentiels compétences qui sont la base de l'innovation.
- ***De partager les risques*** avec les autres participants : Cela rend les entreprises plus audacieuses pour entrer dans de nouveaux marchés et de supporter qu'une partie des pertes potentielles.

3.2 Les différentes définitions de l'entreprise virtuelle

Le terme virtuel est employé pour exprimer la remise en cause des facteurs spatio-temporels inoculés par l'utilisation des nouvelles technologies de l'information et de la communication. Une question émerge «pourquoi n'utilise-t-on pas un autre qualificatif qui semble équivalent au terme virtuel : immatérielle ou imaginaire par exemple ? » [Meissonnier, 2000].

Le terme « *Virtuel* » a été de plus en plus utilisé par adjonction à différents objets dont les progrès technologiques parvenaient à simuler la réalité (ex : la réalité virtuelle). Ce terme vient du latin « *Virtualis* » : qui n'est qu'en puissance, sans effets actuels¹. Quelque chose de virtuel contient ainsi en ses germes, un potentiel pour donner naissance à quelque chose dont on ne peut pas prédéterminer le résultat final [Meissonnier, 2000]. « *Dans chaque enfant, il y a un homme virtuel* » cette expression ne fait pas que préciser le potentiel de l'enfant à devenir un homme, mais également, le fait que malgré l'éducation que l'on pourra lui infliger, les conditions de réussite qu'on lui assurera, ce qu'il deviendra n'est pas une donnée actuelle au problème.

La littérature mentionne plusieurs définitions de l'entreprise virtuelle. Nous citons ici quelques définitions pour l'entreprise (organisation) virtuelle proposées par des auteurs différents.

Dans le projet NIIP [NIIP, 1996], nous trouvons une définition qui focalisée sur les questions de temporalité et de partage des coûts et des compétences :

«Une Entreprise Virtuelle est un consortium temporaire ou alliance de compagnies formé pour partager les coûts et les compétences et exploite le changement rapide des opportunités du marché »

Une autre définition dans [Strausak, 1998] révèle l'utilisation des TIC et l'apparence unifiée de l'EV :

«Une organisation virtuelle est un réseau temporaire d'institutions indépendantes, entreprises ou individus spécialisés qui à travers l'usage des TIC s'unissent spontanément pour utiliser un avantage compétitif apparent. Ils s'intègrent verticalement, et apportent leurs noyaux de compétences et agissent à toutes les apparences comme une seule unité organisationnelle »

¹ Définition donnée par le dictionnaire LAROUSSE.

Zarli [Zarli, 1999] invoque la nature limitée de l'EV :

« Une entreprise virtuelle est une association de compagnies qui travaillent ensemble pour la durée d'un projet spécifique »

Cependant, Fisher [Fischer, 1996] met en valeur l'aspect de coopération et d'autonomie des membres formant l'EV.

« Un réseau provisoire, coopératif formé de compagnies indépendantes, autonomes pour exploiter une opportunités particulière du marché »

Les définitions suivantes incluent d'autre vues sur la virtualité tel que : l'immatérialité, l'utilisation des TIC et la forme libre de l'organisation:

« Une entreprise (corporation) virtuelle est un réseau temporaire de compagnies indépendantes : fournisseurs, clients, concurrents égaux, liés par les technologies de l'information (TI) pour partager les compétences, les coûts et l'accès aux marchés des uns et des autres. Il n'y aura ni bureau central ni tableau de l'organisation. Il n'y aura aucune hiérarchie, aucune intégration verticale » [Byrne, 1993]

« Une organisation virtuelle est caractérisée par le faite d'être un réseau d'organisation indépendante et géographiquement dispersée avec un chevauchement de la mission partiel à l'origine. Dans le réseau, tous les partenaires fournissent leurs compétences fondamentales et la coopération est basée sur des relations semi-stables » [Bultje, 1998]

La combinaison des différentes définitions proposées permet d'accentuer sur les points les plus pertinents qui marquent cette forme d'organisation.

« Une entreprise virtuelle est un réseau temporaire d'entreprises indépendantes et de personnes qui unissent leurs moyens, leurs compétences et leurs ressources afin de réaliser en commun un projet pouvant dépassé les capacités de chaque unité considérée séparément de manière à exploiter les opportunités d'affaire, à accéder à de nouveaux marchés et à partager les coûts et les risques. Ceci sans superstructure organisationnelle importante et en exploitant les facilités fournies par les nouvelles technologies de l'informatique et des télécommunications » (adaptée de [Probst, 1996])

3.3 Principe de fonctionnement d'une EV

L'exemple suivant présente un scénario de fonctionnement d'une entreprise virtuelle établie entre plusieurs fournisseurs de services de télécommunication :

L'organisation de télécommunication fournit des réseaux virtuels privés à ses clients. Dans le cas où un client exige une connexion de réseau privé entre deux emplacements physiques qui appartiennent à deux états différents, par exemple l'Algérie et la Tunisie, l'organisation de télécommunication initiale doit établir les connexions de lignes internationales appropriées louées en utilisant l'infrastructure de réseau d'une autre organisation de télécommunication. Cela signifie que « Algérie-Télécom » qui représente la société de service de communication initiale en Algérie, doit coopérer avec la société tunisienne de télécommunication pour fournir la ligne internationale louée. Les trois sociétés doivent conjointement *coopérer*, partager les ressources et les processus d'affaires durant cette activité complexe afin de fournir ce service au client. La ligne fournie louée est un service offert par trois sociétés qui se sont engagées à servir ce client pour la durée entière de l'existence de la ligne louée. Le service final est fourni d'une façon transparente à l'utilisateur.

La figure 1.2 est une illustration du concept de l'EV, dans laquelle plusieurs entreprises réunissent leurs compétences dans une seule entité virtuelle pour réaliser un but commun.

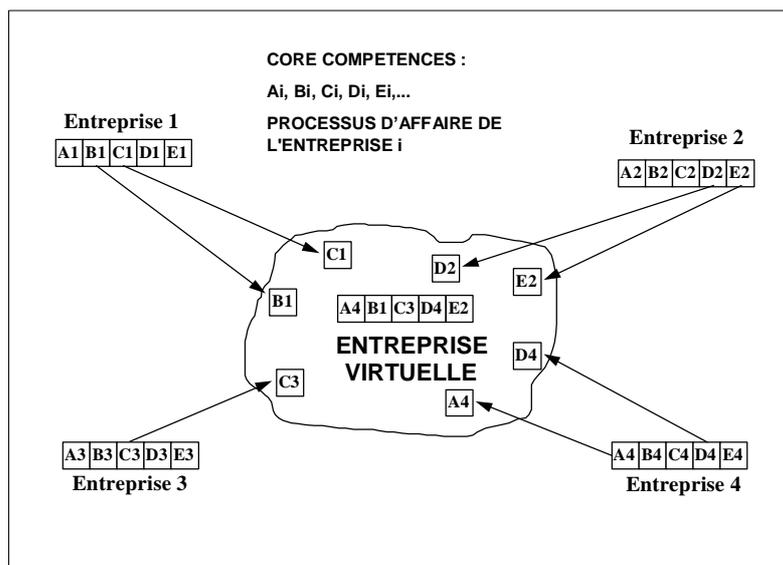


Figure 1.2: Le concept d'entreprise virtuelle [Fisher, 1996]

3.4 La coopération inter-entreprise

Les entreprises sont en train d'évoluer vers une structure plus souple, qui doit répondre rapidement à la demande de changement, d'innovations technologiques, des conditions du marché, et des contraintes commerciales.

La coopération entre les divers acteurs du marché semble devenir incontournable pour l'entreprise du futur.

Nous reprenons ici, la définition donnée par 'Boughzala' [Boughzala, 2001] pour la coopération. Cette définition est la synthèse de plusieurs travaux en relation :

« La coopération interentreprises peut être définie comme une situation où deux ou plusieurs agents partenaires, sous l'égide de contrat, mettent en commun des ressources et des moyens complémentaires pour la résolution de problèmes afin d'accomplir une ou plusieurs activités en commun. Ces agents communiquent entre eux afin de coordonner leurs tâches »

Dans le contexte de l'EV, la coopération entre les différents membres implique surtout l'échange assuré des informations (par exemple le partage des modèles de produit) et l'agilité accrue vis-à-vis les demandes des autres membres [Probst, 1996]. Chaque entreprise doit aussi coopérer avec le coordinateur de l'EV, pour assurer le contrôle du statut de travail et d'autres tâches de coopération avancées.

4. Caractéristiques de l'entreprise virtuelle

Bien qu'il n'y ait aucune définition académique stricte quant à l'EV, les modèles différents d'EV présentent des caractéristiques d'affaires et techniques communes [Ouzounis, 2001 ; CIMOSA, 1998]. Les particularités les plus importantes d'une EV sont [Kanet, 1997 ; SCMC 1999] :

1. L'ignorance des frontières et des limites traditionnelles : Actuellement, les entreprises indépendantes ne sont pas toujours en capacité de fournir les produits ou la qualité désirables. Ce besoin de flexibilité peut seulement être garanti par des petites organisations flexibles qui peuvent réagir promptement aux demandes du client. Les produits peuvent être réalisés par la *coopération* de disciplines multiples.

Une collaboration peut avoir lieu par l'union de compétences fondamentales et/ou la combinaison de méthodes de production utilisées par les participations.

2. La complémentarité des compétences fondamentales et le partage des ressources :

La caractéristique primaire d'une organisation virtuelle est l'union des compétences fondamentales des participants (les métiers fondamentaux).

Plusieurs entreprises indépendantes sont impliquées dans la fourniture du produit/service au client. Les difficultés du marché et les demandes qui confrontent les organisations individuelles, ne peuvent plus être résolus ou confrontés par l'organisation solitaire. Une relation de complémentarité de compétences est formée entre les participants de l'entreprise virtuelle, permettant ainsi de livrer un produit ou de réaliser un projet à travers la collaboration et le partage des ressources.

3. La dispersion géographique des participants :

Une autre caractéristique de l'entreprise virtuelle est la dispersion géographique d'activités (des participants). Les partenaires sont physiquement distribués et sont connectés entre eux avec des moyens et des systèmes électroniques. Les TIC sont le moyen qui réalise la communication entre les participants, l'emplacement de travail n'a plus de signification. Il est possible de communiquer dans quelques secondes à une échelle mondiale.

4. Des participants changeants :

L'entreprise virtuelle peut être composée différemment chaque jour. Un jour une telle entreprise peut faire partie du réseau, formant l'entreprise virtuelle avec d'autres entreprises. Le jour suivant, elle pourrait être composée d'autres entreprises différentes des précédentes, ce qui permet une meilleure souplesse et une plus grande adaptabilité.

Le nombre de partenaires dans l'EV pourrait être statique, ou bien dynamique selon les besoins et les exigences des partenaires impliqués.

5. L'égalité des participants :

L'indépendance accrue dans les entreprises virtuelles mène à une égalité plus grande dans les relations des participants. Chaque participant dans cette collaboration joue son propre rôle, contribue à l'amélioration du produit fini et forme une liaison indépendamment de l'emplacement dans le processus de l'entreprise virtuelle. La fourniture des services aux clients est faite d'une façon transparente par un associé représentatif.

6. La confiance est un facteur primaire pour sa réussite :

La confiance joue un rôle important dans l'entreprise virtuelle, cette confiance est garantie par des procédures et des contrats, et elle repose principalement sur la confiance entre les gens.

7. L'utilisation des NTIC : Le principe de l'entreprise virtuelle doit rompre l'unité de temps, l'emplacement et le commerce. La collaboration est basée sur les nouvelles technologies de l'information et de la communication.

Le courrier électronique, la messagerie vocale et la communication particulièrement vidéo fournissent assez de portée pour la création rapide de contact dans lequel la dimension personnelle peut aussi être adressée. Le logiciel de travail en groupe (Groupware) offre des possibilités de collaboration et de communication efficaces, croisant les frontières de temps et de la place si nécessaire.

8. La temporalité : Les entreprises virtuelles ont une nature temporaire mais peuvent aussi être fonctionnelles sans la perspective d'être fini (ignorant pour un instant le fait que toutes les entreprises soient en fin de compte finies). Cette entreprise est considérée temporaire par le fait que sa vie dure le temps d'achèvement d'un projet. Mais elle pourrait aussi avoir une durée indéterminée; l'entreprise restera fonctionnelle tant que la demande de client existe et/ou les participants constatent que leur collaboration est avantageuse.

5. Catégories d'entreprises virtuelles

Selon *Ouzounis* [Ouzounis, 2001] et en se basant sur les particularités communes que les EVs présentent, deux catégories bien définies peuvent être identifiées, à savoir les entreprises virtuelles statiques et les entreprises virtuelles dynamiques.

5.1 Les entreprises virtuelles statiques

Dans les EVs dites statiques un nombre de partenaires est lié ensemble d'une façon statique et fixée. Les relations d'affaire entre les partenaires sont prédéterminées, fortement couplés, fixés et bien intégrés et personnalisés entre les associés [NIIP, 1996 ; Camarinha, 1999]. Le réseau est fixé et prédéterminé et ainsi, la structure de l'EV est statique et prédéterminée.

Basé sur la distribution et le style de gestion du réseau, deux types d'EV statique peuvent être identifiés, à savoir, centralisé et décentralisés.

Dans *l'EV statique centralisée*, un domaine dominant d'affaires (entreprise ou autre organisation) coordonne les relations d'affaires entre les membres du réseau, impose les interfaces techniques pour l'intégration des affaires parmi les partenaires, intègre les processus des partenaires en créant un processus d'affaire partagé et gère l'infrastructure technique et les processus d'affaire partagés des partenaires d'une façon statique et

centralisée [NIIP, 1996]. Les partenaires et l'organisation centrale forment des relations à long terme et se concentrent sur les retours d'investissement durant la durée de vie de cette relation. Finalement, l'établissement de l'EV est réalisé manuellement, d'une façon personnalisée et sous le contrôle total de l'organisation dominante. Les besoins d'intégration, le développement et les coûts de reconstruction sont élevés pour tous les membres.

Des exemples typiques d'entreprises virtuelles statiques centralisées sont les modèles qui ont été appliqués dans le secteur de l'automoteur industrielle [Zarlin, 1999]. Dans ce cas, un grand constructeur d'automobile possède un réseau de fournisseurs, de distributeurs et de revendeurs qui travaillent ensemble dans les différentes phases de la production, la distribution et la vente. Le constructeur a des besoins et des exigences spécifiques. Il impose ses exigences pour augmenter le degré d'automatisation et diminuer les coûts de distribution et de production. Le réseau de fournisseurs, de revendeurs et de distributeurs coopère étroitement avec le domaine d'affaires central dominant en adoptant et intégrant les interfaces pré spécifiées par ce dernier.

Dans *les EVs statiques décentralisées*, les différents partenaires sont lié ensemble d'une façon plutôt autonome et décentralisée. Ce type de réseau est semblable au précédent sauf qu'il n'y a aucune organisation de gestion centrale, dominante, et chaque membre du réseau peut coopérer avec plusieurs autres domaines. Aucun des partenaires ne possède le contrôle total du réseau et de l'infrastructure support, tandis que, l'intégration des processus d'affaire entre les différents membres est exécutée d'une façon conjointe, coordonnée et progressive. Les partenaires établissent des relations d'affaires à long terme et gagnent les retours sur investissement durant la durée de vie de ces relations. Finalement, l'établissement de l'EV est réalisé manuellement et d'une manière personnalisée et tient en compte les exigences techniques spécifiques des partenaires. Le développement et les coûts d'intégration sont plutôt élevés, tandis que l'évolution du réseau est impossible [Ouzounis, 2001 ; Zarlin, 1999].

L'industrie de la haute technologie est un exemple de ce modèle. Les organisations comme les fabricants des semi-conducteurs et les firmes d'assemblage se concentrent sur une activité dans la chaîne de valeur complète et entrent ensuite en partenariat avec d'autres organisations pour jouer un rôle dans les chaînes de valeur multiples. Chaque partenaire joue un rôle dans l'EV et contribue principalement par ses propres compétences. Dans

L'industrie de la haute technologie, les membres d'une EV peuvent travailler sur la production et l'assemblage de nouveaux produits, aussi bien que sur la distribution de produits aux différents revendeurs.

Une approche plus récente d'automatiser le processus de formation (création) de l'EV statique est d'employer un marché virtuel ou un service d'annuaire où les membres potentiels de l'EV enregistrent leurs ressources et processus d'affaire [CrossFlow, 1998 ; Ouzounis, 2001]. Le marché virtuel fournit des services de correspondance aux domaines d'affaires qui veulent localiser des partenaires de l'EV. Des opérateurs humains recherchent dans le marché et localisent les partenaires potentiels qui peuvent fournir les processus spécifiques. Alors, le processus de négociation manuel démarre pour sélectionner les partenaires candidats appropriés à l'EV. Cette approche peut tirer profit de la nouvelle économie ouverte d'Internet pour améliorer le processus de formation des organisations virtuelles.

5.2 Les entreprises virtuelles dynamiques

A l'inverse des EVs statiques, dans les entreprises virtuelles dynamiques un ensemble de partenaires est lié dynamiquement, sur demande et selon les exigences des clients en déployant un marché virtuel. Les entreprises (les domaines d'affaires) n'ont pas de relations d'affaires fixes et ainsi, l'EV n'est pas statique et pourrait changer continuellement en se basant sur les critères qui régissent le marché. Le marché fournit des services pour l'enregistrement des processus d'affaire en offrant certains modèles de processus bien définis et générique. Les entreprises voulant former des relations d'EV peuvent enregistrer des offres sur le marché par rapport aux modèles de processus fournis. Chaque fois qu'une entreprise veut employer un processus particulier, il fouille le marché et localise tous les partenaires potentiels qui peuvent fournir le processus. Aussitôt que la liste des candidats de l'EV est trouvée, les processus de sélection des partenaires démarre. Ce processus est habituellement réalisé par négociation. Le processus de négociation pourrait être manuel, ou bien automatique et le résultat est un contrat à court terme qui règle les relations d'affaires qui viennent d'être établies.

Les entreprises virtuelles dynamiques améliorent significativement les EVs statiques et prennent le plein avantage des opportunités offertes par l'Internet et l'économie mondiale. Les entreprises virtuelles dynamiques sont marquées par des durées de cycle de vie très

courtes, des relations d'affaires dynamiques entre les partenaires et un comportement flexible et autonome [Ouzounis, 2001].

Basé sur la distribution et le style de gestion du réseau, deux types d'EVs dynamique peuvent être identifiés :

- **Centralisé** : quand le propriétaire du marché est un partenaire de l'EV. Ce domaine gère et administre le marché virtuel et met en application des modèles de processus spécifiques. Bien que, du point de vue technique, il est possible d'organiser une EV en terme d'EV dynamique centralisée (EVDC), ce qui est peu commun de point de vue business. Les EVs dynamiques centralisées peuvent être déployées par des très grandes organisations qui voudraient faire le transit d'une EV statique centralisée vers une situation plus dynamique [Zarli, 1999].

- **Décentralisé** : quand le propriétaire du marché est un fournisseur tiers qui n'a aucune relation avec les partenaires enregistrés. C'est probablement le modèle le plus avancé et le plus flexible et qui présente le plus des bénéfices. Cependant, les systèmes d'affaires et technologies requises sont trop complexes et immatures jusqu'à présent.

6. Classes d'entreprises virtuelles

Il est clair, que le besoin de classifier les différentes perspectives de l'EV surgisse, avant qu'il soit concrètement possible d'étudier et de modéliser ce paradigme. Une première classification est proposée dans [Camarinha, 1998a] selon certaines caractéristiques comme la durée, la topologie et la coordination. De ce fait, de nouvelles caractéristiques sont définies ici pour mieux classifier les différentes sortes d'EVs :

1. **Durée** : Certaines alliances d'entreprise sont destinées à une seule opportunité d'affaires et elles sont dissoutes à la fin de processus de traitement de cette opportunité (un seul processus d'affaire). Cette situation correspond peut-être à la plupart des entreprises virtuelles qui se trouvent habituellement dans les environnements de construction, comme par exemple, les consortiums impliqués dans la construction des ponts. Mais, il y a aussi des alliances à long terme qui durent pour un nombre indéfini de processus d'affaires ou pour une période de temps indiquée. Des cas typiques de ce genre d'alliance à long terme sont souvent rencontrés dans les chaînes d'approvisionnement dans l'industrie alimentaire et l'industrie automobile.

2. Topologie : Selon la topologie du réseau, il y a des situations qui montrent une nature variable/dynamique dans laquelle certaines entreprises (des partenaires non stratégiques) peuvent dynamiquement joindre ou quitter l’alliance selon les phases du processus d’affaire ou d’autres facteurs du marché. Cependant, dans beaucoup de secteurs il y a des chaînes d’approvisionnement avec une structure presque fixée (peu de variation en termes de fournisseurs ou des clients)

3. Participation : Une autre facette liée à la géométrie de l’EV, est la possibilité d’une entreprise de participer simultanément à des réseaux divers ou d’être partie d’une seule alliance (l’exclusivité)

4. Coordination : En termes de coordination dans le réseau, une diversité de modèles est trouvée. Dans certains secteurs, comme l’industrie automobile, il y a une entreprise dominante « entourée » par un réseau relativement fixé de fournisseurs (structure en étoile). L’entreprise dominante définit « les règles du jeu » et impose ses propres standards, par exemple EDIFACT et STEP pour l’échange des informations de production. Des exemples semblables peuvent être trouvés dans le secteur d’agrobusiness (l’industrie agricole). Le concept d’entreprise étendue peut être employé pour décrire ce cas particulier. Des organisations différentes pourraient être trouvées dans une chaîne d’approvisionnement, sans qu’il y ait une organisation dominante (*Alliance démocratique*). Dans ce genre de situation, tous les noeuds coopèrent sur la base d’égalité, en conservant leur autonomie, mais joignant leurs compétences. Une fois qu’une alliance est formée avec succès, les entreprises peuvent bénéficier d’une gestion commune des ressources et des compétences et elles peuvent avoir tendance à créer une sorte de structure de coordination commune (*fédération*). Il existe peu d’exemples de structures fédérées dans la réalité, à l’exception des cas de groupes d’entreprises appartenant à un même holding. Des exemples de cette tendance peuvent déjà être rencontrés dans le petit secteur de détaillants comme une réaction aux grandes chaînes hypermarché [Camarinha, 2001].

5. Visibilité : les deux critères, topologie et coordination déterminent l’aspect de visibilité, c’est-à-dire, quelle est la portée de vision pour un noeud, toute au long du réseau. Dans de nombreux cas, un noeud peut seulement voir ses voisins directs (les fournisseurs, les clients), c’est le cas de la plupart des chaînes d’approvisionnement. Dans des situations de coordination plus avancées, un noeud pourrait avoir une certaine visibilité sur les autres niveaux.

Une portée de visibilité multi niveau est une exigence pour une coordination optimale des différentes activités dans une EV. Par exemple, dans la formulation d'une demande, en plus des données historiques, il est important d'avoir d'avance, des informations sur la consommation, les niveaux des stocks ou même faire apparaître les prévisions à tous les niveaux de la chaîne d'approvisionnement.

Malgré les éventuels bénéfices, ce niveau de partage d'informations est difficile à mettre en œuvre. A moins qu'un niveau de confiance (trust) très élevé ne soit établi parmi les entreprises participantes, la tendance naturelle de chaque entreprise est de cacher autant que possible ses informations stratégiques.

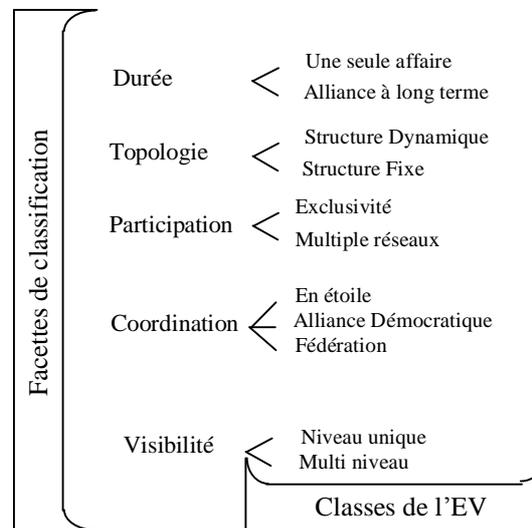


Figure 1.3 : Les classes d'entreprises virtuelles [Camarinha, 1998a]

7. Le Cycle de vie d'une Entreprise Virtuelle

Un modèle de cycle de vie décrit habituellement les phases clefs et les activités exigées pendant l'existant d'une entité [Ouzounis, 2001]. Selon l'ISO² [ISO, 1991-1994], un cycle de vie peut être défini comme :

« Les pas finis qu'un système peut passer durant son histoire de vie entière. Les différentes phases de cycle de vie définissent les types des activités pertinentes pendant le cycle de vie de l'entité »

Le scénario suivant est un bon exemple pour mieux appréhender et motiver le besoin de définir un modèle de cycle de vie pour l'EV.

² ISO : International Standardization Organization

Supposons qu'une grande entreprise, par exemple un constructeur, décide de lancer un appel d'offre pour construire un pont. En raison de plusieurs facteurs, par exemple la complexité de la description de travail, le développement et les améliorations continues de l'ingénierie et des technologies employées et la compétitivité de coût, ce constructeur décide d'impliquer d'autres entreprises (grandes et petites) et faire une offre commune concernant la réalisation de ce projet. Autrement dit, si c'est possible, ce constructeur voudrait créer une EV et peut en même temps tenir le rôle de coordinateur (l'entrepreneur principal) pour l'exécution du travail entier par l'EV. Pour cela, les étapes ci-dessous seront à suivre [Probst, 1996]:

- 1. Le constructeur entre en contact avec quelques grandes entreprises qui peuvent à leur tour entrer en contact avec d'autres entreprises plus petites;*
- 2. La description de travail est transférée du constructeur aux autres entreprises intéressées;*
- 3. Après des accords primaires, toutes les entreprises entrent en négociation pour créer l'EV;*
- 4. Une entreprise est identifiée pour formuler l'offre et cette même entreprise, ou une autre entreprise pourra être le coordinateur de l'EV durant le processus du travail;*
- 5. Une fois que l'offre est formulée et soumise, et si l'offre est sélectionnée, l'EV commence son opération. Dans le cas où l'offre n'est pas acceptée, l'EV se dissoudra ;*
- 6. L'EV fonctionne correctement si et seulement si, ses entreprises membres coopèrent entre eux, tout en supportant la coordination dans l'EV ;*
- 7. Dans le cas où une entreprise pose un problème, par exemple la non livraison de son travail à temps ou encore, la prédiction à l'avance d'un problème futur par le coordinateur, ou même si une entreprise décide de laisser l'EV, alors le coordinateur de l'EV cherchera une autre entreprise et la remplacera ;*
- 8. Une fois que le travail entier est achevé, l'EV est dissoute.*

7.1 Les différentes phases de cycle de vie d'une EV

Dans le contexte de cette étude, le modèle de cycle de vie d'une EV comporte les phases clés qui doivent être suivies pour l'établissement et la gestion d'une EV. Chaque phase comporte un nombre de pas plus spécifiques qui décrivent les opérations principales qui

doivent être faites. Le cycle de vie d'une entreprise virtuelle est composé principalement des phases suivantes : *la création, l'opération/évolution et la dissolution* [Camarinha, 1999]. Certains chercheurs ajoutent une phase préliminaire, celle de l'identification d'opportunité du marché [Kanet, 1997 ; Fisher, 1996].

Les phases de cycle de vie de l'EV comportent toutes les d'activités de coordination dans l'EV.

La gestion des processus d'affaires distribués est une activité primordiale dans l' EV. Un DBP³ est un ensemble dynamique et temporaire de processus d'affaire (BP : Business Process) qui s'exécutent conjointement pour réaliser le produit fini de l'EV. Les différents BPs sont exécutés par plusieurs entreprises, ce qui nécessite la coordination pour éviter l'échec de l'EV [Rabelo, 1996].

Nous allons analyser les différentes activités dans chacune des phases du cycle de vie d'une EV, et les exigences de la coordination dans chaque phase.

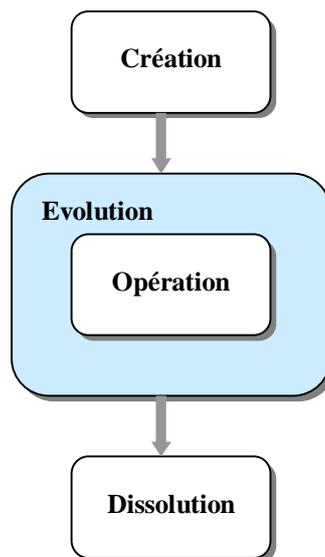


Figure 1.4 : Les phases de cycle de vie d'une entreprise virtuelle

7.1.1 Création

C'est la phase initiale qui permet de créer/configurer une EV. Une fois qu'une opportunité d'affaire est identifiée, il y a un besoin de planifier rapidement une EV convenable, identifier les partenaires et établir les conventions de coopération. La phase de création vise généralement de former un groupe d'entreprises pour accomplir un processus d'affaire

³ DBP : Distributed Business Process

(BP). Le BP doit être effectué par un ensemble d'entreprises, cela rend le BP un DBP. Chaque nœud pourrait être responsable d'un ou plusieurs BPs. L'exécution d'un DBP représente le but concret et essentiel de l'EV. Les principales activités exigées durant cette phase sont :

a) La recherche et la sélection des partenaires

Cette activité inclus :

- *L'élaboration et l'annonce du processus d'affaire distribué (DBP)* : consiste à l'édition de l'annonce des spécifications du DBP, c'est-à-dire, toutes les informations liées aux aspects techniques, à la qualité, au contrôle et à la production. Cette annonce va être diffusée dans le réseau.

- *La recherche des partenaires potentiels* : Rechercher les entreprises qui répondent aux exigences du DBP indiquées dans l'annonce.

- *Réception de propositions (offres) / sélection des partenaires* : Gérer la réception de propositions (offres) pour chaque DBP annoncé pour ensuite sélectionner les partenaires appropriés pour les DBP.

b) La négociation

Le processus de négociation peut être utilisé pour réaliser la sélection des partenaires. Il peut aussi être établi lorsque des conflits apparaissent pendant la phase d'opération [Rabelo, 1996].

c) L'établissement des accords légaux

Le concept d'EV ne remplace pas la nécessité de légaliser les accords atteints. De ce fait, le contrat associé au DBP doit être dûment signé et légalisé.

d) L'instanciation de l'EV

Une fois que le consortium logique d'entreprises est formé, l'EV doit être correctement instanciée. Une fois qu'une EV est formé, il sera nécessaire de configurer tous ses membres pour que l'EV puisse s'exécuter correctement.

7.1.2 Opération / Evolution

Durant cette phase, les entreprises membres exécutent leurs processus d'affaires, et par conséquence, réalise le but commun. Cette phase inclus les activités exécutées par l'EV durant son existence.

a) La gestion du DBP

Cette activité comprend l'exécution normale d'un DBP. Ce dernier doit être constamment vérifié pour garantir que le but de l'EV sera atteint. Cette vérification pourrait être faite selon les perspectives techniques (production et aspects de logistique), sociales (impacts humains) ou légales. En plus, la gestion du DBP comprend le contrôle, qui est une fonctionnalité de base et qui consiste à obtenir des informations sur le DBP et/ou les membres de l'EV [Rabelo, 1996].

b) La supervision

C'est une activité particulièrement consacrée pour faire face aux perturbations qui surgissent durant la gestion du DBP. Elle comprend :

- **La reconfiguration de l'EV** : Une EV devrait être reconfigurée une fois qu'elle subit des perturbations importantes de son environnement durant son opération. Dans certains cas, un besoin d'une re-planification au niveau de l'EV est requis.

- **L'inclusion de nouveaux membres** : Elle est liée à l'introduction d'une nouvelle entreprise dans l'EV (c'est-à-dire durant l'exécution d'un DBP) suite à l'échec d'un membre à honorer son engagement. Donc, son remplacement sera nécessaire. Une autre situation pour l'inclusion d'un nouveau membre est les modifications du DBP qui peut générer le besoin à d'autres compétences manquantes dans l'EV et ainsi, le recrutement d'une nouvelle entreprise est exigé.

- **La sortie d'un membre de l'EV** : La rupture de l'exécution du DBP causée par l'échec d'un membre de l'EV nécessite de faire sortir ce membre. En plus, certaines modifications du DBP rendent quelques compétences inutiles et par conséquent les entreprises qui les fournissent.

Plusieurs autres activités devraient être réalisées durant la phase opération de l'EV qui conduisent à la reconfiguration de l'EV. De telles activités sont conséquentes de :

- La modification des contrats dans le DBP ;
- La modification sur ordre de coordinateur de l'EV (nouvelles annonces, re-planification, etc.) ;
- La modification du DBP sur demande d'un membre.

- **Évaluation de conflit** : Un conflit surgit chaque fois que n'importe quel problème concerne le DBP a lieu et qui contredit le contrat actuel. Le processus décisionnel peut être

très complexe, selon la nature du DBP, le nombre et le type des partenaires et des processus technologiques impliqués, etc.

L'évolution exprime l'état d'une EV dans les cas où il y a un besoin d'ajouter et/ou de remplacer un partenaire, ou le changement des rôles de certains partenaires. Ce besoin pourrait être dû à des événements exceptionnels, comme l'incapacité (provisoire) d'un partenaire, le changement du but global, etc. Les fonctionnalités semblables à celles indiquées pour la phase création sont nécessaires d'être supportées ici, puisqu'il y aura recours à une reconfiguration de l'EV.

7.1.3 Dissolution

Cette phase débute quand l'EV finit l'exécution de son processus d'affaires, l'objectif ici est de démonter l'EV créée. L'EV peut être dissoute dans deux situations :

a) Dissolution normale

Une fois que l'exécution de DBP est finie, l'EV se termine. La dissolution de l'EV parvient quand chaque membre de l'EV exécute son BP(s) correctement (l'accomplissement avec succès de tous ses buts), selon les clauses du contrat.

b) Dissolution problématique

Cette dissolution intervient quand un DBP n'est pas achevé avec succès. C'est-à-dire, quand un conflit surgit et qu'il n'a pas été résolu. Dans cette situation, un ou plusieurs partenaires de l'EV décident d'arrêter l'opération à cause d'une défaillance irrécupérable ou bien à cause de certains de leurs engagements contradictoires avec le processus d'affaire en question.

7.2 Infrastructures et outils nécessaires pour le cycle de vie de l'EV

En termes d'infrastructure il y a besoin d'un ensemble d'outils pour soutenir les différentes phases de cycle de vie de l'EV.

La phase de création / configuration de l'EV a besoin d'outils pour la sélection de partenaires et pour le processus de décision durant la négociation. En plus, il faut gérer la dynamique engendrée par l'inclusion et la sortie des partenaires dans l'EV [Camarinha, 2002].

Dans la phase opération d'une EV. Après que l'EV est établie et commence sa phase opérationnelle. Les différents niveaux d'interactions entre ses membres doivent être prise

en charge. Les interactions principales incluent l'échange d'informations commerciales, les données techniques, et des informations générales (ex : les catalogues de produits/services). À ce niveau il est nécessaire de :

- garantir l'interopérabilité entre les différents standards (ex : EDIFACT et STEP) ;
- permettre des communications sécurisées ;
- l'authentification des interlocuteurs ;
- le traitement de exceptions, etc.

La dissolution d'une EV exige elle aussi certains outils pour assurer les aspects tels que :

- la définition des responsabilités générales sur la dissolution de l'EV ;
- la sauvegarde des contributions individuelles à un produit/service conjointement livré ;
- la redéfinition des droits d'accès aux informations après cessation de la coopération et évaluation des performances des partenaires ;
- la génération des informations à employer par les outils de sélection des partenaires pour une futur EV.

8. Rôles des participants dans l'EV

Durant le cycle de vie d'une EV, une entreprise membre peut prendre différents rôles. Autrement dit, plusieurs sortes d'acteurs peuvent être trouvées dans et autour de l'environnement de l'EV, agissant comme : coordinateur de l'EV, membre de l'EV, noeud annuaire du réseau et courtier (broker) [Camarinha, 1999] :

1. Coordinateur de l'EV

Le coordinateur est le composant régulateur des activités rattachées à l'EV. Le coordinateur peut être un noeud spécialisé pour la coordination et par conséquence, il présente un nœud supplémentaire au réseau de l'EV, ou bien le rôle du coordinateur peut être joué par un membre existant. En plus du rôle de la coordination dans l'EV, le coordinateur détient la responsabilité du but global, d'autres entreprises peuvent assumer le rôle de coordinateur des sous processus qui pourraient être décomposés et exécutés par un sous consortium d'entreprises.

2. Entreprise Membre

Les entreprises avec des compétences et/ou des capacités différentes participant à l'EV constituent les noeuds membres.

3. Noeud Annuaire du réseau

Un ou plusieurs noeuds dans le réseau d'entreprises peuvent agir comme des noeuds de renseignement. Ici, le réseau fait référence à un réseau WAN général comme Internet, auquel un grand nombre d'entreprises ont accès, ou à une communauté fermée d'entreprises qui établissent des plans de coopération à long terme (*cluster*). Divers EVs peuvent coexister dans ce réseau et il est clair, qu'un noeud dans le réseau peut appartenir à plusieurs EVs.

4. Courtier / Initiateur

C'est le rôle joué par exemple par une entreprise (non nécessairement le coordinateur de l'EV) qui lance la création d'une EV, planifier son processus d'affaire (but) et cherche les partenaires appropriés.

9. Concepts liés à l'entreprise virtuelle

La création d'une entreprise virtuelle est considérée comme une solution opportune aux problèmes posés aux entreprises soucieuses d'acquérir de la souplesse, la vivacité, la profondeur et la qualité nécessaires pour répondre efficacement aux exigences des prochaines décennies. Ces entreprises doivent explorer les trois dimensions de la virtualité : l'espace, le temps et la structure. La virtualité crée l'occasion de disperser des activités organisationnelles grâce à l'utilisation des NTICs. Il est ainsi nécessaire de mettre l'accent sur les différents concepts liés à l'entreprise virtuelle [SCMC, 1999].

9.1 Le télé-travail

La virtualité touche le travail des acteurs. C'est le cas d'un employé travaillant à distance avec son entreprise et les clients de celles-ci. Il réalise son activité de façon autonome, reçoit les instructions et envoie les résultats. Le télétravail est une modalité d'organisation et/ou d'exécution d'un travail exercé à titre habituel par une personne physique dans les conditions cumulatives suivantes : d'une part, ce travail s'effectue à distance, c'est-à-dire hors des abords immédiats de l'endroit où le résultat de ce travail est attendu et en dehors de toute possibilité physique pour le donneur d'ordre de surveiller l'exécution de la prestation par le '*télétravailleur*'. D'autre part, ce travail s'effectue au moyen des outils de télécommunications et implique nécessairement la transmission au moyen d'une ou de plusieurs techniques de télécommunications.

9.2 L'équipe virtuelle

L'équipe virtuelle est un groupe des gens qui agissent réciproquement par des tâches corrélées guidées par un but commun. Ces personnes (formant l'équipe) exercent leur travail à travers l'espace, le temps et les frontières organisationnelles avec des liaisons renforcées par des outils de communication [PAROT, 2003].

L'entreprise virtuelle est considérée comme une équipe de travail, ses membres étant les entreprises partenaires. Chaque partenaire doit travailler en équipe et doit en outre favoriser le travail d'équipe à l'intérieur de sa propre organisation.

9.3 Les produits virtuels

Les produits virtuels peuvent facilement satisfaire les exigences particulières des clients sans sacrifier totalement les avantages de la production en série. La valeur ajoutée à un produit correspond au service ou aux caractéristiques qui y sont intégrés sur demande. Les produits virtuels se caractérisent par un fort contenu en information et par une grande participation du client à leur création. Le fabricant doit être disposé à intégrer les idées du client dans la conception de son produit et être capable de le faire.

Les TIC sont un élément important de cette flexibilité. Elles seront utilisées pendant toute la durée de vie du produit pour recueillir des informations sur l'usage que le client en fait et aussi pour modifier les fonctions du produit à la lumière des besoins du client.

Le produit virtuel et l'entreprise virtuelle sont interdépendants. Seule une entreprise qui possède suffisamment de souplesse permet d'obtenir un produit virtuel, avec tous ces attributs : rentabilité, multiplicité des versions offertes, prix abordable, évolution constante, personnalisation instantanée et disponibilité sur demande [MEISSONNIER, 2000].

10. Exemples d'application de l'entreprise virtuelle

Un secteur typique pour l'application du paradigme d'EV est la fabrication industrielle. De nos jours, la plupart des processus industriels ne sont pas pris en charge par une simple entreprise. Les entreprises aperçoivent le besoin de se concentrer sur leurs compétences fondamentales (leurs métiers) et de joindre leurs efforts avec d'autres, pour accomplir les recommandations des nouveaux produits et des services associés exigés par le marché et pour respecter les normes et standards de qualité qui réglementent leurs environnements.

Dans une EV, chaque entreprise représente un nœud qui ajoute quelque valeur au processus. Bien que la plupart des exemples classiques de coopération entre organisations connectées en réseau sont orientés vers quelques domaines d'affaires particuliers tels que l'industrie automobile, cette tendance s'est étendu à beaucoup d'autres secteurs incluant l'industrie alimentaire et agricole, le génie civil, la construction navale, l'électronique et autres [Camarinha, 2001].

Similaire aux industries manufacturières, le besoin de rester compétitive au marché mène aussi les sociétés fournisseurs de services à chercher un statut de plus en plus mondial. Par exemple, le cas d'industrie de tourisme, où les sociétés sont concentrées sur leurs compétences (spécialités) fondamentales et avec le besoin d'accomplir et de saisir des opportunités d'affaires très importantes, elles devraient chercher des alliances (puisque ses compétences sont insuffisantes) avec d'autres sociétés possédant les complémentaires/les ressources nécessaires leurs manquants. La coopération entre les acteurs dans l'industrie de tourisme n'est pas un nouveau phénomène. Les agences de voyages offrent des services comportant des composants fournis par plusieurs organisations différentes. Par exemple, pour fournir « un voyage de séjours complet planifié » qui est un service incluant plusieurs moyens de voyage, plusieurs réservations d'hôtel, locations de voitures, des réservations de tour de loisir, etc., une coopération en réseau doit exister entre plusieurs organisations différentes pour assurer ce service.

L'assurance et les secteurs de consultation sont d'autres exemples pour lesquels des EVs ont été développées.

Les réseaux permettant la coopération peuvent être étendus à d'autres organisations autres que les entreprises. Par exemple, une organisation virtuelle peut impliquer les corps administratifs d'une municipalité comme l'hôtel de ville, les services des impôts, les services de distribution d'eau, les services du cadastre, etc., fournissant à leurs clients une nouvelle organisation plus souple.

Un autre exemple pourrait être une université virtuelle où les différents établissements éducatifs réunissent leurs efforts pour offrir via Internet, des cours communs comprenant l'expertise de tous les établissements. Des organisations semblables peuvent être prévues dans les services médicaux et les secteurs de soin.

11. Conclusion

Ce chapitre a permis d'effectuer une analyse des différents concepts de l'entreprise virtuelle. Plusieurs termes et définitions ont été présentés et étudiés. Nous avons discuté certaines définitions clés pour donner ensuite une définition synthèse qui exprime les différents aspects de l'EV.

Une présentation des différentes catégories et des principales caractéristiques de l'EV a été donnée. En outre, le modèle de cycle de vie défini est constitué des phases de création, d'opération et de dissolution. Il spécifie les principales activités exigées pour assurer le fonctionnement de l'EV et ainsi, l'exécution des processus d'affaires pour lesquels cette EV a été établie.

Dans le chapitre suivant, nous allons présenter les différents projets de recherche et du développement dans le contexte de l'EV, ainsi que les différentes technologies et standards déployés au sein des EVs.

DÉVELOPPEMENT DE L'ENTREPRISE VIRTUELLE

1. Introduction

Dans le cadre d'EV, la notion d'entreprise s'étend pour englober les liens avec les partenaires extérieurs : fournisseurs, sous-traitants, firmes partenaires, distributeurs, etc. L'entreprise virtuelle est totalement ouverte sur l'extérieur et décloisonnée. Les membres dans cette entreprise, individus ou organismes, doivent partager des données et communiquer comme s'ils étaient bien intégrés dans une seule entreprise. Le développement de l'informatique et des télécommunications facilite la réalisation des entreprises virtuelles dans lesquelles, les systèmes de production s'interagissent via des réseaux.

La gestion de l'échange est très importante dans l'environnement EV, chaque partenaire de l'entreprise doit avoir accès à l'information voulue en temps utile. Cette information doit être unique pour tous les acteurs de l'échange. Cela signifie concrètement qu'une infrastructure de communication doit être mise en place, et que les accès aux données doivent être contrôlés et suivis, les évolutions gérées et diffusées [Meissonnier, 2000]. Durant l'établissement de l'infrastructure, l'intégration des données, des communications de l'organisation et des processus d'affaires est un point très important à traiter.

Dans ce chapitre, nous allons présenter quelques projets et travaux de recherche réalisés ou en cours de développement en relation avec notre cadre d'étude. Une classification est faite selon l'intérêt et les concepts traités dans chaque projet. Ensuite nous avons conclu cette présentation par une synthèse dans laquelle, on a mis l'accent sur les points les plus pertinents qui réunissent et différencient les différents projets.

Dans la suite, nous avons discuté les différentes technologies, standards et paradigmes de développement et leurs déploiements dans le contexte d'EV.

2. Projets et travaux de recherche sur l'entreprise virtuelle

Les Entreprises virtuelles présentent un nouveau secteur de recherche et de déploiement des nouvelles technologies et paradigmes dont un nombre croissant de projets et d'activités de recherche et du développement se sont intéressés [Zarli, 1999 ; Ouzounis, 2001].

Avons de citer les différents projets de recherche concernant le développement de l'entreprise virtuelle. Nous avons commencé par recenser les projets les plus significatifs, ensuite classer ces projets selon trois centres d'intérêt apparents, à savoir :

1. Le développement d'un modèle ou infrastructure de référence pour l'EV ;
2. L'exécution du processus d'affaire (distribué) dans une EV en déployant les systèmes de gestion du Workflow ;
3. Le déploiement du paradigme de l'agent dans le contexte de l'EV, ou bien l'étude/développement d'un aspect spécifique dans l'EV (ex. la coordination, la sélection des partenaires, etc.)

2.1 Projets de recherche développant l'infrastructure

Un nombre de plus en plus élevé de projets d'EV adresse une attention particulière aux aspects divers de l'infrastructure des entreprises virtuelles. Nous pouvons citer ici quelques uns les plus représentatifs : NIIP, PRODNET II, VIRTEC, Co-OPERATE, VEGA, et autres :

NIIP (National Industrial Information Infrastructure Protocols) [NIIP, 1996] est peut-être le projet le plus important et le plus significatif dans le domaine de recherche sur les entreprises virtuelles et les chaînes d'approvisionnements industriels. Le but de ce projet est de résoudre le problème d'incompatibilité à l'intérieur des entreprises virtuelles et permettre aux organisations de collaborer les uns avec les autres indépendamment des structures de données, des processus ou des environnements informatiques. Une architecture de référence basée sur les services est proposée, cette architecture utilise les standards OMG, STEP et le Workflow comme cadre de gestion de processus d'affaire et d'échange des données. NIIP applique ces technologies dans des secteurs spécifiques de l'industrie (ex : le consortium de construction navale des États-unis, le ministère de la défense nationale et de la marine) qui sont moins pertinents pour tout genre de PME.

PRODNET II [Camarinha, 1999] est un consortium conçu et réalisé dans le but de proposer une infrastructure ouverte support aux entreprises virtuelles industrielles pour les PME. Une couche de coopération est attachée aux modules internes de chaque entreprise pour prendre en charge tous les événements de coopération de l'entreprise. L'architecture PRODNET II inclut : Un système fédéré/distribué de gestion de l'information, un système distribué de gestion de processus commercial, une infrastructure de communication sécurisée, un mécanisme pour la configuration de visibilité de données, l'échange de données de production en utilisant les standards EDIFACT et STEP et une extension du Système de Planification de Production.

PRODNET est considéré comme un projet fini avec un grand succès, qui inclut toutes les activités de l'EV dans le secteur de production industrielle. De ce fait, nous allons présenter ce projet comme un exemple typique dans la section 6.

Le projet Brésilien **VIRTEC** [VIRTEC, 2002] propose un framework globale d'entreprise virtuelle (GVE : Global Virtual Enterprise). Ce framework comprend trois composants : un broker de l'entreprise virtuelle, un cluster virtuel d'industrie et l'entreprise virtuelle. Le broker fournit des services pour la recherche des opportunités d'affaires, cherche des partenaires dans le cluster, configure l'infrastructure et coordonne l'opération de l'EV. Le cluster d'industrie est une agrégation d'entreprises possédant des compétences concentrées sur des diverses branches de l'industrie. Le projet de VIRTEC combine neuf PME différentes au Brésil en une seule organisation virtuelle.

Co-OPERATE est un projet européen de l'IST [IST, 2001] soutenu par la commission européenne qui a comme but, le développement des solutions pour élargir le réseau de fournisseurs, la fourniture de méthodologies pour la planification coopérative et pour l'organisation et le support du réseau (principalement les phases : création et opération d'une EV). Ce projet a été testé pour le pilotage des sociétés dans les secteurs de l'industrie automobile et de semi-conducteur. Une infrastructure générique d'intégration d'interface a été conçue au sommet des systèmes de transaction existants. Le langage XML est choisi pour l'échange de données entre les systèmes d'information hétérogènes.

Le projet **VEGA** [VEGA, 1998] développe une plate-forme d'intégration basée sur CORBA des outils de Groupware et une architecture distribuée pour supporter les opérations d'affaire techniques dans les entreprises virtuelles. Les outils de Groupware et l'architecture distribuée sont développés en conformité avec le standard STEP

(standardisation de données de la production) et les tendances actuelles adoptées par les prochaines spécifications de Groupware industrielles internationales, tel que l'OMG [OMG, 1998]. VEGA adopte une approche basée Workflow pour la gestion de processus suivant le modèle de référence de la WfMC [WfMC, 1999].

Les projet **VIVE** [VIVE, 1999] (Virtual Vertical Enterprises : entreprises virtuelles verticales) vise le développement d'une méthodologie générale qui permet aux PME d'exploiter les opportunités à haute compétitivité offertes par les technologies coopératives. Les concepts du projet VIVE et sa mise en oeuvre sont basés sur le développement des méthodes robustes pour sélectionner et adapter les solutions apportées par les TIC pour permettre l'exécution de ce genre d'affaires distribuées et la création d'une nouvelle entité «Business Integrator». Cette nouvelle entité est capable d'identifier des opportunités du marché, spécifier le processus d'affaires correspondant, et intègre l'infrastructure de communication et d'information de l'entreprise. Le projet VIVE permet l'établissement des EVs statiques où l'intégration de processus d'affaire partagés est prédéterminée et fixée, tandis que l'exécution et la gestion de processus d'affaire partagés sont accomplies d'une façon centralisée. Le concept VIVE ne fournit aucun moyen pour la sélection des partenaires ou pour la négociation dynamique, ni pour l'exécution du processus d'affaire. L'intégrateur d'affaire (Business integrator) est un nœud centralisé qui prend la responsabilité de coordonner et de gérer les relations, c'est à dire, les processus d'affaire partagés entre les différents partenaires. Le mécanisme de coordination est basé sur l'intégration d'objets distribués (l'intégrateur d'affaires joue le rôle de courtier d'information).

2.2 Projets de recherche traitant l'exécution du processus d'affaire

Ici, nous allons présenter quelques projets traitant les points suivants :

- L'intégration de système de Workflow pour la gestion du processus d'affaire (distribué) dans l'EV ;
- L'exécution du processus d'affaire (distribué) dans l'EV.

Le projet **VENTO** [VENTO, 1998] (A Virtual Enterprise Organiser) vise le développement d'outils de Groupware avancé pour supporter la synergie parmi les entreprises dans un marché global émergeant. L'idée est d'adapter et d'intégrer les outils de Groupware dans un système d'inter-domaine intégré qui opérera dans un environnement distribué et fournira des facilités aux groupes de travail (Workgroup) et permettra la

gestion du Workflow. VENTO est constitué principalement d'un moteur Workgroup qui offre la gestion des documents, ressources d'historique et des fonctionnalités d'email et d'un système de gestion du Workflow. VENTO contient un moteur d'intégration qui établit une communication orientée objet entre les Workgroups et le Workflow et offre des ressources multilingues. La plate-forme VENTO est basée sur des interactions de communication de client-serveur conventionnel. Les processus d'affaires sont spécifiés dans un langage de définition du processus d'affaires en rapport avec le système de gestion du Workflow, tandis que leur exécution est réalisée intérieurement dans chaque domaine d'affaire d'une manière centralisé. Le système de gestion du Workflow ne supporte pas l'exécution et la gestion des processus d'affaire partagés réellement mais, il coordonne l'exécution des services du Groupware et du partage de documents. La coordination et la gestion de processus du Groupware partagés sont exécutées par l'échange de messages de propriétaire, basé sur le protocole TCI/IP. Le projet VENTO ne prend pas en considération la sélection dynamique des partenaires mais au contraire, les partenaires participant dans une EV constituent un groupe fermé de partenaires co-opérants.

Le projet **TEAM** [TEAM, 1997] (Technologies Enabling Agile Manufacturing) fournit les technologies utiles pour la réalisation du concept d'industrie agile. Le but principal du projet est de concevoir, de développer et de tester les processus d'affaires industriels définis globalement. Les processus d'affaire industriels partagés sont exécutés et gérés par des systèmes de gestion du Workflow qui coordonnent leur exécution à travers l'échange d'événements, c'est à dire, la gestion des processus d'affaire partagés est dirigée par l'événement. Les entreprises individuelles qui participent aux entreprises virtuelles possèdent des interfaces statiques et précises, tandis que l'intégration entre les processus locaux et distants est effectuée manuellement et d'une façon statique. Ce projet tente de fournir un système de gestion du Workflow dirigé-événement pour l'exécution et la gestion des processus d'affaire partagés statiques et prédéterminés. Dans ce projet, il n'y a pas de déploiement des concepts de sélection dynamique des partenaires et d'automatisation de la négociation.

Le projet **WISE** [WISE, 1999] (Workflow based Internet Services) destiné pour traiter le Workflow basé sur les services d'Internet. Son principal objectif est de concevoir, de construire et de tester une infrastructure viable pour un Workflow distribué basé sur des applications Internet. Une telle infrastructure inclura un moteur de Workflow, agissant

comme un sous-système d'exploitation distribué qui contrôle l'exécution des applications distribuées, un ensemble de courtiers (brokers) qui permettent l'interaction avec les systèmes déjà existants qui seront utilisés comme des blocs de construction et des outils de programmation qui permettent aux utilisateurs finaux de configurer et de développer des applications distribuées. Le projet vise à résoudre les limitations des systèmes de Workflow courants et à étendre leur applicabilité à l'Internet en fournissant une plateforme basée sur les brokers pour l'interaction avec les applications hétérogènes, autonomes. Ces solutions seront intégrées dans un moteur d'exécution robuste, fiable et évolutif capable de contrôler l'exécution des applications distribuées sur Internet d'une façon distribuée. Le projet WISE adopte une approche centralisée où le moteur du Workflow basé-Internet joue le rôle du coordinateur et manager des processus d'affaires partagés. Les détails concernant les mécanismes de la coordination pour l'exécution inter-organisationnelle des processus ne sont pas fournis. En général, ce projet traite les systèmes de gestion du workflow inter-organisationnels mais n'adresse pas l'étude aux aspects dynamiques tels que les places du marché virtuels, la sélection dynamique des partenaires et la négociation entre ces derniers.

Le projet **MOBILE** [MOBILE, 1998] apporte une approche générale et d'application indépendante pour la gestion du Workflow et couvre les aspects depuis la modélisation du processus d'affaire (BP) jusqu'au prototype d'implantation de haute performance d'un système de gestion du Workflow fiable et distribué. Ce projet est basé sur le modèle du Workflow mobile. La principale caractéristique de ce modèle est la considération du Workflow comme étant une collection de perspectives indépendantes et en conséquent, MOBILE est un modèle du Workflow orienté perspective. Le projet en total peut être divisé en plusieurs sujets, à savoir l'intégration de la modélisation du processus d'affaire et la gestion du Workflow, le modèle et le langage pour le Workflow mobile, les Workflows ad hoc et les dialogues, l'intégration des applications basées sur les services transactionnels et non-transactionnels tel que CORBA, l'appelle des procédures à distance (RPC) et le développement d'architecture évolutive fiable et des systèmes distribués pour des prototype WfMS mobiles. Ce projet est classé parmi les systèmes de gestion du Workflow à grande échelle pour les buts intra-organisationnels, marqué par le déploiement des services middleware et les standards émergeant pour les systèmes de gestion du workflow tel que OMG's-JointFlow [OMG, 1998]. Malgré que l'approche du projet vers l'intégration de processus d'affaire avec les systèmes de gestion du Workflow soit

intéressante, le projet tel qu'il est ne traite pas la gestion du Workflow inter-organisationnel.

2.3 Projets et travaux de recherche basés sur les agents

Dans cette section, nous allons présenter les travaux et les projets déployant le concept d'agent dans le contexte de l'EV. En plus, nous discutons les travaux et les études traitant uniquement un ou certains aspects de l'EV (ex : la coordination, la sélection des partenaires).

Le projet **MASSIVE** [Rabelo, 2001] s'adresse aux approches multi-agent pour la planification agile (agile scheduling) dans une entreprise virtuelle. La coordination de processus de planification et de contrôle d'ordre de production est implémentée à travers l'intégration de la stratégie "PULL" du système distribué de gestion de l'information. Deux niveaux de planification sont distingués : Intra-organisationnel et Inter-organisationnel. Les tâches de planification de deux niveaux sont accomplies par quatre types d'agent nommés : Agent de Consortium (C), Agents de l'Activité d'Entreprise (EAA), Superviseur de Planification (SS : Scheduling Supervisor) et le Centre de Distribution Local (LDC). MASSIVE utilise le Protocole « Contract-Net » pour assurer l'allocation des tâches aux agents appropriés, durant la phase de création de l'EV.

Le projet **MIAMI** [Broos, 2000] (pour Mobile Intelligent Agents for Managing the Information Infrastructure) est l'un des premiers projets mondiaux incorporant les agents mobiles intelligents dans l'environnement d'entreprise virtuelle. L'objectif majeur de MIAMI est de développer un framework complet pour l'établissement et la gestion des entreprises virtuelles basées sur les agents intelligents mobiles. Il utilise une plate-forme unifiée OMG-MASIF [OMG, 1998] et FIPA [FIPA, 1999]. MIAMI a introduit le concept de places du marché virtuel pour la sélection et la négociation entre les partenaires dans une EV, il permet ainsi l'établissement des EVs dynamiques. Le langage de définition du processus d'affaire est spécifié à l'aide du langage XML, tandis que l'exécution des processus d'affaire partagés est faite par un système de gestion du Workflow basé-agent. Les agents spécialisés du Workflow, localisés dans les domaines d'affaire différents, travaillent en coopération et d'une manière distribuée pour exécuter et contrôler des instances du processus d'affaire partagé de l'EV et utilisent une place du marché virtuel pour la sélection des partenaires.

Un autre projet déployant les agents mobiles est celui d'Ouzounis. Dans sa thèse, *Ouzounis* [Ouzounis, 2001] vise comme principal objectif : analyser, concevoir, développer, évaluer et valider une plate-forme pour la gestion des entreprises virtuelles dynamiques qui seront basées sur les concepts d'agents intelligents mobiles selon les spécifications FIPA, l'apparition des concepts de gestion de Workflow basés sur les agents pour l'exécution de processus d'affaire inter-organisationnel et la gestion des marchés virtuels avec l'accent sur l'intégration des objets OMG et l'automatisation de la négociation pour la sélection dynamique des partenaires.

Dans ce travail l'auteur a essayé de développer et de valider les entités suivantes :

- un marché virtuel basé sur les agents mobiles FIPA et l'intégration des standards OMG ;
- une ontologie basée-XML pour le marché virtuel pour l'enregistrement de processus d'affaire, la gestion des offres et la sélection dynamique des partenaires dans le marché virtuel ;
- une ontologie et un protocole de négociation pour la sélection dynamique des partenaires basé sur le protocole FIPA-Contrat Net ;
- un langage de définition de processus d'affaire basé-XML pour la spécification des processus d'affaires dans le contexte d'entreprises virtuelles dynamiques et un entrepôt de stockage des processus d'affaire ;
- un système de gestion de workflow distribué, basé sur l'agent FIPA pour l'exécution et la gestion des processus d'affaires partagés entre des organisations différentes ;
- une ontologie intra et inter-domaines basée-XML pour l'exécution et la gestion des processus d'affaires inter-organisationnels ;
- intégration du système de gestion de workflow basé-agent avec les technologies standard d'intégration de WEB.

D'autres travaux de recherche manipulent un ou plusieurs aspects de l'EV (ex : la coordination, la recherche et la sélection des partenaires), nous pouvons citer ici quelques uns :

Fisher [Fisher, 1996] propose de modéliser l'EV comme étant un système multi-agent (SMA) distribué, où chaque entreprise est représentée par un agent autonome et dispersé géographiquement.

Dans [Rocha, 1999] un framework pour le développement d'entreprises virtuelles est proposé, mais destiné au secteur de l'industrie.

Oprea [Oprea, 2003] a traité la coordination dans une entreprise virtuelle modélisée en tant que SMA.

Petersen [Petersen, 2003] emploie les agents pour la modélisation de l'EV et donne une attention particulière à la sélection des partenaires pour l'EV. De son côté *Florea* [Florea, 1998] présente un modèle SMA pour prendre en charge l'exécution et la gestion des processus d'affaires dans les entreprises virtuelles.

2.4 Synthèse des projets et des travaux de recherche présentés

La liste des projets et des travaux de recherche suscitée n'est pas exhaustive, mais elle compte seulement ceux qu'on trouve fréquemment dans la littérature de ce domaine. Néanmoins, plusieurs conclusions peuvent être tirées [Ouzounis, 2001] :

- La plupart des ces projets possèdent une conception et une vue et même des définitions et interprétation différentes du terme 'entreprise virtuelle'. Une définition claire et distincte du concept d'EV comparativement aux autres concepts tels que la chaîne d'approvisionnement, l'organisation virtuelle et le concept de entreprise étendue, manque toujours ;
- La plupart des projets tentent d'analyser, de concevoir et de développer des solutions pour des EVs statiques, c'est-à-dire, pour un nombre prédéterminé de partenaires avec des interfaces de processus d'affaire fixées parmi eux et des mécanismes de coordination statiques ;
- La plupart des projets ont ciblé le secteur industriel comme secteur d'affaires, dans lequel, la coordination et la gestion des processus sont fortement couplées, tandis que la personnalisation et l'intégration des processus d'affaires partagés sont statiques, manuelles et prédéterminés. Donc, les relations d'affaires entre les partenaires sont plutôt à moyen et à long terme et par conséquent, le modèle d'EV statique est plus approprié ;
- Il y a une préférence dans la plupart des projets d'employer le standard EDI comme une solution pour l'exécution de processus d'affaire inter-organisationnel. Malgré que l'EDI est limité seulement aux processus d'affaire simple dans le secteur du commerce électronique, en plus de certains inconvénients qui marque ce standard. Donc, Un

mécanisme plus générique, flexible et adaptatif pour l'exécution du processus d'affaires inter-organisationnelle devrait être préconisé ;

- Il y a une tendance dans plusieurs projets de déployer les systèmes de gestion de Workflow pour l'exécution et la gestion de processus d'affaire inter-organisationnel ;
- Finalement, le nouveau concept le plus émergent pour la gestion des EVs est l'approche d'agent intelligent. Les agents présentent plusieurs caractéristiques très importantes, comme l'autonomie, l'adaptabilité, la distribution, l'intelligence et la mobilité (pour les agents mobiles). Ainsi, ils conviennent le mieux pour résoudre certains problèmes dans ce secteur, particulièrement, l'exécution et la gestion de processus d'affaires par les agents autonomes qui coopèrent entre eux. Cette approche est très intéressante et prometteuse puisqu'il intègre les bénéfices du paradigme agent et des solutions apportées par les systèmes multi-agents (la coordination, la négociation, etc.) pour le développement des EVs. Ce secteur de recherche est considéré comme très nouveau et beaucoup de points restent ouvertes à l'étude et au développement.

Plusieurs technologies de communication et techniques avancées de gestion de l'information ont été employées dans ces projets (CORBA, DCOM, STEP, EDI etc.) pour assurer l'échange et le partage des informations, et permet un haut niveau de coopération dans l'environnement d'une entreprise virtuelle.

3. Infrastructure support à l'Entreprise Virtuelle

La capacité des entreprises d'inter-opérer et d'échanger des informations en temps réel et de travailler comme une entité unique tout en préservant l'indépendance et l'autonomie est un pré-requis pour l'infrastructure support aux EVs.

Les systèmes anciens (legacy systems) n'ont pas été conçus initialement pour être directement connectés à d'autres systèmes correspondants dans d'autres entreprises. Typiquement, les entreprises préexistent avant qu'ils ne décident de partager et d'échanger des informations et par conséquent, chaque entreprise est autonome et développe indépendamment des autres entreprises des stratégies de gestion et de contrôle d'informations distinctes. De ce fait, les entreprises se sont retrouvées dans une situation d'une grande hétérogénéité, qui nécessite l'adaptation des systèmes de planification et de contrôle de production à la nouvelle forme de travail en réseau [Ouzounis, 2001].

Une infrastructure de système d'information comme support à l'entreprise virtuelle devrait être établie. Cette infrastructure devra refléter l'effort d'intégration des technologies de l'information et de la communication. Elle permet de connecter tous les membres d'une entreprise inter-organisationnelle, afin d'enrichir la collaboration entre ses membres [PARK, 1997].

Cette infrastructure est une sorte de système d'information (SI) logique qui supporte la communication, l'échange et le partage des données et des informations entre les organisations partenaires. Le WEB peut devenir une extension du SI pour des entreprises inter-organisationnelles. Il est donc possible de communiquer directement avec leurs clients, fournisseurs et sous-traitants en méthode systémique.

4. Technologies et standards déployés dans l'EV

La mise en oeuvre d'une infrastructure support aux systèmes coopératifs dans les EVs est dépendante d'un grand nombre de composantes technologiques, de paradigmes et de standards. Il est clair qu'il sera plus habile d'intégrer des paradigmes et des technologies développées dans différentes disciplines (proches de ce contexte), que de dépenser des efforts atroces pour définir des paradigmes totalement nouveaux. La figure 2.1 illustre certaines composantes de base. Un travail de synthèse sur ces composantes peut donner une brèche sur les besoins et les exigences d'un environnement efficace support à l'établissement des EVs.

L'émergence et les performances en hausse des NTIC ont permis de nouveaux modèles organisationnels de coordination et de coopération.

De plus, pour réaliser une plate-forme support efficace, le processus de synthèse doit inclure les étapes suivantes [Camarinha, 1998a] :

- L'interopérabilité et l'intégration des standards, tel que STEP pour les données techniques sur le produit, l'EDI pour les transactions liées aux affaires, les protocoles TCP/IP, KQML, etc.
- La provision de systèmes de gestion de Workflow (WFMS) pour modéliser et gérer les activités simultanées (concourantes).

- Des mécanismes pour la sécurité et l'authentification, semblables à ceux développés dans le secteur de commerce électronique, à savoir, la cryptographie basée sur des clés symétriques et publiques, la signature numérique, la définition des droits d'accès, etc.

Il est aussi important de considérer l'intégration de systèmes anciens (Legacy systems) tel que les systèmes de CAO, les entrepôts de données (*Data-Warehouse*) et d'autres outils qui sont toujours en utilisation dans les sociétés. Bien que ces systèmes soient tout à fait hétérogènes, ils doivent être préservés dans l'entreprise.

En termes d'infrastructures de communication, les principaux aspects à prendre en considération, sont l'adoption d'Internet et faire face aux défis provoqués par les communications mobiles (agents mobiles dans des environnements coopératifs) [Camarinha, 2001].

En termes d'intégration des informations de coopération et les infrastructures de partage d'informations, on trouve les composants suivants: les systèmes de gestion de bases de données fédérées (SGBDF), CORBA, l'intégration de bases de données et les systèmes de gestion du workflow, etc.

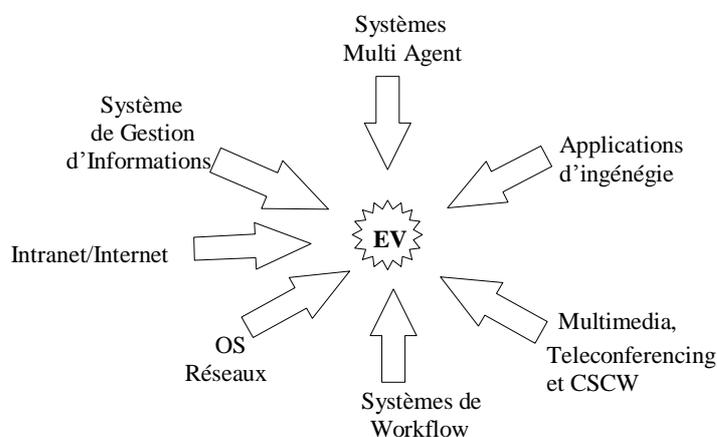


Figure 2.1: Les Composantes Technologiques contribuant à un environnement d'EV (d'après [Camarinha, 2001])

En conclusion, Nous pouvons distinguer quatre types de technologies les plus utiles pour une infrastructure support aux entreprises virtuelles [PAROT, 2003]:

a) Les technologies de communication et de l'information (TIC)

Ce sont les technologies qui concernent la communication par ordinateur, et les technologies de l'information qui regroupent les applications informatiques classiques des

systèmes d'information des entreprises et les systèmes à base de connaissances tel que l'Internet, l'Intranet et la gestion des connaissances.

b) Les technologies de production

Ce sont les technologies qui incorporent l'informatique dans le processus de production. Parmi ces technologies, on peut citer quelques exemples :

Data Warehouse (Datamining) : Le Data Warehouse (entrepôt de données) est une application orientée métiers regroupant les données issues de diverses applications de production, il s'agit d'une application transversale où les données sont historisées.

Progiciel de Gestion Intégrée (ERP) : L'ERP (Enterprise Resource Planning) est un logiciel intégré dont les divers modules permettent de traiter des fonctions (finance, production et ventes) de l'entreprise.

c) Les technologies de coordination

Ces systèmes sont basés sur le traitement automatique des messages et des documents d'un groupe (Groupware, workflow). Ces technologies seront présentées en détail dans la section suivante.

4.1 Système d'aide au travail coopératif (CSCW)

Le CSCW¹ (Travail Coopératif Assisté Par Ordinateur) : fournit des techniques et des dispositifs interactifs pour faciliter le travail coopératif entre individus au sein d'un groupe. Ceci permettra d'étendre l'analyse à un contexte interentreprises [Boughzala, 2001].

Le CSCW présente une nouvelle discipline pour l'étude des mécanismes individuels et collectifs du travail en groupe et pour la chercher en quoi les technologies de l'information et de la communication peuvent faciliter le travail.

4.1.1 Le Groupware

Le Groupware ou 'logiciel de travail en groupe' est une collection d'application (collecticiel) permettant de faciliter la communication, la coordination et la collaboration entre les membres d'un groupe de travail, c'est-à-dire, faciliter la coopération et rendre efficace le travail en groupe.

Dans sa définition la plus large, le Groupware désigne tout système qui aide le travail coopératif. Le Groupware est une technologie qui recouvre des domaines aussi vastes que

¹ CSCW pour : Computer Supported Cooperative Work

la coopération, l'interaction homme-machine et l'interaction interpersonnelle via des techniques numériques [MORAND, 2001].

Généralement, un Groupware est doté des fonctionnalités suivantes [Boughzala, 2001]:

- La messagerie électronique,
- La gestion du temps,
- La gestion des tâches,
- Les formulaires électroniques,
- Les routines Workflow,
- L'accès aux bases de données existantes,
- La gestion des documents composites et les services d'administration de fichiers.

4.2 Le Workflow

La WfMC [WfMC, 1999] définit le Workflow comme étant :

« l'automatisation de tout ou partie d'un processus d'entreprise au cours duquel l'information circule d'une activité à l'autre, c'est-à-dire d'un participant (ou d'un groupe de participants) à l'autre, pour action en fonction d'un ensemble de règles de gestion » [Boughzala, 2001]

Alors, le Workflow est un moyen de coordination des activités, de gestion et d'automatisation des processus des entreprises. Il sert ainsi, à améliorer la productivité de l'entreprise.

La définition du Workflow, qu'elle soit pratique ou théorique, fait appel à quelques termes de base dont il faut rappeler la signification [Saadoun, 2002] :

a) Processus : c'est l'ensemble d'activités ayant une même finalité. Un processus est une série d'étapes (d'activités) destinées à délivrer un produit matériel ou immatériel (un service). Un processus peut être considéré comme une chaîne de valeurs, les valeurs étant générées à chacune des étapes du processus.

b) Activité : c'est l'ensemble des tâches élémentaires, procédures, relations client/fournisseur, création de valeur ajoutée. L'activité est l'objet élémentaire de la gestion qui permet de maîtriser le management d'un processus. Une activité implique le déroulement d'un ensemble d'actions (ou opérations) visant à remplir une finalité globale. Une activité est un enchaînement de tâches élémentaires, déclenchées en amont par une demande et aboutissant en aval à un résultat attendu. L'activité est le niveau de

décomposition d'un processus qui permet de formaliser une procédure, c'est-à-dire une description structurée de la suite des opérations réalisées pour accomplir l'activité.

c) Tâche : elle peut être élémentaire, manuelle ou automatisée. La tâche (ou opération) correspond à un niveau de décomposition de l'activité. Comme il est mentionné auparavant, une activité est un enchaînement de tâches élémentaires plus ou moins standardisées. Par exemple l'enregistrement d'une fiche client n'est pas une activité mais une tâche. D'une façon générale, les tâches élémentaires ont les caractéristiques suivantes :

- Les tâches sont réalisées par une personne ou un groupe de personnes.
- Les tâches font appel à des compétences et des savoir-faire spécifiques.
- Les tâches sont homogènes au niveau de leurs comportements et coût.
- Les tâches permettent de fournir un output à un client interne ou externe à partir d'un ensemble d'inputs.

d) Groupe : Les groupes sont classifiés selon leur mission : des groupes à durée indéterminée et des groupes à durée déterminée.

Les logiciels de Workflow sont issus d'origines multiples. Certains produits ont été conçus dès l'origine comme de purs logiciels de Workflow, d'autres sont des dérivés de logiciels de gestion d'images, de gestion de documents, de systèmes de gestion de bases de données ou même de logiciels de messagerie. Chaque approche a ses caractéristiques et ses avantages propres qui peuvent correspondre à des besoins précis dans les entreprises. Le respect des standards de la WfMC permettra de combiner les avantages de différents produits au sein d'une infrastructure technique cohérente.

e) Le modèle de référence du Workflow

La coalition a proposé un cadre de référence pour les standards Workflow. Ce cadre couvre cinq catégories de standards relatifs à l'interopérabilité et la connectivité des outils, autorisant la cohabitation de plusieurs solutions dans un environnement donné.

Le modèle de référence de la coalition définit ainsi un cadre de référence pour la définition et l'implémentation des standards d'interface et d'échange de donnée. Ce modèle de référence comporte des composantes génériques en interaction [MORAND, 2001]. Le système Workflow est constitué d'un regroupement de plusieurs technologies, les cinq composantes défini par la coalition font elles-mêmes l'objet de standards ainsi que les interfaces entre ces composants (figure 2.2).

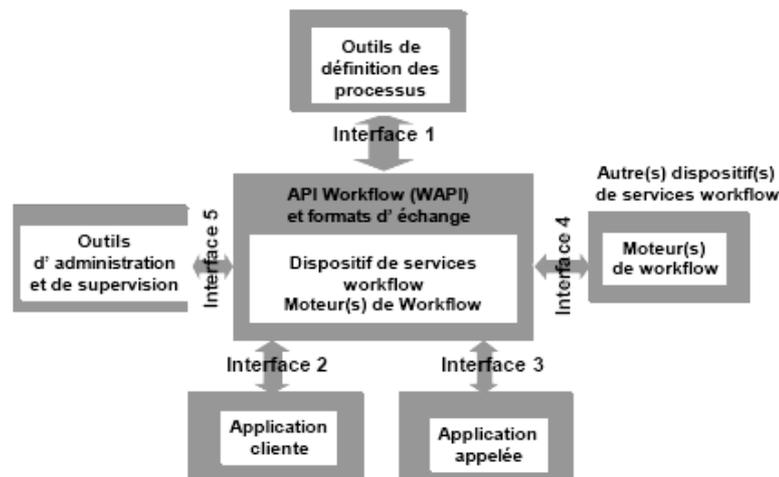


Figure 2.2 : Modèle de référence de la WfMC (dans [MORAND, 2001])

4.3 Le standard d'échange de données informatisées EDI-EDIFACT

L'Echange de Données Informatisé (EDI) était la première approche largement adoptée pour la gestion des processus d'affaires inter-domaines, Selon 'Charmot' (dans [Boughzala, 2001]), L'EDI est « *un procédé permettant de transférer directement d'ordinateurs à ordinateurs de données structurées, suivant une syntaxe et des messages pré-établis, via des réseaux de télécommunication* »

L'EDI assure le transfert des informations interentreprises. Il couvre un transfert bilatéral ou multilatéral de données structurées, selon un langage convenu entre les parties communicantes, via l'utilisation des réseaux de télécommunication.

La nature intersectorielle de l'EDI a généré un besoin de normalisation des échanges. Cela a permis l'apparition de la norme EDIFACT (Electronic Data Interchange for Administration, Commerce and Transport) qui précise les règles syntaxiques à adopter au niveau applicatif pour l'échange électronique de données. Cependant, l'EDI-EDIFACT reste un système difficile à mettre en place et très coûteux pour les PME.

4.4 Les systèmes Distribués Basés sur des composant d'affaires

Le système EDI soutient le commerce électronique en automatisant les processus existants en permettant l'échange de documents électroniques entre des organisations séparées, tandis que d'autres systèmes prennent en charge le commerce électronique en essayant de créer une seule organisation virtuelle [Ouzounis, 2001]. Ces systèmes emploient les

middlewares, une couche d'intégration de code et de fonctionnalités qui permet à plusieurs systèmes divers et distribués d'être manipulés et de fonctionner comme s'ils étaient un seul système. En employant ces outils middlewares, les applications de gestion peuvent avoir accès aux différents systèmes d'une manière transparente.

La première approche employée dans le développement de ces systèmes était la construction d'applications basées sur le protocole TCP/IP d'Internet. Une nouvelle génération de systèmes d'entreprise est en train de se développer grâce à l'apparition et au développement rapide de Java et à la réputation des plates-formes basées sur les objets distribués telles que CORBA et EJB (Enterprise Java Beans) et en se basant sur les concepts de la « réutilisabilité » et de middleware. Ces concepts ont permis la création de systèmes d'affaires distribués basés sur des composants DCBS (DCBS : Distributed Component-based Business Systems). Les composants de base, généralement orientés objet, peuvent être achetés, réutilisés ou étendus, personnalisés, configurés et intégrés dans le système d'affaires [Ouzounis, 2001].

Ces technologies sont intégrées dans des environnements et permettent ainsi de surmonter beaucoup de problèmes liés à la complexité conceptuelle et technique rencontrée durant le développement d'applications de gestion.

Ces systèmes middleware ont été conçus initialement pour le développement d'applications distribuées intra-domaine et non pas pour l'exécution des processus d'affaire inter-domaine. Cela rend leur but principal, relativement aux processus d'affaire inter-domaine une simple création d'une entreprise virtuelle [Camarinha, 1999].

Les technologies et les frameworks les plus influents dans le développement des DCBSs pour l'EV sont :

- Les objets OMG, basés sur des services de middleware de CORBA.
- Enterprise Java Beans (EJB) de Sun Microsystems pour le développement d'applications de gestion distribuées orientées objet dans Java en combinant les services middleware de base et les composants d'affaire existants.
- San Francisco d'IBM, un framework commercial, multi-tiers de développement en Java d'applications de gestion distribuées, etc.

Les systèmes distribués basés sur les composants d'affaires ont été adoptés par les systèmes commerciaux grâce à la simplicité, la facilité d'intégration et de déploiement, le haut degré

de distribution, des protocoles distribués basés sur les standards tels que CORBA-IIOP et RMI et les services middleware. La plupart de ces systèmes sont difficiles à adopter dans un environnement d'EV dynamique. Cependant, ils sont appropriés au déploiement à l'intérieur d'une seule entreprise voulant lier plusieurs de ses filiales et de ses unités distribuées.

4.5 Les systèmes de messagerie

A l'opposé des systèmes distribués basés sur les composants classiques, qui cherchent à lier étroitement des systèmes d'entreprise et les processus de différentes organisations dans un simple organisation virtuelle coordonnée, les systèmes de gestion et d'exécution de processus d'affaire inter-domaine peuvent être construits en employant l'échange de documents habituellement décrits en XML, pour lier ensemble plusieurs organisations [Ouzounis, 2001].

Il est nécessaire de préconiser un système distribué de messagerie pour soutenir l'échange de messages entre les différents systèmes et les composants d'affaires. Initialement, les systèmes de messagerie ont été déployés pour des raisons d'interopérabilité et de facilité d'intégration entre des applications intra-domaine distribuées. Cependant, avec le succès des systèmes distribués orientés objet, et avec l'émergence des concepts d'entreprises virtuelles dynamiques et de systèmes d'affaires fédérés (B2B : business to business), les systèmes de messagerie attirent de moins en moins l'attention des développeurs.

En général, un système de messagerie fournit les caractéristiques suivantes :

- Un échange de messages un à un et un à plusieurs entre les différentes entités distribuées ou clients ;
- Un stockage persistant des messages dans des files d'attente pour une communication fiable et tolérante aux pannes ;
- Un passage de message synchrone et/ou asynchrone ;
- Une autonomie d'exécution et de communication entre les expéditeurs et récepteurs ;
- Un support de plusieurs protocoles de transport ouverts tels que : IIOP, RMI, HTTP et TCP/IP.

4.6 Les agents et les systèmes multi-agents

4.6.1 Qu'est ce qu'un agent?

Le concept d'agent a été utilisé dans plusieurs domaines de l'intelligence artificielle, ainsi que dans les systèmes de bases de connaissances, la robotique, le langage naturel et même dans des disciplines comme la philosophie et la psychologie [Chaib-Draa, 2001]. Aujourd'hui, avec les nouvelles avancées technologiques et l'expansion et la disponibilité de l'Internet, ce concept est associé à plusieurs nouvelles applications dans lesquelles on trouve : l'agent de ressource, l'agent courtier, l'agent assistant du personnel, etc.

Dans la littérature, une multitude de définitions est attribuées à l'agent et cela, selon le type d'application, voire le système utilisé pour lequel est conçu l'agent.

Ferber [Ferber, 1997] définit l'agent comme « *une entité autonome, réelle ou abstraite, qui est capable d'agir sur elle-même et sur son environnement, qui, dans un univers multi-agent, peut communiquer avec d'autres agents, et dont le comportement est la conséquence de ses observations, de ses connaissances et des interactions avec les autres agents* »

Cette définition permet de ressortir les propriétés clés de l'agent : l'*autonomie*, l'*action*, la *perception* et la *communication*. D'autres propriétés peuvent être attribuées aux agents telles que la *réactivité*, la *rationalité*, l'*engagement* et l'*intention*.

Jennings, Sycara et Wooldridge [Jennings, 1998] ont proposé la définition suivante pour un agent:

« Un agent est un système informatique, situé dans un environnement, et qui agit d'une façon autonome et flexible pour atteindre les objectifs pour lesquels il a été conçu. »

Les notions « situé », « autonome » et « flexible » sont définies comme suit:

- *situé*: l'agent est capable d'agir sur son environnement à partir des entrées sensorielles qu'il reçoit de ce même environnement. Exemples: systèmes de contrôle de processus, systèmes embarqués, etc. ;
- *autonome*: l'agent est capable d'agir sans l'intervention d'un tiers (humain ou agent) et contrôle ses propres actions ainsi que son état interne;
- *flexible*: l'agent dans ce cas est:

- *capable de répondre à temps*: l'agent doit être capable de percevoir son environnement et élaborer une réponse dans les temps requis,
- *proactif*: l'agent doit exhiber un comportement proactif et opportuniste, tout en étant capable de prendre l'initiative au "bon" moment;
- *social*: l'agent doit être capable d'interagir avec les autres agents (logiciels et humains) quand la situation l'exige afin de compléter ses tâches ou aider ces agents à accomplir les leurs.

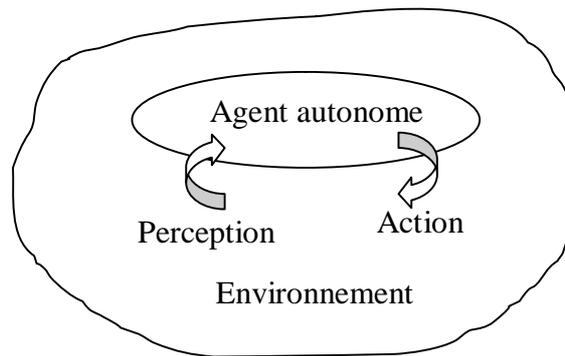


Figure 2.3 : Un agent autonome et son environnement [Zarour, 2004]

Le plus souvent, l'autonomie est la qualité la plus considérée pour un agent. Elle est présente une garantie, ou une condition nécessaire pour l'adaptabilité et l'auto-organisation du système. Il existe plusieurs approches de l'autonomie et il n'est pas facile de rendre autonomes des robots, des processus ou des programmes comme le sont les êtres vivants.

La combinaison de certaines propriétés des agents, permet d'identifier la typologie d'agents suivante [FIPA, 1996] :

- *Les agents autonomes* : cette catégorie d'agents se trouve souvent dans des environnements complexes et dynamiques. Elle perçoit et opère de façon autonome dans ces environnements et de telle façon à réaliser des tâches et atteindre des buts.
- *Les agents animateurs* : ils sont interactifs et simulent le monde pour fournir de l'animation à un utilisateur.
- *Les agents informationnels* : ils ont l'accès à de nombreuses sources d'information potentielles et ils sont capables de collecter et de manipuler l'information manipulée à partir de ces sources pour répondre aux différentes requêtes qui sont posées par les agents et/ou les utilisateurs.

- *Les agents intelligents* : ils exécutent un certain ensemble d'opérations au profit d'un utilisateur ou d'un autre programme avec un certain degré d'indépendance.
- *Les agents interfaces* : ils fournissent de l'assistance aux utilisateurs qui traitent avec un autre agent.

Les caractéristiques structurelles d'un agent déterminent l'ensemble de ses composants. Les caractéristiques environnementales sont liées à la représentation que se fait l'agent de son environnement et de lui-même. Enfin, les caractéristiques comportementales contraignent l'ensemble de ses comportements, en accord avec celles qui sont environnementales.

Par exemple, si on considère une entreprise comme un agent, les caractéristiques structurelles sont les différents départements, l'effectif, etc. La caractéristique environnementale peut être le chiffre d'affaire et les caractéristiques comportementales sont la politique et les stratégies adoptées.

4.6.2 Les systèmes multi-agents

Un système multi-agent ou SMA est une structure composée d'un environnement et d'un ensemble d'agents. Ces derniers sont capables d'agir sur l'environnement et, dans la mesure du possible, de collaborer entre eux et/ou avec des agents extérieurs.

Le paradigme système multi-agent est largement utilisé soit pour la simulation pure d'entités interagissant entre elles (par exemple dans la vie artificielle) soit pour la résolution de problèmes [Ferber, 1997].

Les SMAs sont conçus et implantés idéalement comme un ensemble d'agents interagissant, le plus souvent, selon des modes de coopération, de concurrence ou de coexistence [Chaib-Draa, 2001].

Un SMA est généralement marqué par les caractéristiques suivantes :

- chaque agent a des informations ou des capacités de résolution de problèmes limitées, ainsi chaque agent aura un point de vue partiel,
- il n'y a aucun contrôle global du système multi-agent,
- les données sont décentralisées,
- le calcul est asynchrone.

Les SMA possèdent les avantages traditionnels de la résolution distribuée et concurrente de problèmes comme la modularité, la vitesse (avec le parallélisme), et la fiabilité. Ils héritent aussi des bénéfices de l'Intelligence Artificielle comme le traitement symbolique (au niveau des connaissances), la facilité de maintenance, la réutilisation et la portabilité mais surtout, ils ont l'avantage de faire intervenir des schémas d'interaction sophistiqués.

Les types courants d'interaction incluent la coopération (travailler ensemble à la résolution d'un but commun) ; la coordination (organiser la résolution d'un problème de telle sorte que les interactions nuisibles soient évitées ou que les interactions bénéfiques soient exploitées) ; et la négociation (parvenir à un accord acceptable pour toutes les parties concernées).

Les SMAs offrent de nombreux avantages potentiels mais, en contre partie ils révèlent beaucoup de défis et des problèmes que devrait les faire face tout au long de la conception et de l'implémentation des SMA. Les questions les plus apparentes selon [Chaib-Draa, 2001] sont :

- Comment formuler, décrire, décomposer, et allouer les problèmes et synthétiser les résultats?
- Comment permettre aux agents de communiquer et d'interagir? Quoi et quand communiquer?
- Comment assurer que les agents agissent de manière cohérente?
- Comment permettre aux agents individuels de représenter et de raisonner sur les actions, plans et connaissances des autres agents afin de se coordonner avec eux?
- Comment trouver le meilleur compromis entre le traitement local au niveau d'un seul agent et le traitement distribué entre plusieurs agents (traitement distribué qui induit la communication)?
- Comment concevoir les plates-formes technologiques et les méthodologies de développement pour les SMA?

Les agents autonomes et les systèmes multi-agents représentent une nouvelle approche pour l'analyse, la conception et l'implantation des systèmes informatiques complexes. La vision basée sur l'entité agent offre un puissant répertoire d'outils et de techniques pour d'améliorer considérablement les systèmes logiciels.

4.6.3 Le paradigme d'agent pour l'entreprise virtuelle

Les agents sont de plus en plus utilisés dans divers applications comme, la gestion des informations personnalisées, la conception des interfaces, la gestion des processus industriels et commerciales complexes et récemment dans la gestion et la conception d'entreprises. La technologie agent appliquée à l'entreprise virtuelle est un champ promoteur pour la recherche et le développement.

Plusieurs approches utilisent une architecture fédérée [Camarinha, 2001] dans laquelle les agents sont organisés en groupes, et pour chaque groupe, un agent appelé *facilitateur* est associé et qui sert à identifier les agents qui vont joindre ou quitter le système, et permet la communication directe avec d'autres agents indépendamment de leurs endroits. En plus, les facilitateurs fournissent une communication anonyme et la traduction des messages reçus.

Nous pouvons citer trois approches d'architectures fédérées [Shen, 1999] :

- Approche basée sur les facilitateurs
- Approche basée sur les brokers (courtiers)
- Approche basée sur les médiateurs

Dans l'approche facilitateur, les différents agents qui ont des liens en commun sont combinés dans un groupe, la communication entre ces agents est toujours faite à travers une interface appelée facilitateur. Chaque facilitateur est responsable de fournir un moyen qui sert d'intermédiaire entre les agents locaux et les agents distribués, habituellement en fournissant deux services :

- (i) Un service de routage des messages sortants aux destinations appropriées.
- (ii) Un service de traduction de messages entrants pour être exploités par ses agents.

Les brokers ou agents brokers (courtiers) sont similaires au facilitateurs, mais avec l'addition de quelques fonctions comme par exemple, la surveillance (monitoring) et la notification. La différence fonctionnelle entre un broker et un facilitateur est qu'un facilitateur est responsable uniquement d'un groupe bien défini, tandis que n'importe quel agent peut contacter n'importe quel courtier (broker) dans le même système pour solliciter un agent de service afin d'achever une tâche spécifique.

L'approche basée sur l'utilisation des médiateurs présente un autre type d'architectures fédérées. En plus des fonctions d'un facilitateur et d'un courtier, un médiateur assume le

rôle de coordinateur en promettant la coopération parmi les agents intelligents et en apprenant des comportements des différents agents.

5. Principales Architectures supports à l'entreprise virtuelle

Trois grandes catégories d'architecture présentant l'infrastructure de l'entreprise virtuelle sont proposées dans la littérature. Ces architectures sont généralement liées à des projets de recherche et de développement réalisés ou en phase d'étude.

5.1 Les Architectures en couches (Transactionnelles)

L'idée principale des ces approches est de doter la plate-forme (TIC) existante de l'entreprise d'une couche de coopération inter-entreprise. Pour réaliser un but commun, les entreprises coopèrent via l'interaction à travers les couches additionnées [Camarinha, 1998a]. Les architectures en couches incluent fréquemment des solutions Client/Serveur, serveur Web-Enabled et adoptent des modèles de Workflow et des standards pour l'échange des informations (STEP, EDIFACT, XML, etc.)

Le projet PRODNET [Camarinha, 1998a/b-1999] est un exemple type d'une architecture en couches. PRODNET comporte une couche de coopération (PCL), elle-même composée de plusieurs modules :

- Infrastructure de communication PRODNET (PCI)
- Système de gestion des informations distribuées (DIMS)
- Module de coordination local (LCM)

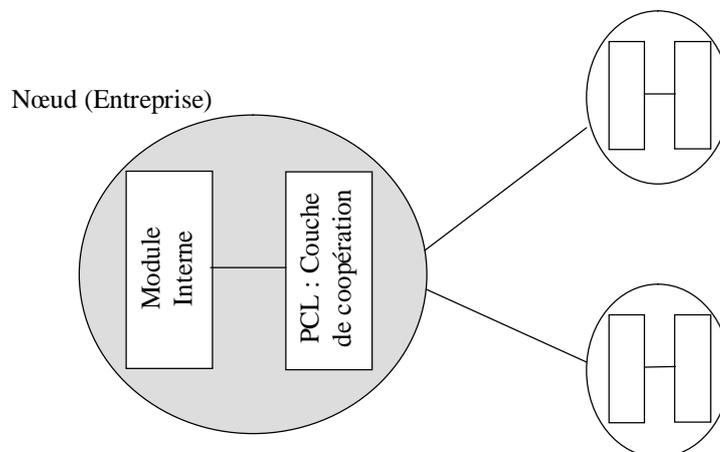


Figure 2.4: La couche de coopération dans PRODNET [Camarinha, 1998a]

5.2 Les architectures basées agent

L'idée motivante de ces architectures est la nature même de l'entreprise virtuelle, c'est-à-dire, un ensemble d'entreprises autonomes voulant coopérer pour réaliser un but commun. Ces entreprises sont représentées par des agents, et la coopération inter-entreprise est par conséquent, l'ensemble d'interactions dans le système multi agent distribué.

De nombreux travaux ont été élaborés afin d'introduire la technologie multi-agent et les concepts liés à elle (ex : le mécanisme de négociation) dans le cadre de l'entreprise/organisation virtuelle.

Le travail présenté dans [Rocha, 1999] suppose que les entreprises sont regroupées dans un marché électronique, et chacune d'entre elles est représentée par un agent. Ces agents qui sont habituellement distribués géographiquement et anonymes les uns aux autres peuvent coopérer pour achever un but commun. Cet exemple suppose que par le simple mécanisme de coopération inter-agent, toutes les phases de cycle de vie d'une entreprise virtuelle seront couvertes. D'autres travaux tel que le projet MIAMI [Broos, et al. 2000] qui s'adressent aux entreprises virtuelles qui prévoient un service de surveillance pendant la phase « opération », introduisent les agents mobiles pour supporter cette phase.

5.3 Les architectures basées sur la fédération des services

Selon ces modèles, les entreprises devront être dotées de la capacité de publier ou de retirer (Plug / Inplug) leurs services des annuaires. L'interopérabilité entre les entreprises est possible à travers des interfaces de services standard, et cela indépendamment de l'hétérogénéité résultante des implémentations de ces services.

L'architecture JINI [SUN, 1999] malgré quelle soit aussi un modèle d'implémentation, peut trouver son utilisation dans des environnements des entreprises/organisations virtuelles en donnant des solutions pour la gestion des droits d'accès et la visibilité des informations d'une entreprise.

Le Tableau 2.1 est un récapitulatif des points clés et limitations des différentes approches pour l'établissement d'une entreprise virtuelle. Ce tableau permet de situer l'approche agent par rapport aux autres approches citées dans la littérature « entreprise/organisation virtuelle » :

	Points clés de l'approche	Limitations courantes
En couches	<ul style="list-style-type: none"> • Communications sûres (Cryptographie, clefs symétrique & asymétriques, signature numérique, certificats; VPN) • partage et échange des informations (gestion des informations distribuées, Spécification des droits de l'accès / visibilité) • La coordination est basée-Workflow • Standards pour l'échange de classes d'information (EDIFACT, STEP, XML - Based) • Plusieurs approches pour l'accès aux objets & services distants (RPC, RMI, CORBA, EJB, JINI,...) 	<ul style="list-style-type: none"> • Aucun Modèle de Référence commun • Besoin d'intégrer les différentes technologies. • L'infrastructure est encore complexe, difficile à configurer et faible interopérabilité. • Manque de support pour la dissolution de l'EV. • Mécanismes limités pour le suivi et l'audit. • Support pauvre pour développer un environnement de gestion
Basé - Agent	<ul style="list-style-type: none"> • Support pour la création de l'EV • La recherche et la sélection des partenaires sont basées sur la négociation. • Marchés virtuels et courtiers (brokers) • Un pas préliminaire vers l'établissement électronique des contrats. • Peut supporter l'opération de l'EV. • Fonctions pour la planification dynamique • Combinaison entre la communication inter-agent et la gestion des informations fédérées. • Premier pas pour la gestion du contrat 	<ul style="list-style-type: none"> • Beaucoup de plates-formes du développement pour les SMA. • La sécurité et les mécanismes de persistance ne sont pas bien intégrés dans les SMA. • Manque d'intégration entre l'IA et les communautés BP • Le développement est principalement au niveau des prototypes; une vraie démonstration manque encore.
Fédération de Services	<ul style="list-style-type: none"> • Architectures de base pour la fédération des services • Mécanismes pour l'invocation d'un service à distance. • Standards préliminaires pour décrire et cataloguer les services : UDDI, WSDL, SOAP • Mécanismes de base pour la recherche du service • Mécanismes préliminaires pour la composition de service de valeur ajoutée. 	<ul style="list-style-type: none"> • Faible intégration entre la fédération du service et le concept « Entreprise Virtuelle » • Faible intégration des mécanismes de sécurité et confidentialité. • Mécanismes de recherche rudimentaires • Concept Ad - hoc pour le portail.

Tableau 2.1 : Différentes approches pour l'établissement de l'EV [Camarinha, 2003]

5.4 Recherche et sélection des partenaires dans l'EV

La « recherche et la sélection des partenaires » est un processus crucial et très important dans le cycle de vie d'une EV. Le besoin de ce processus surgit d'abord dans la phase de création.

Dans cette section, nous mettons l'action sur les différentes techniques adoptées pour l'implémentation du processus de recherche et de sélection des partenaires pour la création de l'entreprise virtuelle dans les différentes approches suscitées.

5.4.1 Les ressources d'information

a) Les annuaires de fournisseurs :

La recherche des partenaires peut être basée sur de nombreuses sources d'information, étant privée, publiques ou indépendantes. La liste des fournisseurs privés d'une entreprise peut être trouvée dans un « Annuaire Interne de Fournisseur » (ISD : Internal Suppliers Directory) manipulé par un système ERP (Enterprise Resource Planning) ou PPC (Production Planning and Control). Cet annuaire est un entrepôt de données regroupant toutes les informations sur les compagnies en relation commerciale avec l'entreprise en question [Camarinha, 2001].

Les ressources externes incluent des annuaires maintenus par des associations industrielles, des chambres de commerce ou des services Internet déjà disponibles et offrant des interfaces WWW pour l'accès aux BDs des entreprises et à l'annuaire externe de fournisseurs (ESD : External Suppliers Directory).

b) Cluster d'entreprises :

Une autre solution émergente est la création des *clusters* d'entreprises qui acceptent de coopérer et dont les compétences et les ressources disponibles sont enregistrées dans un « Annuaire de Cluster Commun » (CD : Cluster Directory).

Le concept de cluster d'entreprises ne doit pas être confondu avec l'EV elle-même. Le cluster représente un groupe ou un *pool* d'entreprises ainsi, que les institutions de soutien liées et qui ont le potentiel et la volonté pour coopérer mutuellement [Camarinha, 2002]. Les relations fournisseur-acheteur, les technologies communes, les marchés ou les canaux de distribution communs, les ressources et mêmes les environnements de travail en commun sont les éléments typiques qui lient les membres d'un même cluster ensemble. Les avancés des technologies de l'information et de la communication apportent de nouvelles occasions pour augmenter le potentiel de ce concept en fournissant l'environnement adéquat pour la formation rapide d'entreprises virtuelles. En fait, il est clair maintenant que la formation d'EVs dynamiques exige l'adaptation appropriée de l'environnement pour répondre aux exigences de base telles que :

- la construction de confiance entre les différents participants ;
- des infrastructures communes et des procédures de gestion convenables ;
- le sens de communauté ;
- le sens de stabilité ;

Un cluster représente une organisation à long terme. Il présente donc un environnement adéquat pour l'établissement des accords de coopération, des infrastructures communes, des ontologies communes et la confiance mutuelle, qui sont les éléments de facilitateurs pour construire de nouvelles EVs.

5.4.2 Recherche et sélection des partenaires basée sur les annuaires

La recherche basée sur l'annuaire interne de fournisseurs (ISD) peut tirer profit de la connaissance passée sur les partenaires et de l'expérience de la coopération. Les fournisseurs sont habituellement classés selon des critères particuliers et des systèmes d'aide à la décision spécialisés peuvent être employés pour accélérer le processus de sélection de partenaires. Mais, même lorsque cette source d'information est disponible, il est nécessaire pour certaines opportunités d'affaire de rechercher de nouveaux partenaires quand de nouvelles compétences ou ressources sont requises.

Dans PRODNET II, les annuaires internes et externes sont utilisés durant le processus de recherche et de sélection des partenaires.

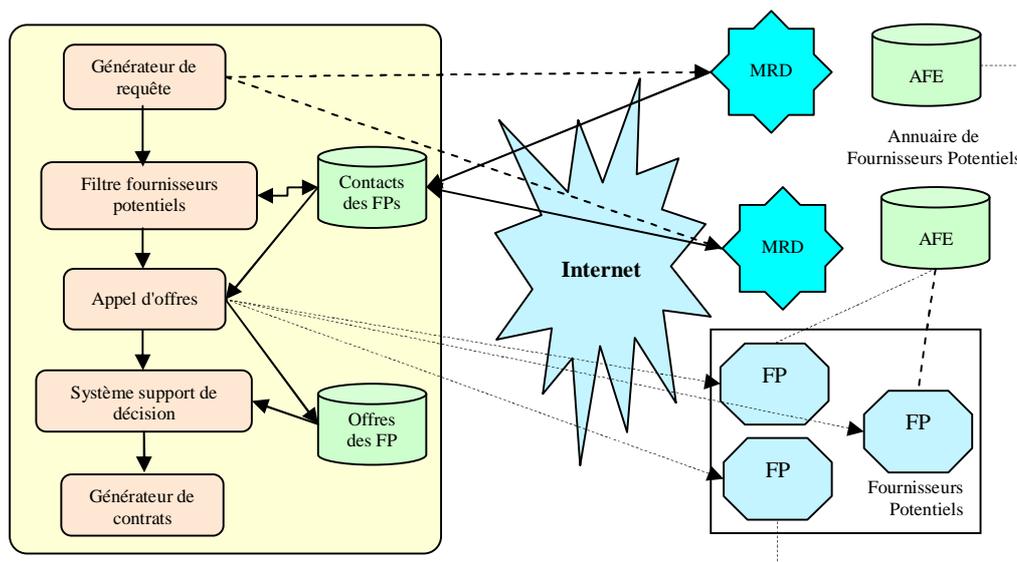


Figure 2.5 : Recherche et sélection des partenaires basé sur annuaires externes [Camarinha, 2002]

La principale difficulté est la dépendance actuelle aux formats et interfaces spécifiques d'accès à chaque annuaire externe. Le manque de standards pour représenter les profils d'entreprise dans les annuaires externes des fournisseurs rend difficile le développement d'outils génériques pour ces annuaires.

5.4.3 Recherche et sélection des partenaires basée sur les clusters

Les problèmes rencontrés dans la sélection basée sur les annuaires peuvent être éliminés en limitant la recherche aux clusters contrôlés. Dans un cluster, il est possible d'établir un modèle commun pour les profils d'entreprise selon les besoins d'un courtier (broker) responsable de la création d'EVs. Les projets VIRTEC [VIRTEC, 2002], et COWORK [COWORK, 1999] sont des exemples type de cette approche. De la même façon pour les annuaires internes de fournisseurs, l'annuaire de cluster peut contenir des connaissances tirées des expériences de coopération passées et performances des partenaires, et constituant ainsi un support d'information très importante pour le processus de recherche.

L'annuaire de cluster est maintenu par un manager de cluster. Il est disponible aux différents membres dans le cluster dont chacun peut prendre l'initiative de créer une entreprise virtuelle.

Le projet MASSYVE propose une approche multi-agent basée sur le paradigme de négociation pour la recherche de partenaires dans un cluster [Camarinha, 1998b]. Le système proposé inclut un agent courtier responsable de saisir et de traiter les opportunités d'affaire, un agent facilitateur, un agent de consortium qui conçoit et planifie l'EV potentielle et établit la négociation avec les partenaires potentiels dans le cluster. En plus, un ensemble d'agents représentant les entreprises participantes dans le cluster. Une fois qu'une opportunité d'affaires est présente, le facilitateur fait une pré-évaluation des partenaires possibles en comparant les compétences et les ressources exigées avec le profil et le statut actuel des membres dans le cluster. Le protocole Contrat-Net [FIPA, 1996] est employé pour rassembler les offres des membres et choisir les plus adéquats en se basant sur les coûts et les délais par exemple.

La figure 2.6 illustre ce processus. Dans le cas où le cluster ne couvre pas toutes les exigences, une recherche supplémentaire des partenaires peut être effectuée dans des annuaires d'entreprises sur Internet.

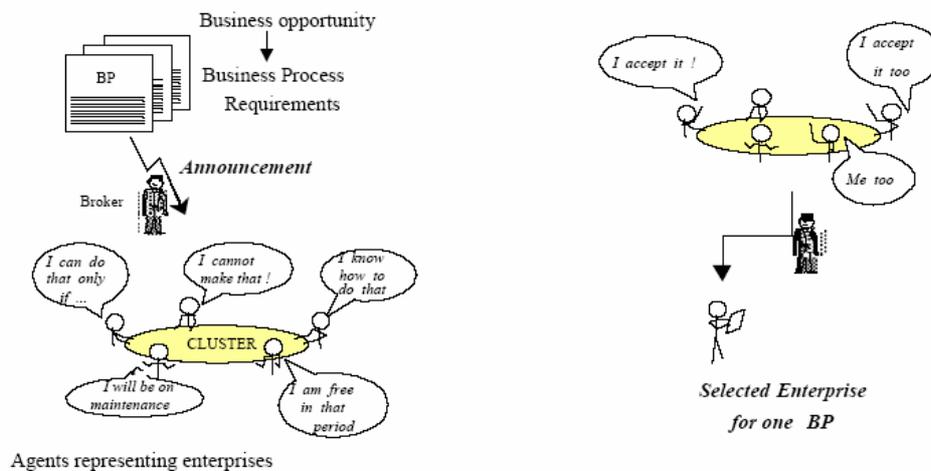


Figure 2. 6 : Mécanisme de négociation appliqué à un cluster d'entreprises
[Camarinha, 2002]

5.4.4 Recherche basée sur la fédération de services

Une approche alternative d'implémentation d'un processus de recherche de partenaires flexible est celle basée sur le concept de fédération de services telle que proposée par JINI [SUN, 1999]. L'architecture JINI peut soutenir, d'une façon transparente, la fédération de fonctions de service offertes par des fournisseurs de service différents et opérant sur des nœuds différents d'un réseau. Des annuaires spéciaux (JINI Lookup Services) permet l'enregistrement des spécifications des services et les fonctions associées pour la recherche de ces services (figure 2.7). Selon ce modèle, les entreprises ont la possibilité de connecter/déconnecter leurs services des annuaires de service et les clusters doivent mettre en place une interface de service standard appropriée. Les interfaces de service visent le soutien de l'interopérabilité entre les entreprises, indépendamment de l'hétérogénéité associée à l'implémentation réelle des services. Cela signifie qu'une interface de service client est disponible indépendamment de l'implémentation de service en termes de plateforme matériel, le système d'exploitation et les langages de programmation.

Bien que l'architecture JINI contribue à faciliter l'interopérabilité entre les services offerts par des entreprises différentes, son utilisation dans des environnements d'EV exige le développement de fonctionnalités complémentaires. Par exemple dans les EVs, les aspect : droits d'accès et informations de visibilité des entreprises sont très importants. Donc, en recherchant et ayant accès à un type de service spécifique, il est aussi approprié de déterminer le fournisseur du service et le client demandeur, pour permettre la vérification

de tels droits de visibilité. Il est aussi nécessaire de définir les règles pour le service de spécification/définition et le service d'enregistrement à travers l'interface de service.

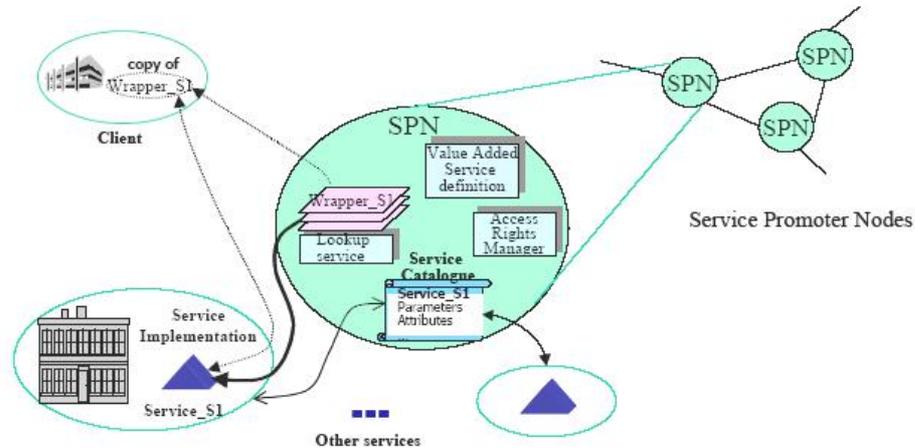


Figure 2. 7: gestion de cluster basée sur l'architecture JINI [Camarinha, 2002]

6. Le projet PRODNET : Une plateforme ouverte pour le développement d'EVs

Dans cette section, nous allons présenter un exemple concret d'un projet de développement d'EVs. Selon l'évaluation officielle dans les secteurs techniques et d'affaires, PRODNET est considéré comme un projet fini avec un grand succès. Cette constatation, ainsi que la disponibilité d'une documentation très riche de ce projet, nous a mené à proposer ce projet comme exemple typique.

PRODNET [Camarinha, 1998a/b–1999-2002] vise la conception et le développement d'une plate-forme ouverte et protocoles et des mécanismes de communication pour supporter l'établissement d'EVs industrielles. Il concentre sur les entreprises de petite et moyenne taille (PMEs).

Le projet PRODNET propose un environnement support aux EVs. Plusieurs fonctionnalités dépendent étroitement de certains facteurs non-techniques. Par exemple, les fonctionnalités de coordination globales dans l'EV dépendent du niveau de coopération et de confiance établi ou désiré entre les entreprises. Pour certaines fonctionnalités, il existe déjà un nombre d'outils sur le marché supportant ces dernières. D'autres solutions sont développées dans des projets divers, c'est le cas, par exemple de la planification logistique,

les outils de collaboration, etc. Le consortium PRODNET a développé un sous-ensemble de fonctionnalités, incluses dans une plate-forme. Ces fonctionnalités sont :

- L'échange de données commerciales (EDIFACT).
- L'échange de données techniques de produit (STEP).
- Le contrôle de statut des ordres.
- La qualité reliée à l'échange des informations.
- La gestion des informations administratives sur l'EV et les informations concernant l'entreprise décidant d'être disponible sur le réseau.
- L'exécution du Workflow local, en développant un module de coordination qui manipule la coopération liée aux événements.
- La configuration, qui permet la définition et le paramétrage de l'EV et du comportement de chaque nœud particulier.
- Un système PPC (Planification de Production et Système de Contrôle) étendu, adapté pour l'interaction avec l'environnement de l'EV et incluant la gestion des ordres incomplets et imprécis.

En plus, l'adéquation et la faisabilité de l'implémentation de quelques modules de nature expérimentale traitant les fonctionnalités de coordination avancées sont examinées. Par exemple :

- Des outils pour faciliter la recherche et la sélection des partenaires.
- La gestion d'une base de données de contrats.
- La planification des ressources distribuées.

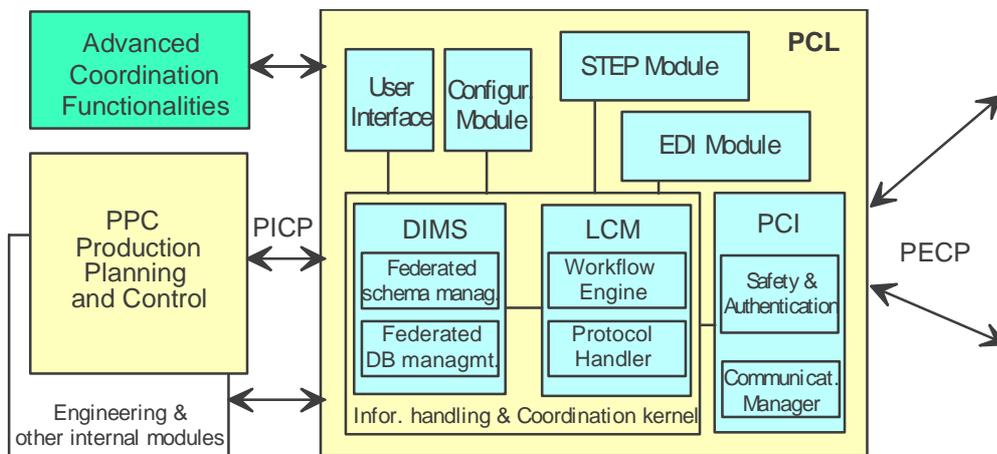


Figure 2. 8 : Architecture PRODNET Générale pour un membre de l'EV
[Camarnha, 1998a]

Les PME ne sont pas toutes intéressées par la totalité des fonctionnalités proposées. Donc, les fonctionnalités peuvent être choisies ou mis hors service selon les paramètres de configuration.

La figure 2.8 représente l'architecture PRODNET pour chaque entreprise membre dans l'EV. Cette architecture comprend les modules suivants :

PPC - Système de Planification et de Contrôle de Production

PCL - Couche de Coopération de PRODNET

DIMS - Système de Gestion des Informations Distribuées

LCM - Module de Coordination Local

EDI - module d'Echange de Données Electroniques

STEP - Standard pour le module d'échange de données de produit techniques

PCI - infrastructure de communication de PRODNET

PICP - Protocole de Communication Interne de PRODNET

PECP - Protocole de Communication Externe de PRODNET.

1. Le Système de Planification et de Contrôle de Production (PPC)

Ce composant permet l'interaction avec le monde extérieur. L'approche adoptée par PRODNET est d'utiliser un système PPC existant et de le modifier (re-ingénierie) de telle façon que son intégration soit souple dans l'architecture proposée. Le système PPC travail comme une application en arrière plan pour réaliser certaines fonctionnalités telles que :

- La gestion des ordres (représentées en STEP) ;
- La gestion de la qualité des informations conformément aux standards (ex : ISO 9000 à l'intérieur de l'entreprise). Au niveau du réseau, et pour combler l'absence d'une définition standard, PRODNET propose que les rapports de la qualité soient en format libre et que l'accès aux informations relatives à la qualité sera sur demande seulement.

2. La Couche de Coopération de PRODNET (PCL)

Ce module contient les fonctionnalités et les informations pour le support des interactions entre une entreprise et l'EV(s) que cette entreprise y participe. Les composants de PCL sont :

Le Système de Gestion des informations Distribuées (DIMS) : Ce système est responsable de la modélisation et de la gestion de toutes les informations de coopération.

Le module de coordination local (LCM) : Ce composant est l'exécuteur/contrôleur du plan de flux d'activités défini par le composant de configuration (une sorte de moteur de

workflow). Il manipule tous les événements de coopération provoqués par les autres noeuds du l'EV, par le module interne de l'entreprise ou par l'interface humaine.

Le module EDI : Ce module est responsable de la réception et de formatage des messages liés aux ordres dans le format d'EDIFACT. Ce module vérifie la conformité du format des messages à la syntaxe de l'EDIFACT.

Le module STEP : ce module prend en charge la manipulation des données techniques de production utilisées dans PRODNET.

L'infrastructure de communication (PCI) : Ce module est responsable du traitement de toutes les communications avec les autres noeuds dans le réseau. Il inclut des fonctionnalités comme : le choix de protocole et des canaux de communication, la gestion des communications de base, des mécanismes de cryptographie et des canaux de communication sécurisés entre les noeuds.

L'interface utilisateur et de configuration : le composant de configuration permette de spécifier manuellement la structure de l'EV et les droits d'accès de tous ses membres. L'interface utilisateur assure une interface entre l'opérateur humain (responsable des interactions avec l'EV) et le PCL.

PICP et PECP : PRODNET définit deux protocoles différents pour gérer les communications de l'entreprise (internes et avec le monde extérieur). Ces protocoles sont : le Protocole de Communication de PRODNET Interne (PICP) et le Protocole de Communication de PRODNET Externe (PECP).

3. Les fonctionnalités Avancées de coordination

Les aspects de coordination dans une EV, bien qu'importants, font toujours face à beaucoup de questions ouvertes, certains d'entre eux sont de nature non technologique. Par exemple, les contraintes légales et le besoin de changements organisationnels impliquant le recyclage des opérateurs bénéficiant de nouveaux rôles.

D'autre part, le développement des mécanismes de coordination inter-réseau avancés et des procédures de sécurité doit être accompagné par la construction de la confiance (trust). Ces facteurs d'incertitude peuvent être satisfaits dans une approche progressive (développement pas à pas) plutôt que dans une approche de développement d'infrastructure générale. Ainsi, PRODNET a préconisé un niveau de coordination

minimal, basé sur un processus décisionnel humain inclus dans le PCL et un ensemble de composants expérimentaux pour les mécanismes de coordination avancés incluant :

- *Un système d'aide à la décision pour la recherche des partenaires et la négociation dans l'EV ;*
- *La gestion de la base de données de contrats ;*
- *Des catalogues électroniques liés aux processus de l'offre et de consultation via le WEB ;*
- *Un système de planification des ressources distribuées.*

7. Conclusion

Ce chapitre présente une analyse de l'état de l'art dans le contexte de recherche et de développement des entreprises virtuelles, ainsi que les techniques, paradigmes et standards déployés au sein des EVs afin d'assurer et de supporter les différentes fonctionnalités requises toute au long de leurs cycles de vie.

Dans ce chapitre, nous commençons par une description des projets de recherche et de développement réalisés, ou cours de développement, tout en mettant l'accent sur les aspects étudiés ou développés par chacun de ces projets ou travaux de recherche, et donc une classification selon ces critères a été nécessaire. L'analyse présentée est suivie par une synthèse portant sur les points communs, les limites et les incomplétudes qui doivent être adressées et résolues.

Dans la suite, une évaluation des différentes technologies et paradigmes proposés et déployés pour l'établissement et la gestion des EVs est présentée. Dans cette évaluation, on a adressé une attention particulière aux agents intelligents et systèmes multi-agents qui seront les concepts théoriques de base pour notre approche qui sera présentée dans le chapitre suivant. Ensuite, nous avons présenté les différentes architectures utilisées pour le support des EVs, ainsi que les différentes techniques de recherche et sélection des partenaires relatives à chaque architecture. Cela, nous a fournit un fondement théorique et technique pour aborder le chapitre suivant qui sera consacré à la description de l'approche agent pour l'EV.

ARCHITECTURE GÉNÉRIQUE BASÉE-AGENT POUR L'ENTREPRISE VIRTUELLE

1. Introduction

Devant la diversité de champs d'activité des entreprises virtuelles, il est difficile de trouver une architecture qui peut être qualifiée de référence. Une architecture générique comportant tous les concepts nécessaires pour modéliser et assurer les activités de cycle de vie, pourrait être un noyau pour une diversité d'EVs, c'est-à-dire, quelque soit le secteur d'activité étudié (industrie, commerce, etc.), le concepteur peut utiliser cette architecture comme référence pour développer une entreprise virtuelle en adaptant les concepts de base de cette architecture suivant les spécificité de ce secteur. Il est clair, que par activités, nous précisons celles qui sont effectuées quelque soit la nature de l'entreprise virtuelle à construire (ex : sélection des partenaires, négociation et établissement des contrats).

Les systèmes multi-agents sont devenus un paradigme dominant dans le domaine de développement des systèmes distribués complexes. L'importance des concepts de ce paradigme est due à son aptitude à la modélisation des connaissances et des systèmes complexes, distribués, coopératifs et intelligents. Ces aspects rendent intéressante l'adoption d'une approche multi-agents pour l'établissement des entreprises virtuelles.

Les mécanismes de coordination et de communication préconisés par l'approche agent fournissent des solutions satisfaisables et élégantes. L'idée est d'utiliser les concepts SMA pour assurer les différentes activités de cycle de vie de l'entreprise virtuelle et ainsi, adapter les solutions fournies pour résoudre les différents problèmes rencontrés durant l'établissement d'une entreprise virtuelle.

Dans ce chapitre, nous allons proposer une architecture générique basée-agent comportant tous les concepts nécessaires pour assurer le processus de cycle de vie d'une entreprise virtuelle. Nous commençons la description de notre approche par la motivation de choix de

cette approche. Ensuite, nous présentons la description de l'architecture proposée et les structures internes des différents agents, ainsi que leurs rôles dans l'entreprise virtuelle et nous proposons un modèle de négociation qui régit l'interaction inter-agent durant la phase de création de l'EV. Toutefois, nous essayons de couvrir la phase opération/évolution en proposant un agent gestionnaire de l'EV.

2. Objectifs et motivations

2.1 Objectifs de travail

La majorité des projets et travaux de recherche concernant le développement d'entreprises virtuelles, tels que NIIP [NIIP, 1996], PRODNET-II [Camarinha, 2002], MASSYVE [Rabelo, 2001], VEGA [VEGA, 1998] et autres, sont de nature empirique. Ils sont destinés au développement des standards et des architectures de référence d'EV pour des secteurs d'activité spécifiques, l'industrie par exemple. Il est difficile, voir impossible d'utiliser l'architecture adoptée par un projet donné dans un nouveau projet, si ce dernier vise un secteur d'activité différent.

Ce travail vise essentiellement, et après une présentation des différents concepts de base et des technologies employées au sein de l'EV, la proposition d'une architecture générique support à l'établissement d'une entreprise virtuelle, indépendamment de son secteur d'activité. L'architecture proposée est une architecture basée-agent, conçue pour supporter tout le processus de cycle de vie d'une entreprise virtuelle.

Nous avons établi le plan suivant pour l'élaboration de cette approche :

1. Identification des activités génériques, c'est-à-dire toutes les activités et tâches que n'importe quel processus de construction d'entreprise virtuelle devrait les exécuter pour réaliser ce but, et cela quelle que soit la nature de l'entreprise virtuelle (industrielle, de service, d'édition de logiciel, etc.). Les activités génériques les plus apparentes qu'un initiateur de l'entreprise virtuelle devrait accomplir sont :

- La recherche des partenaires potentiels et la sélection de ceux parmi ces partenaires qui peuvent lui offrir le plus de chance pour que son offre soit acceptée ;
- La négociation avec les partenaires sélectionnés afin d'arriver à une offre commune ;
- La mise en place d'une infrastructure de travail distribué ;
- La réalisation du projet.

2. Spécification de l'architecture, c'est-à-dire définition des concepts de base de l'architecture qui doivent assurer les activités recensées (l'environnement, les différents types d'agent et leurs structures)

3. Définition d'un modèle de négociation qui soit indépendant de tout domaine d'application particulier, et donc définir les mécanismes de négociation génériques, utilisables tant pour négocier les contrats de collaboration établis durant la sélection des partenaires, que pour le contrôle de l'opération de l'EV (résolution des conflits, reconfiguration de l'EV).

2.2 Motivations

L'orientation vers l'approche agent est motivée par les points suivants :

- La nature de l'entreprise virtuelle (ensemble d'entreprises autonomes, géographiquement dispersés et voulant coopérer pour réaliser un but commun) s'adapte bien à l'approche « systèmes multi-agent distribués », et par conséquent, le *mapping* entre entreprise virtuelle et SMA se fait de manière naturelle.

Malgré que l'approche multi-agent soit utilisée fréquemment par des projets d'EV dans le secteur de l'industrie, nous pensons que cette approche puissante pourrait bien s'adapter à n'importe quel type d'EV, plus ou moins, avec certaines adaptations des concepts de base.

- L'exécution efficace et la supervision des processus d'affaire distribués exigent des réactions rapides de la part des entreprises membres. Les réseaux sont les médias privilégiés pour la communication, de ce fait, le besoin que chaque entreprise possède un représentant dans le réseau surgisse. Cela peut être matérialisé à l'aide de la notion d'agent.

- L'introduction de ce paradigme dans l'environnement entreprise virtuelle permet de bénéficier des solutions apportées par les travaux de recherche dans le domaine de l'IA et de l'agent. Par exemple, la phase de création de l'EV dans laquelle il est nécessaire de sélectionner des partenaires et de distribuer des tâches, montre le besoin de certaines caractéristiques du marché et le besoin de négociation. Ces points ont été discutés profondément par des recherches concernant les SMAs.

- La propriété d'adaptabilité (*scalability*) des SMAs semble adéquate pour soutenir les EVs dynamiques dans lesquelles, différents niveaux de coopération avec des ensembles différents de partenaire pourraient être établis dans les différentes phases. D'autre part, l'entreprise virtuelle pourrait être vue comme un réseau d'entités autonomes.

- L'infrastructure SMA est un ensemble de services, de conventions et de connaissances supportant les interactions sociales complexes des agents. La coordination et la résolution des problèmes distribués sont des problèmes critiques à résoudre pour une entreprise virtuelle. Néanmoins, ils peuvent trouver des solutions acceptables dans une approche multi-agent. Chaque phase de cycle de vie d'une entreprise virtuelle exige l'achèvement de plusieurs activités différentes qui s'adaptent bien à l'approche SMA. Dans un SMA, les agents sont capables de coordonner en échangeant des services et des informations, de suivre des protocoles de négociation, de consentir des engagements et d'exécuter d'autres opérations sociales complexes.
- Une approche multi-agent fournit une bonne solution d'implémentation de l'EV, mais cela en tenant compte des questions sensibles qui doivent trouver des solutions satisfaisantes, à savoir : la coopération et la coordination, l'exécution de processus d'affaires distribué et le maintien de l'autonomie aussi bien que la confidentialité des entreprises.

3. Description de l'architecture proposée

L'architecture proposée dans ce travail est une architecture basée-agent, conçue pour supporter tout le processus de cycle de vie d'une entreprise virtuelle, c'est-à-dire, que l'architecture proposée est sensée contenir tous les concepts nécessaires pour assurer toutes les activités liées au processus de cycle de vie.

L'architecture exprime la structure fondamentale de l'EV à analyser et à concevoir. Elle définit l'ensemble de composants et de modules fonctionnels décrits en termes de leurs comportements et interfaces, ainsi que la façon d'interaction de ces composants afin d'accomplir correctement les buts de l'EV. Donc, une description architecturale est principalement requise pour la spécification de la structure du système.

Dans le contexte de notre étude, les composants fonctionnels correspondent aux différents agents constituant l'entreprise virtuelle et à leurs modules internes. Nous allons présenter dans les sections suivantes les spécifications des différents composants, ainsi que les concepts liés à leur fonctionnement.

4. Modélisation de l'entreprise virtuelle

Nous allons adopter une *architecture générique basée-broker*, dans laquelle les entreprises sont représentées par des agents autonomes, géographiquement distribués, et qui peuvent coopérer pour réaliser un but d'affaire commun. Les entreprises sont regroupés dans un *marché électronique* (e-market) unique. En addition aux agents d'entreprise, un agent *broker* (courtier) est introduit dans le système pour réagir en capturant les opportunités d'affaires présentes dans le marché, et procéder en conséquence à l'établissement des entreprises virtuelles correspondantes [Boukhelfa, 2004].

L'idée de modéliser l'entreprise virtuelle comme étant un système multi agent distribué, où chaque agent représente une entreprise individuelle membre de l'entreprise virtuelle est inspirée des travaux de *Fisher* [Fisher, 1996], de (*Camarinha & Afsarmanesh*) [Camarinha, 1999-2002], et de (*Rocha & Oliveira*) [Rocha, 1999]. Les mécanismes de coordination existant durant les différentes phases de cycle de vie de l'entreprise virtuelle étaient l'objet de plusieurs travaux de recherche. On peut citer ici, le travail d'*Oprea* [Oprea, 2002] concernant la coordination dans un SMA distribuer modélisant l'entreprise virtuelle, les travaux de *Petersen* [Petersen, 2001/2003] qui utilise des agents intelligents pour la modélisation et la sélection des partenaires dans une EV, et de *Florea* [Florea, 1998] qui présente un modèle SMA pour le support de processus d'affaire.

De point de vue organisationnel, l'EV est un regroupement d'entreprises individuelles, de fournisseurs et d'individus. Ces entités représentent les nœuds d'une infrastructure gérée par un coordinateur qui peut être, un nœud dédié ou simplement une entreprise membre de l'EV (Figure 3.1).

De point de vue conceptuel, l'ensemble des entreprises individuelles du marché électronique est modélisé en tant qu'un SMA. Chaque entreprise est représentée par un agent autonome, l'agent broker prend en charge le processus de création des entreprises virtuelles. Ce dernier est assisté durant son opération par un « agent gestionnaire du marché électronique ».

La figure 3.2 est une représentation d'un marché électronique dans lequel plusieurs entreprises virtuelles peuvent être créées par le broker qui présente l'interface entre les clients et le marché électronique. Le marché est géré par l'agent gestionnaire du marché électronique (e-Market Manager). A un instant donné, un agent d'entreprise peut

appartenir ou non à une ou plusieurs entreprises virtuelles. Un agent gestionnaire est associé à chaque EV créée. Une fois que l'EV est dissoute, l'agent gestionnaire de l'EV correspondant est automatiquement retiré.

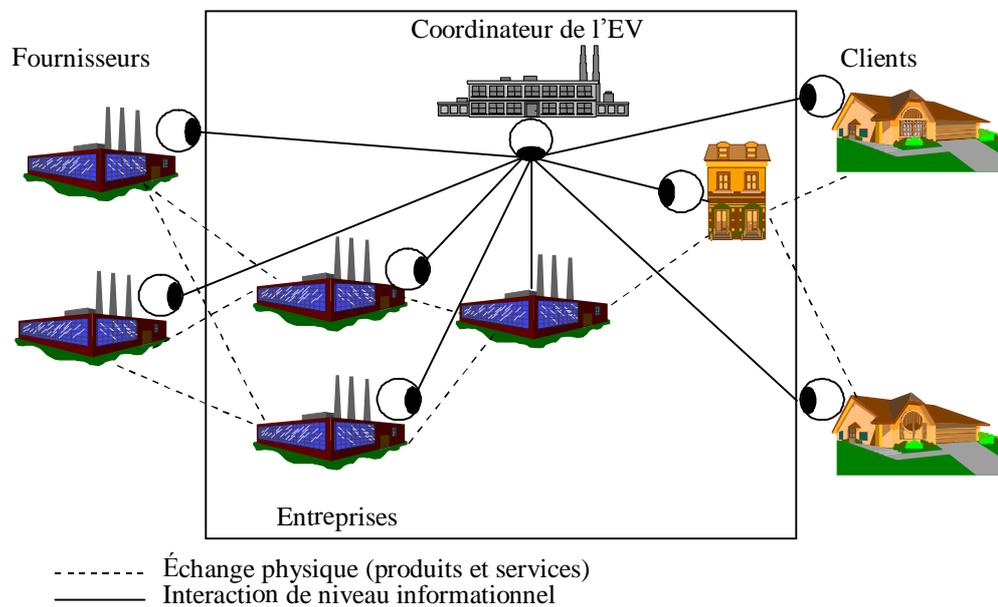


Figure 3.1 : Organisation de l'EV (adaptée de [Spinosa, 1998])

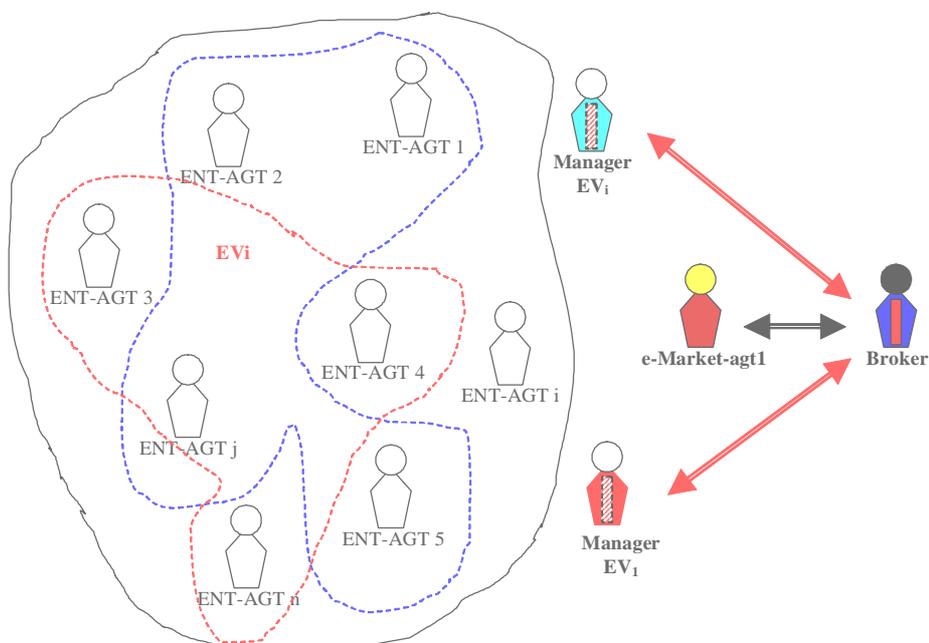


Figure 3.2 : l'entreprise virtuelle représentée par des agents

5. Structure des différents agents de l'EV

Nous décrivons dans ce qui suit en détail, les structures et les fonctionnalités des différents agents constituant l'EV. Ces agents sont [Boukhelfa, 2004] :

- **Le broker** : est l'agent créateur (l'initiateur) de l'EV ;
- **L'agent d'entreprise (AE)** : est un agent représentant de l'entreprise individuelle ;
- **Le gestionnaire du marché électronique (e-Market Manager)** : est l'agent responsable de l'enregistrement des membres du marché.
- **Le gestionnaire de l'EV (VE Manager)** : est un agent provisoire, associé par le courtier à l'EV créée.

5.1 Structure du l'agent gestionnaire du marché électronique

Pour rester attentives et agiles vis-à-vis les exigences économiques changeantes et croissantes, les entreprises sont forcées à réunir leurs compétences dans un réseau, caractérisé par une flexibilité et agilité très importantes.

Le marché électronique fournit une infrastructure support à la formation des entreprises virtuelles, en offrant aux différents participants la possibilité de coopérer pour réaliser un projet/affaire en commun.

Dans le contexte de cette étude, les participants dans le marché électronique sont des entreprises autonomes, géographiquement dispersées et qui veulent réunir leurs compétences et efforts pour saisir les opportunités qui se présentent sur le marché, et cela en formant des entreprises virtuelles en réponse aux exigences de ces opportunités.

Dans le marché électronique, un agent « gestionnaire du marché électronique » assiste l'agent le broker et assure les activités suivantes :

- Le maintien d'un registre de pages jaunes (Yellow-Pages), dans lequel sont inscrites les entreprises membres du marché (avec leurs profils). L'agent permet à une entreprise externe de s'inscrire comme membre de ce marché (en se conformant aux conditions imposées pour l'exploitation du marché) et il retire les entreprises qui veulent quitter ce marché (en enlevant du registre tous les produits et les services correspondant)
- Dans le marché électronique, une entreprise enregistre son profil qui comporte la liste des produits/services qu'elle offre, ainsi que ses capacités et compétences, afin de les

mettre à la disposition des clients. L'entreprise peut à tout moment modifier, ajouter ou effacer un service/produit offert.

- L'établissement des communications sociales avec les entreprises externes du marché, qui ont l'intention de rejoindre ce marché. L'agent les informe de la nature du marché et les conditions pour y entrer ;

- L'assistance de l'agent broker, durant le cycle de vie des entreprises virtuelles que ce dernier établit. L'agent « gestionnaire du marché électronique » fournit toutes les informations nécessaires, relatives aux entreprises candidates à être membres dans l'entreprise virtuelle que le broker compte la construire.

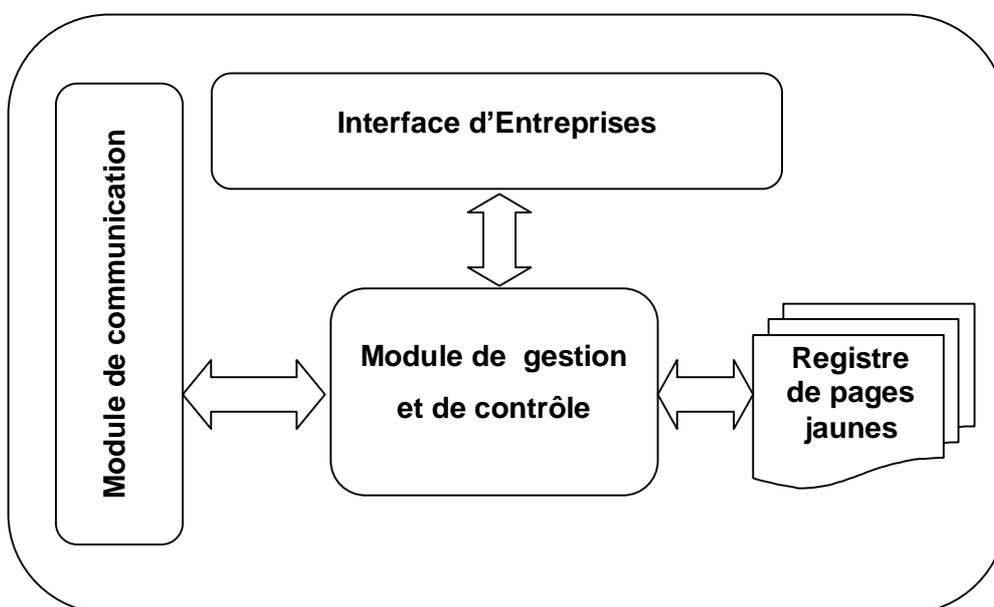


Figure 3.3 Structure de l'agent gestionnaire du marché électronique

La figure 3.3 illustre la structure de l'agent du marché électronique. Cette structure est composée des modules suivants :

- **Le module de communication** : contient tous les processus de prise en charge des messages provenant, soit de l'agent broker durant la phase création de l'EV ou bien d'un agent membre du marché et qui veut modifier son profil ou même d'un agent voulant quitter le marché électronique.
- **L'interface d'entreprises** : permet l'interaction avec les entreprises extra du marché voulant adhérer à ce dernier.

- **Le module de gestion et de contrôle** : gère toutes les opérations concernant l'enregistrement d'entreprises et l'interaction avec les autres agents d'entreprise et l'agent broker.
- **Le registre de pages jaunes** : contient la listes de toutes les entreprises membres du marché avec leurs profils (compétences et coordonnées). Ainsi, ce registre permet la correspondance entre les partenaires potentiels et leurs compétences durant la phase de création.

5.2 Structure de l'agent d'entreprise

L'agent d'entreprise est représenté par une structure comportant un module de communication, un module de planification et de coordination et un module d'exécution. L'agent d'entreprise possède une interface d'interaction avec l'utilisateur et deux autres modules de connaissances, qui sont : les connaissances individuelles et les connaissances de l'entreprise virtuelle (figure 3.4)

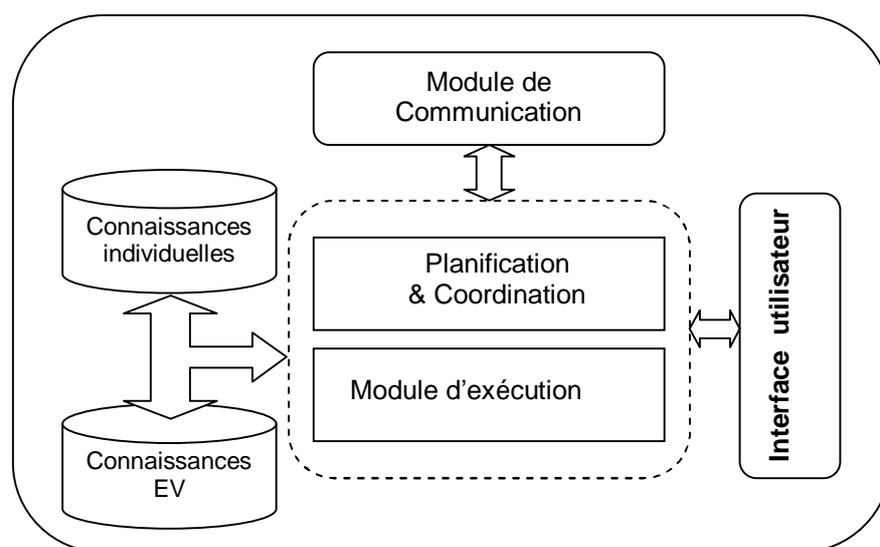


Figure 3.4: Structure d'un agent d'entreprise

- **Le module de communication** : contient tous les processus de prise en charge des messages, à savoir : la réception, le filtrage et la traduction des messages entrants et la formulation et l'envoi des messages sortants.
- **L'interface utilisateur** : permet l'interaction entre l'agent d'entreprise et l'agent humain (utilisateur). C'est une interface d'assistance pour l'agent humain, ce dernier à le rôle de décideur, que ce soit pour faire partie d'une entreprise virtuelle en acceptant les termes du

contrat établi avec le broker, ou bien pour les décisions concernant l'échange des informations confidentielles.

- **Le module de planification et de coordination** : c'est le module responsable de la gestion de la coopération et la formulation des offres pour répondre aux sous-but (les parties de la décomposition du but global) annoncés par l'agent broker, cela permet à l'agent d'entrer en compétition avec d'autres agents pour être sélectionné comme membre de l'entreprise virtuelle.

- **Le Module d'exécution** : à l'encontre de ce que Rocha [Rocha, 1999] a proposé, ce module ne contient pas les ressources de l'entreprise individuelle mais, il contient les informations sur les ressources internes de l'entreprise individuelle (application, usagers, sources de connaissances, etc.) qui permettent la réalisation des tâches locales assignées à cette entreprise. Ce module a le rôle de réaliser la correspondance entre le sous but (la tâche) assigné à l'agent et la ou les ressources internes de l'entreprise aptes à l'achèvement de ce but.

- **Le module "Connaissances de l'Entreprise Virtuelle"** : contient les informations concernant les règles organisationnelles et opérationnelles définies par l'EV (ex : à quel agent de l'entreprise virtuelle il doit remettre ses résultats), il comprend pour chaque entreprise virtuelle que cet agent fait partie d'elle, la liste des tous les agents membres. Ce module contient aussi des informations sur les droits et les obligations de l'entreprise individuelle.

- **Le module « connaissances individuelles »** : contient des informations sur l'agent lui-même : ses capacités et compétences, l'état et la charge de travail actuelle, c'est-à-dire, pour chaque compétence des indicateurs sont assignés pour déterminer la disponibilité et le coût de cette compétence.

La structure suivante est un exemple des informations sur l'état d'un agent d'entreprise (contenues dans le module 'connaissances individuelles'). La structure est décrite en XML dans la partie DTD (Document Type Definition).

```
<?XML version='1.0' encoding='UTF-8'?>
<!ELEMENT Agent_State (Goal+, Competence)>
<!ATTLIST Agent_State EAg_id CDATA #REQUIRED>
<!ELEMENT Goal(Goal_id, Comp_id, EV_id)*>
<!ELEMENT Goal_id (#PCDATA)>
<!ELEMENT Comp_id (#PCDATA)>
<!ELEMENT EV_id (#PCDATA)>
```

```

<!ELEMENT competence (Comp_id, Des, Price_h)+>
<!ELEMENT Comp_id (#PCDATA)>
<!ELEMENT Des (#PCDATA)>
<!ELEMENT Price_h (#PCDATA)>

```

La structure `Agent_State` : exprime l'état de l'agent d'entreprise. Elle représente des informations sur les buts de l'agent en question. Pour chaque but (Goal), elles sont indiquées, la compétence requise et l'entreprise virtuelle pour laquelle l'agent réalise ce but. L'ensemble des compétences que possède l'agent d'entreprise, ainsi que leurs disponibilités et coûts sont représentés dans cette structure.

5.3 Structure de l'agent broker

L'agent broker est l'initiateur de l'entreprise virtuelle. Son rôle est de rechercher et d'identifier l'opportunité d'affaire dans le marché, sélectionne les partenaires appropriés à cette opportunité et coordonne les activités dans l'entreprise virtuelle.

Le broker présente le point primaire du contact avec les clients de l'entreprise virtuelle. Une fois que le broker récupère la description du but global d'après les informations fournies par le client, il procède à la décomposition du but global en sous but (le processus global est transformé en un ensemble de processus partiels en utilisant des techniques de modélisation bien adaptées). Ensuite, l'agent broker alloue les sous buts aux agents qui peuvent potentiellement contribuer à leur réalisation.

Les différents composants de l'agent broker sont [Boukhelfa, 2004] (figure 3.5) :

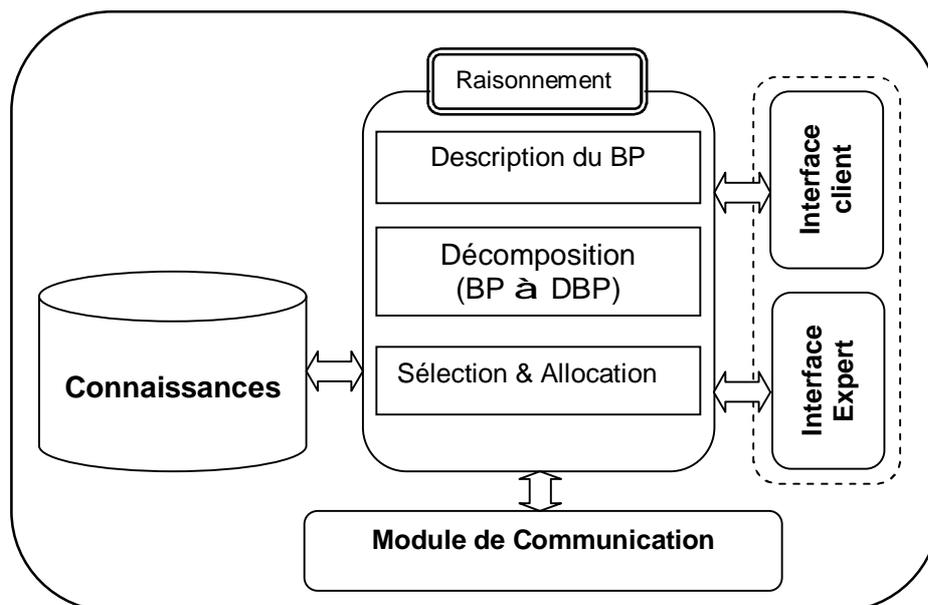


Figure 3.5: Structure de l'agent broker

- **Le module de communication** : Ce module prend en charge tout le processus de communication avec les agents du marché électronique, il permet la formulation des messages suivant le langage de communication adopté. Aussi, il tient le rôle de traducteur de messages reçus des différents agents durant la phase de création de l'entreprise virtuelle.
- **L'interface utilisateur** : Le broker fournit une interface graphique d'interaction avec le client et une autre avec le broker humain (l'expert). L'interface client peut contenir :
 - Une liste des produits/services offerts par le broker. Cette liste est construite à partir des profils des entreprises enregistrées dans le marché électronique et enrichie par les expériences du broker acquises durant son opération, c'est-à-dire, qu'une fois un produit est réalisé par une entreprise virtuelle, une trace sur ce produit est gardée, après la dissolution de l'entreprise virtuelle.
 - Des boîtes de dialogue, permettant à un client de commander un produit ne figurant pas sur la liste, ou de personnaliser un produit suivant ses besoins et vœux. Le client est assisté tout au long de la formulation de sa demande, pour rester ainsi dans l'ensemble des produits et services offerts dans le marché électronique.
 - L'interface avec l'expert (broker humain) permet la prise de décisions, que ce soit pour l'acceptation des offres de partenaires, ou bien durant la décomposition du but global.
- **Le module de Raisonnement** : contient les sous modules suivants.
 - **Module «Description du but global** » : Le courtier humain (l'expert) assisté par l'agent broker, récupère la commande du client et formule une description de cette commande comme étant le but global à atteindre, ou précisément le processus d'affaire.
 - **Module «Décomposition du but global** » : l'agent broker procède à la décomposition du but global décrit auparavant en s'appuyant sur une expertise humaine et/ou sur l'apprentissage à partir des cas déjà rencontrés (utilisation des connaissances acquises à partir des expériences passées).

Nous pensons que dans un environnement d'EV, où on vise essentiellement à satisfaire la clientèle en lui offrant la possibilité d'acquérir des produits personnalisés et sur commande, il est difficile de préconiser un module de décomposition automatisé fonctionnant sans l'intervention d'un expert. Cela nous a mené à proposer un module de décomposition travaillant en interaction avec un expert humain du domaine (en cas d'un

nouveau produit) et utilisant des connaissances acquises des expériences passées pour des produits similaires à d'autres déjà réalisés.

Pour la décomposition d'une tâche, il faut sans aucun doute prendre en compte quelques critères tels que le contrôle, les données et les ressources. Il est nécessaire de rendre les sous buts (tâches) aussi indépendants les uns des autres de manière à faciliter l'allocation des ces derniers aux partenaires correspondants et à diminuer considérablement la coordination et les communications entre eux.

Le processus de décomposition permet de déterminer l'ensemble des tâches indépendantes nécessaires pour la réalisation du produit ou service. Il fournit en conséquence la liste des compétences nécessaires pour achever cette tâche.

Une idée est que l'assemblage des réalisations des sous buts soit défini lui aussi en tant qu'un sous but. Il est assigné à l'un des partenaires de l'entreprise virtuelle. Cela permet d'éviter le problème qui marque souvent les SMAs, celui de construire la solution globale depuis les solutions partielles.

- **Module «*Sélection et Allocation*»** : Le rôle de ce module est de formuler des annonces correspondantes aux sous buts résultants de la décomposition.

L'agent gestionnaire du marché électronique maintient le registre de pages jaunes. Chaque entreprise (agent) membre du marché possède une entrée dans ce registre, cette entrée comprend la liste de toutes les compétences offertes par cette entreprise. Pour chaque sous but, le broker fait une première annonce afin de déterminer les agents potentiels, possédant les compétences requises par la réalisation de ce sous but, et les invite à prendre en charge ce sous but (annonces de sous buts)

Parmi les agents qui répondent aux annonces (les soumissionnaires), le broker choisit celui qui propose une meilleure offre, et après une négociation de contrat avec ce dernier et après qu'ils parviennent à un accord mutuel, le broker notifie cet agent pour l'achèvement de sous but en question.

- **Les connaissances** : les connaissances du broker sont de deux sortes :
 - Des connaissances acquises par apprentissage, c'est-à-dire des connaissances nouvelles que le broker acquit depuis des expériences passées avec des produits commandés, et qu'il garde des informations sur ces produits (la description, la décomposition, les agents membres de l'entreprise virtuelle correspondante, etc.)

- Des connaissances à priori, concernant son environnement (le marché électronique)

Considérons l'exemple suivant, dans lequel nous montrons brièvement le fonctionnement du broker : quand une demande de construction d'une « boîte de vitesse » est faite par un individu ou une entreprise cliente ; l'agent broker assisté par un expert humain procède à la décomposition du but global (la construction d'une boîte de vitesse) en un ensemble de sous-buts (des tâches indépendantes) et détermine les compétences nécessaires pour leur réalisation. L'agent broker lance un appel d'offres pour les différentes tâches, reçoit les offres des différents agents (entreprises) intéressés et après évaluation des offres et détermination des partenaires potentiels, il procède à la création de l'EV qui réunit les partenaires sélectionnés et qui sont probablement : une entreprise de construction ou fourniture de pignons, une deuxième pour les « carters » et une autre pour « les roulement », etc. La tâche d'assemblage fera elle aussi l'objet d'un appel d'offre. Elle sera assignée à une entreprise déjà sélectionnée pour une autre tâche, ou à une nouvelle entreprise, qui devrait rassembler tous les composants et réalise l'assemblage de la boîte de vitesse demandée.

5.4 Structure de l'agent gestionnaire de l'EV

L'agent gestionnaire de l'EV est un agent temporaire, chargé de réaliser le produit/service demandé par le client. Une fois le produit est réalisé, il transmet au broker toutes les connaissances nouvelles, acquises durant l'opération et procède à la dissolution de l'entreprise virtuelle. En cas de défaillance d'un ou plusieurs partenaires durant la phase opération de l'EV ou en cas d'un changement dans le but global (la demande du client), l'agent gestionnaire relance une phase nouvelle de reconfiguration/évolution pour recruter de nouveaux partenaires en échange de ceux qui sont défaillants ou en réponse aux nouvelles exigences.

L'agent gestionnaire de l'EV, prend en charge le traitement des événements inattendus qui peuvent surgir durant la phase opération. Des situations critiques peuvent surgir durant l'opération de l'EV quand un partenaire soit incapable d'honorer son contrat (satisfaire sa tâche individuelle), ou lorsque un partenaire veut changer certaines clauses du contrat qui deviennent contradictoires avec d'autres de ses obligations.

La structure de l'agent gestionnaire de l'EV comprend les modules suivants :

- **Le module de communication** : pareil aux modules de communication dans les agents d'entreprise et l'agent broker. L'agent gestionnaire de l'EV communique avec les agents d'entreprise concernant l'avancement d'exécution des tâches. Par exemple, un agent transmet son état au gestionnaire pour l'informer qu'il attend le résultat d'un autre agent pour achever sa tâche et qu'il faut lui signaler une fois que la tâche est prête.
- **L'interface utilisateur** : permet l'interaction entre l'agent gestionnaire de l'EV et l'opérateur humain appartenant à l'entreprise ayant le rôle de coordinateur. Elle sert par exemple à diffuser une information de coordination depuis le coordinateur à l'ensemble de partenaires de l'EV.
- **Module de contrôle et de planification** : ce module est chargé de prendre en charge toutes les activités en relation à l'exécution du DBP. Il gère aussi la liste des partenaires membre de l'EV et la planification et l'ordonnancement des tâches assignées à ces partenaires.

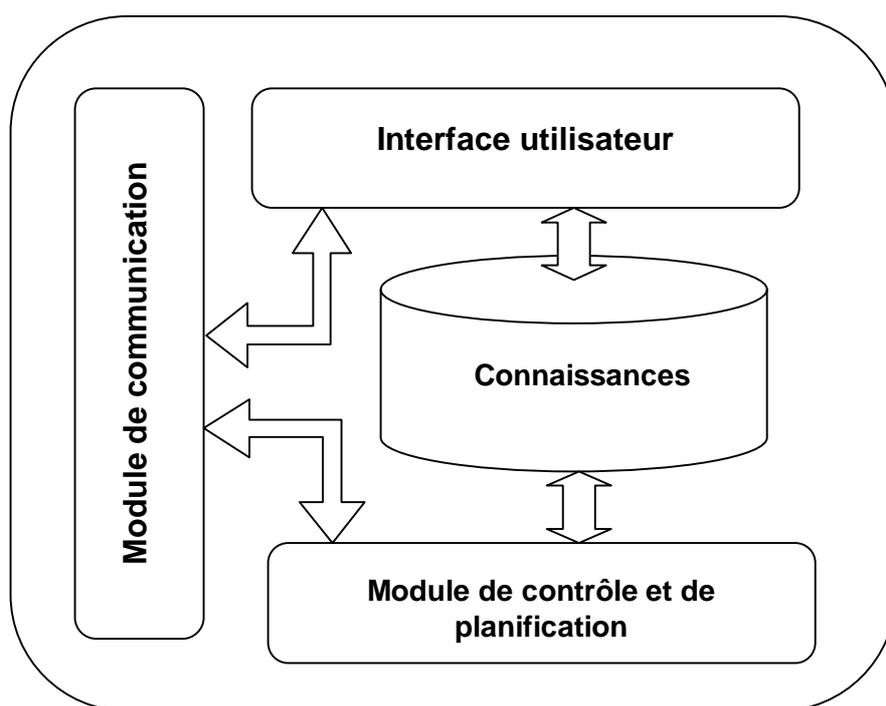


Figure 3.6: Structure de l'agent gestionnaire de l'EV

- **Les connaissances** : c'est une base de données comportant la liste des partenaires avec leurs tâches correspondantes. Cette liste sera modifiée à chaque fois qu'un partenaire quitte l'EV, ou la tâche d'un partenaire défaillant est réaffectée à un autre, etc. en plus les connaissances incluent toutes les informations concernant la planification dans l'EV, c'est-à-dire, le plan global transmis par le broker à l'agent gestionnaire, les règles de résolutions

des conflits entre agents d'entreprises et les contraintes à respecter pour la réalisation de chaque tâche.

6. Description fonctionnelle de l'architecture proposée

Dans la section précédente, nous avons présenté une description de l'architecture proposée pour l'EV. Dans cette section, nous allons aborder les exigences que l'architecture proposée devrait les prendre en compte pour assurer le bon fonctionnement de l'EV. Ces exigences sont :

- Le support de la coordination durant toutes les phases du cycle de vie ;
- Un mécanisme de négociation pour l'allocation des tâches ;
- Le support de la communication inter-agent.

6.1 La coordination dans l'entreprise virtuelle

La coordination dans l'EV est un processus dans lequel les agents s'engagent à assurer que les différentes phases de cycle de vie de l'EV soient effectuées d'une façon cohérente. Chaque agent possède son propre plan, intentions et connaissances, et prévoit de satisfaire ses propres buts locaux. Pour le but global du système, un mécanisme de coordination est nécessaire pour résoudre les conflits qui peuvent surgir, et pendant la composition de la solution globale à partir des solutions locales réalisées par les différents agents. De ce fait, il est nécessaire de définir des mécanismes et des techniques de coordination inter-agent, et cela dans toutes les phases de cycle de vie de EV.

6.1.1 La coordination durant la phase de création

Dans le marché électronique ou chaque entreprise membre est représentée par un agent qui agit selon un protocole bien défini, la création d'une entreprise virtuelle exige l'initiation de la compétition entre les différents agents qui envoient des offres en réponse aux annonces faites par l'agent broker, et cela pour être choisis comme partenaire dans l'entreprise virtuelle.

Le protocole Contract-Net (réseau contractuel) [FIPA, 1996] est la technique de coordination la plus employée pour l'allocation des tâches et l'assignation de ressource dans un groupe d'agents. Ce protocole a été adopté dans les spécifications FIPA comme un mécanisme de coordination de haut niveau. Une telle technique de coordination pourrait être appliquée à la coordination d'activités pendant la création et l'opération de l'EV. Aussi,

d'autres mécanismes d'appel d'offre comme le CNP étendu, des types de protocole de « vente aux enchères » [Vulkan, 2000] différents pourraient être appliqués.

De point de vue communication (coût de la communication), le CNP est meilleur que les protocoles de vente aux enchères. Un autre aspect important est la convergence de protocole de coordination. D'habitude, les SMA doivent être conçues avec un protocole de coordination qui garantit la convergence, cela évitera les comportements non stables et non évolutifs du système [Oprea, 2003].

Le protocole Contract-Net est bien adapté dans les environnements où les critères suivants sont rencontrés :

- (1) La tâche est de nature précise et hiérarchique.
- (2) La tâche peut être décomposée en des tâches secondaires (sous tâches).
- (3) Les tâches secondaires sont mutuellement indépendantes.

Dans le cadre de notre travail, nous allons adopter ce protocole pour le processus de sélection des partenaires et d'allocation des tâches à ces derniers durant la phase de création de l'entreprise virtuelle. Les agents coordonnent leurs activités grâce à l'établissement de contrats pour atteindre le but spécifié (but global).

L'agent broker –l'initiateur de l'EV dans cette approche- décompose le but global/contrat (le produit demandé par un client) en sous buts (sous contrats) qui pourront être traités par les agents d'entreprise contractants potentiels. Le broker annonce chaque sous-contrat sur le réseau d'agents dans le marché électronique. Les agents reçoivent et évaluent les annonces.

Les agents qui possèdent les compétences/ressources appropriées, l'expertise ou l'information requise envoient au broker leurs offres qui indiquent leurs capacités à réaliser la tâche annoncée. Le broker évalue les offres soumissionnées et s'il y a nécessité, il démarre le processus de négociation afin de trouver un arrangement avec le futur partenaire de l'EV. Ensuite le broker accorde les tâches aux agents les mieux appropriés. Ces agents sont appelés contractants.

Basé sur le protocole Contract-Net [FIPA, 1999], le protocole générique d'interaction des agents pendant la création de l'entreprise virtuelle est le suivant (figure 3.7) :

- (1) *Le broker (l'initiateur de l'EV) annonce la création de l'entreprise virtuelle et l'allocation des tâches, en faisant sortir une annonce ou un appel d'offres destiné aux participants intéressés dans le marché électronique. Pour chaque tâche à réaliser, le*

broker annonce une spécification qui comporte sa description, ainsi qu'une liste des exigences et contraintes relative à cette tâche ;

- (2) Les participants intéressés répondent à l'annonce en proposant des offres. Les offres sont évaluées par le broker selon des critères bien déterminé. Cette évaluation permet de déterminer les agents potentiels ;
- (3) Le broker se prépare à négocier avec les agents potentiels (ceux qui répondent aux exigences) pour trouver un arrangement selon les contraintes du client et du produits et ainsi, arriver au meilleur contrat possible ;
- (4) Finalement, après la négociation, et le rejet de quelques offres non intéressantes par le broker, certains partenaires potentiels deviendront des entrepreneurs (participants dans l'entreprise virtuelle) et avec un contrat signé qui doit être exécuté.

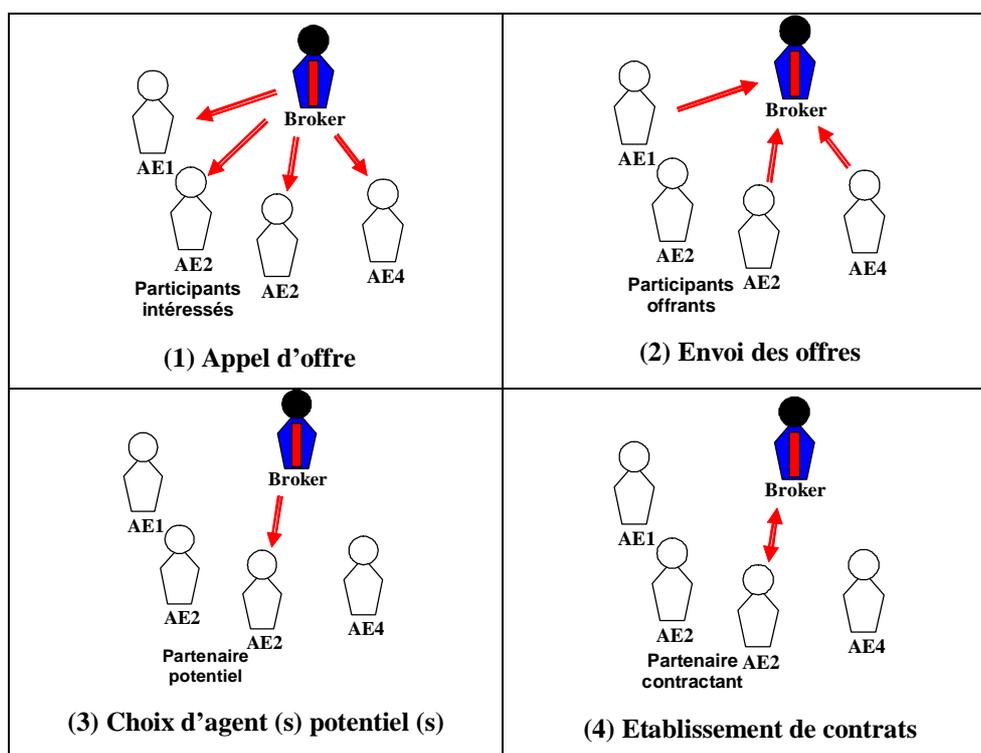


Figure 3.7: Initiation d'une entreprise virtuelle

6.1.2 La coordination durant la phase opération/évolution

Une fois que l'entreprise virtuelle est créée, la phase « opération » commence, c'est-à-dire, qu'après la décomposition de but global en sous buts et l'allocation de ces derniers aux partenaires appropriés de l'EV, chaque partenaire (agent) réalise la partie qui lui a été assignée. La composition des résultats individuels aboutit à la réalisation du but global.

Pendant la phase «opération», plusieurs événements inattendus peuvent surgir : un partenaire se trouve dans l'incapacité d'honorer son contrat (satisfaire sa tâche individuelle), à cause du manque de ressources par exemple ou un partenaire voulant changer certaines clauses du contrat qui deviennent contradictoires avec d'autres de ses obligations. Dans cette situation, le partenaire (l'agent) procède à un nouveau tour de négociation (re-négociation) pour modifier ses contrats ou bien terminer carrément son engagement. Dans ce cas, son remplacement devient nécessaire.

Pour couvrir la phase «opération/ évolution», nous proposons que l'agent broker, qui assume le rôle d'initiateur/créateur de l'entreprise virtuelle, lance pour chaque entreprise virtuelle créée, un agent « gestionnaire de l'EV » et lui confie le rôle de gestionnaire et superviseur durant la phase « opération ».

L'agent gestionnaire de l'EV assure la coordination au niveau inter-agent (inter-entreprise). Dans le contexte de cette étude nous n'aborderons pas l'aspect de coordination locale, et qui peut être différent d'une entreprise à une autre.

Une fois que le but global pour lequel l'EV a été créée est atteint, l'agent gestionnaire transmet les résultats à l'agent broker. Ce dernier procède à la dissolution de l'EV en retirant cet agent gestionnaire et en conservant toutes les informations acquise durant cette expérience.

6.2 La négociation dans l'entreprise virtuelle

La négociation joue un rôle fondamental dans les activités de coopération, permettant aux agents de résoudre des conflits qui pourraient mettre en péril des comportements coopératifs. La négociation est un processus qui permet d'améliorer et de raffiner les accords mutuels durant le processus de sélection des partenaires de l'entreprise virtuelle [Chaib-Draa, 2001].

Dans le contexte de notre étude, la négociation est établie entre l'agent broker et les agents d'entreprise potentiels (ceux qui répondent positivement à l'annonce du broker) pour parvenir à un contrat mutuel. Généralement, cette négociation porte sur les contraintes imposées par le client et concerne les délais, les coûts, etc.

Le processus de négociation est supporté par le module 'Sélection & Allocation' de l'agent broker. De la part de l'agent d'entreprise, le module 'Planification & Coordination' prend en charge le processus de négociation.

La figure 3.8 illustre le processus de négociation entre l'agent broker et un agent d'entreprise. Le module « Sélection et allocation » dans l'agent broker et le module « Planification & Coordination » dans l'agent d'entreprise prennent en charge la réalisation du processus de négociation.

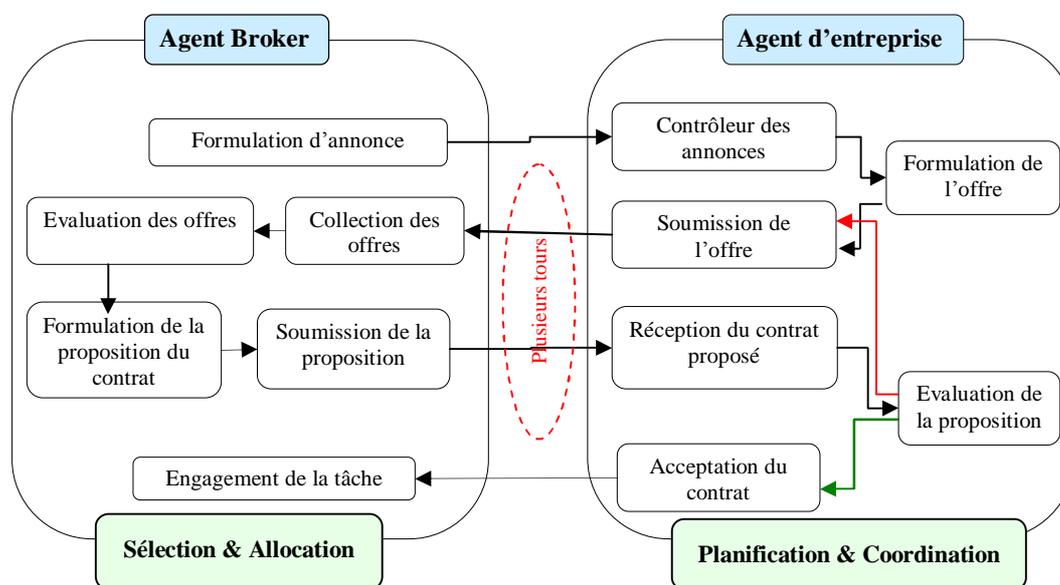


Figure 3.8 : Interaction entre broker et agent d'entreprise

L'agent broker collecte les offres soumises par les différents agents d'entreprise intéressés. Ensuite et après évaluation des offres (selon des critères prédéfinis), il envoie des propositions de contrat uniquement aux agents potentiels.

L'agent d'entreprise reçoit la proposition, l'évalue et si cette proposition est acceptée, il envoie au broker son accord pour s'engager à réaliser la tâche sujette du contrat. Dans le cas où une ou plusieurs clauses du contrat ne conviennent pas à l'agent d'entreprise (par exemple une clause contradictoire avec son propre plan, ou bien la clause comprend un rabais du coût, etc.), ce dernier propose une nouvelle offre comportant les modifications qui a pu les porter sur la première soumission et en prenant en compte les nouvelles propositions du broker. Le broker peut accepter cette offre en générant une proposition de contrat selon les modifications de l'agent d'entreprise, ou relançant une nouvelle tournée de négociation.

Ce processus de négociation comprend plusieurs tours, commençant quand l'agent broker envoie une annonce pour tous les agents enregistrés au marché électronique. La négociation finit quand un seuil limite est atteint ou une proposition satisfaisante est reçue.

a) *Formulation des annonces par le broker*

Le module '*description du but global*' inclut la description du but global à réaliser, récupérée après l'interaction du broker avec le client.

Le but est décomposé en un ensemble de sous-buts et chaque sous-but est décrit au moyen d'une valeur de coût, de délai de réalisation et aussi d'une liste d'attributs avec des valeurs d'utilité associées.

Les valeurs de ces attributs ne peuvent pas être des valeurs absolues mais elles peuvent être limités à un ensemble de valeurs préférables dans des domaines prédéterminés.

Rocha et al. [Rocha, 1999] présente une structure globale pour la description d'un sous but. Nous reprenons cette structure pour bien illustrer le déroulement du processus de négociation.

La structure suivante présente une description d'un sous but :

Sub_Goal = (SB_id, Delay, Price, List_Att)

SB_id : identificateur de sous but.

Delay : Délai (Date limite) pour la réalisation de sous but.

Price : Prix que le client désire payer pour la satisfaction de ce sous-but.

List_Att: Liste des attributs d'évaluation.

Chaque attribut de la liste a la structure suivante :

Att_i = (Att_id, Pref_Val, Dom, Util)

Att_id: identificateur de l'attribue.

Pref_Val: Valeur préférable de l'attribue.

Dom: Domaine des valeurs de l'attribue.

Util: valeur d'utilité attribuée (représente l'importance relative de l'attribut)

En XML, la structure suscitée est exprimée dans la DTD comme suit :

```
<?XML version='1.0' encoding=' UTF-8'?>
<!ELEMENT Sub_Goal (Delay, Price, List_Att)>
<!ATTLIST Sub_Goal SB_id CDATA #REQUIRED>
<!ELEMENT Delay (#PCDATA)>
<!ELEMENT Price (#PCDATA)>
<!ELEMENT List_Att (Attribut)*>
<!ELEMENT Attribut (Pref_Val, Dom, Util)>
<!ATTLIST Attribut Att_name CDATA #REQUIRED>
```

```

<!ELEMENT Pref_Val (#PCDATA)>
<!ELEMENT Dom (#PCDATA)>
<!ATTLIST Dom Val_min CDATA #REQUIRED>
                Val_max CDATA #REQUIRED>
<!ELEMENT Util (#PCDATA)>

```

Cette liste de propriétés qui décrit un sous but n'est pas exhaustive, on peut ajouter, supprimer ou modifier certaines de ces propriétés selon le cas étudié.

Cette description est transmise dans les annonces faites par le broker aux différents partenaires intéressés.

b) Formulation des offres par les agents d'entreprise

En réponse à l'annonce faite par le broker, l'agent d'entreprise formule une offre en se basant sur ses propres capacités (compétences) et sa disponibilité actuelle (décrit dans le module 'Connaissances Individuelles'). La proposition est envoyée à l'agent broker, et elle est représentée par la structure suivante, décrite en XML dans la DTD :

```

<?XML version='1.0' encoding=' UTF-8'?>
<!ELEMENT Offre (EAg_id, Goal_id, Delay, Price, List_Att)>
<!ATTLIST Offre offre_id CDATA #REQUIRED>
<!ELEMENT EAg_id (#PCDATA)>
<!ELEMENT Goal_id (#PCDATA)>
<!ELEMENT Delay (#PCDATA)>
<!ELEMENT Price (#PCDATA)>
<!ELEMENT List_Att (Attribut)* >
<!ELEMENT Attribut (Val) >
<!ATTLIST Attribut Att_name CDATA #REQUIRED>
<!ELEMENT Val (#PCDATA)>

```

c) Evaluation des offres et critères d'évaluation

Pour l'évaluation des offres, nous allons adopter le modèle proposé par Rocha et *al.* [Rocha, 1999]. Ce modèle met l'accent sur deux points importants :

- (1) L'emploi d'un mécanisme d'évaluation multicritères pour choisir les candidats les plus favorables ;
- (2) Les compétences de l'entreprise doivent être liées par des contraintes attachées à leurs valeurs d'attributs, cela génère une sorte de problème de contraintes distribuées.

Les problèmes de satisfaction de contraintes distribuées est défini par un ensemble de variables (x_1, x_2, \dots, x_n) qui peuvent prendre respectivement les valeurs dans les domaines D_1, D_2, \dots, D_n et un ensemble de contraintes sur leurs valeurs. Dans ce contexte, les variables sont distribuées entre les entreprises dans le marché électronique et les instanciations des variables devraient satisfaire ces contraintes.

La fonction multicritère utilisée pour évaluer un ensemble d'offres est la suivante :

$$Ev = \frac{1}{Deviation}$$

$$Deviation = \frac{1}{n} * \sum_{i=1}^n dif(Pref_Val_i, Val_i)^i$$

Où n = nombre de sous buts de l'EV.

$$dif(Pref_val_i, V_i) = \begin{cases} \frac{V_i - Pref_Val_i}{\max_i - \min_i} , & \text{domaine continu} \\ \frac{Pos(V_i) - Pos(Pref_Val_i)}{nvaleur} , & \text{domaine discret} \end{cases}$$

Dans la formule ci-dessus, la fonction $dif(Pref_Val_i, Val_i)$ détermine pour l'attribut i le degré d'acceptabilité de sa valeur actuelle (Val_i) comparativement à la valeur préférable ($Pref_Val_i$).

L'indice i dénote la préférence de l'attribut, c'est-à-dire que $i = 1$ pour l'attribut le plus préférable dans l'évaluation.

Les valeurs marquantes Pos sont définies en même temps avec le domaine des valeurs de l'attribut dans le module *Description de but global* de l'agent broker.

L'ensemble des offres gagnantes est celui qui présente, selon l'ordre de préférence :

- La valeur d'évaluation la plus basse. La solution inclut des valeurs d'attributs les plus proches des valeurs préférables ;
- Le coût le plus bas ;
- Le temps d'achèvement le plus court ;
- Le nombre le plus bas de partenaires distincts de l'EV. La complexité d'opération de l'EV augmente avec le nombre de partenaires distincts qu'ils la constituent.

Les entreprises qui ont envoyé des offres gagnantes seront informées qu'ils sont inclus et confirmés dans la nouvelle EV créée.

6.3 La communication dans l'entreprise virtuelle

Les agents doivent communiquer entre eux, aussi bien qu'avec les services de plate-forme ou de l'environnement. Plusieurs mécanismes de communication sont possibles : échange et envoi de messages, invocation des méthodes ou bien l'utilisation d'un blackboard. En conséquent, des langages de communication inter-agents standardisés devront être fournis.

Le langage KQML (Knowledge Query and Manipulation Language) [Ferber, 1997] a été proposé pour supporter la communication inter-agents. Ce langage définit un ensemble de types de messages (appelés performatifs) et des règles qui définissent les comportements suggérés pour les agents qui reçoivent ces messages. Ce langage a été développé de façon ad-hoc pour les besoins des développeurs d'agents logiciels.

Le langage ACL (Agent Communication Language) [FIPA, 1996], successeur de KQML, fournit une sémantique plus riche. Ce langage est fondé par la FIPA qui s'occupe de standardiser les communications entre agents. ACL est basé également sur la théorie des langages et se rapproche au niveau des actes du langage avec KQML, mais pas au niveau de la sémantique, qui a subi une nette amélioration dans ACL.

Dans notre approche, nous proposons le langage ACL pour formuler les messages échangés entre les différents agents de l'entreprise virtuelle.

6.3.1 Les messages échangés

FIPA fournit des 'performatifs' basés sur l'acte de discours et une syntaxe standard pour les messages. Ces messages sont basés sur la théorie d'acte de discours, qui est le résultat de l'analyse linguistique de la communication humaine [Ouzounis, 2002]. La base de cette théorie est de produire une action à partir du langage.

L'exemple dans la figure 3.9 présente la structure d'un message ACL :

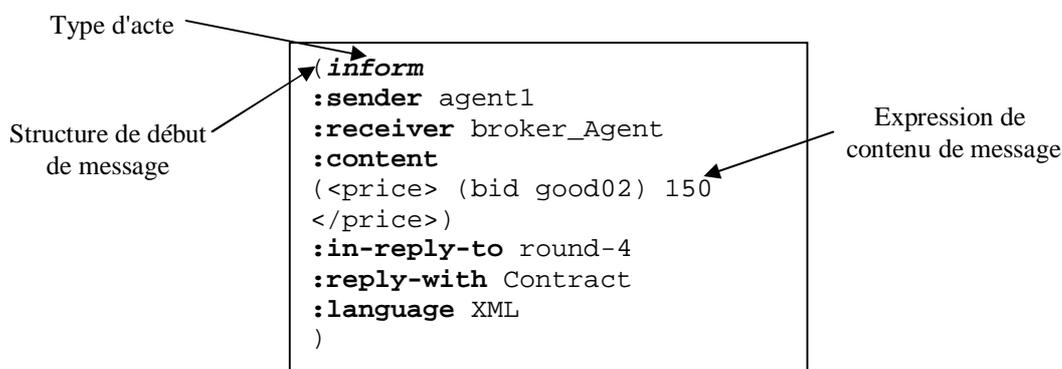


Figure 3.9 : Structure d'un message ACL

La signification sémantique des paramètres de message est la suivante [FIPA, 1999] :

Sender : Dénote l'identité de l'expéditeur du message ;

Receiver : Dénote l'identité du destinataire du message qui pourrait être le nom d'agent simple, ou un tuple de noms d'agent.

Content: Dénote le contenu du message;

Reply-with: Présente une expression qui sera employée par l'agent répondant à ce message pour identifier le message original.

In-reply-to: Dénote une expression qui fait référence à une action précédente à laquelle ce message répond.

Language: Dénote le codage du contenu de l'action.

Ontology: Dénote l'ontologie employée pour donner la signification (le sens) des symboles dans l'expression.

6.3.2 Le contenu des messages

Dans le langage FIPA-ACL, aucun langage spécifique pour la description des contenus des messages n'est imposé. Plusieurs langages peuvent être utilisés pour la description du contenu des messages échangés tels que :

- Le langage KIF (Knowledge Interchange Format) ;
- Le langage sémantique (SL) ;
- Prologue ;
- Le langage XML (Extensible Markup Language)

Nous allons employer le langage XML pour la description, la spécification et l'interprétation du contenu des messages (*Content*) échangés entre les différents agents. Donc, les messages échangés entre les agents sont décrits dans FIPA-ACL/XML.

Le contenu de messages envoyés par le broker au différents agents d'entreprise est la description du sous but (la tâche) annoncé. En conséquent, les messages envoyés par les différents agents au broker contiennent la description (en XML) de leurs offres.

L'utilisation d'XML pour le contenu des communications entre agents permet de représenter les messages échangés entre agent dans un navigateur WEB et de faciliter l'intégration avec les applications basées WEB existantes.

L'exemple suivant illustre l'interaction entre l'agent broker et un agent d'entreprise (i) durant la phase de création de l'EV.

L'agent broker annonce le sous but 'usinage cylindre', spécifié dans la partie « content du message » selon la structure décrite auparavant.

Le message FIPA-ACL pour l'annonce sera comme suite.

```
(request
:sender Broker-Agent
:receiver Enterprise-Agent(i)
:language XML
:content ( <Sub_Goal SB_id = 'usinage cylindre'>
  <Delay> 100 </Delay>
  <Price> 1000 </Price>
  <List_Att>
    <Attribut Att_name = 'Dimension'>
      <Pref_Val> 100 </Pref_Val>
      <Dom Val_min='80' Val_max='120' />
      <Util> 75 </Util>
    </Attribut>
    <Attribut Att_name = 'Materiau'>
      <Pref_Val> Acier75 </Pref_Val>
      <Dom Val_min='Acier65' Val_max='Acier80' />
      <Util> 25 </Util>
    </Attribut>
    <!-- ... etc. -->
  </List_Att>
</Sub_Goal>

:reply-with offre_cylindre_i
)
```

De son coté, l'agent d'entreprise (i) répond par soumissionner l'offre 'off_cyl_1'. La spécification de l'offre est dans la partie « content » du message envoyé à l'agent broker.

Les valeurs proposées pour les attributs de ce but (usinage cylindre) seront évaluées et comparées avec les valeurs proposées dans les soumissions d'autres agents d'entreprise.

Le message FIPA-ACL pour l'offre sera comme suit :

```
(offre_cylindre_i
:sender Enterprise-Agent(i)
:receiver Broker-Agent
:language XML
:content ( <Offre offre_id = 'off_cyl_1'>
  <EAg_id> Entreprise Agent (i) </EAg_id>
  <Goal_id> usinage cylindre </Goal_id>
  <Delay> 100 </Delay>
  <Price> 1050 </Price>
  <List_Att>
    <Attribut Att_name='Dimension'>
      <Val> 105 </Val>
    </Attribut>
    <Attribut Att_name='Materiau'>
```

```
        <Val> Acier75 </Val>
      </Attribut>
      <!-- ... etc. -->
    </List_Att>
  </Offre>
)
:reply-with inform )
```

7. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté une approche basée-agent pour l'entreprise. Ainsi, nous avons proposé une architecture générique pour l'établissement de l'EV, indépendamment de tout secteur d'activité. Cette architecture comporte les concepts nécessaires pour assurer et couvrir toutes les phases de cycle de vie de l'EV.

Les structures internes des différents agents sont illustrées, les mécanismes tels que la coordination et la communication sont discutés et un protocole basé sur le CNP pour régir l'interaction entre les agents d'entreprise et l'agent broker est proposé.

Néanmoins, une étude de cas est nécessaire pour l'évaluation des différentes idées dans un environnement réel. Cette étude de cas va permettre d'aborder la phase d'implémentation, que nous pensons qu'à ce stade d'étude, on ne peut parler d'implémentation que de point de vue simulation.

ÉTUDE DE CAS ET PERSPECTIVES D'IMPLÉMENTATION

1. Introduction

Dans le chapitre précédent de ce mémoire, nous avons proposé une architecture générique basée-agent pour l'établissement d'une entreprise virtuelle. Cette architecture est indépendante de tout secteur d'activité ou domaine d'application. Afin d'illustrer les idées et les concepts inclus dans l'architecture proposée, nous allons utiliser cette architecture comme base d'une étude de cas dans un environnement réel. Cette étude de cas va nous permettre de simuler le fonctionnement d'une EV basée sur l'approche agent.

Le but de cette étude de cas est de montrer l'adaptabilité de l'architecture générique basée-agent. Nous rappelons que l'architecture proposée permet de couvrir toutes les phases de cycle de vie de l'EV.

2. Etude de cas : Entreprise virtuelle pour la construction des logements (ENVICOL)

On va simuler la création d'une entreprise virtuelle dans le secteur de construction de logements, et que nous baptiserons (ENVICOL).

Dans cette étude de cas, nous allons aborder les problèmes de la coordination durant les phases de création, l'opération et l'évolution de l'EV.

2.1 Description de l'environnement de l'EV

L'EV est composée de plusieurs compagnies liées par des engagements afin de satisfaire les besoins de leurs clients. Nul de ces compagnies ne possède seul toutes les compétences nécessaires pour la réalisation de produits / services demandé par le client.

Dans le cadre de cette étude les entreprises individuelles sont regroupées dans un marché électronique unique, consacré aux affaires relatives à la construction civil (bâtiments, logements individuelles, etc.).

Chaque entreprise est enregistrée dans le registre maintenu par l'agent gestionnaire du marché électronique selon le profil suivant :

```
<!ELEMENT Ent_Profil (Ent_id, competence)>
<!ATTLIST Ent_Profil Name CDATA #REQUIRED>
<!ELEMENT Ent_id (#PCDATA)>
<!ELEMENT competence (Designation, Price_heur)+>
<!ATTLIST Competence Comp_id CDATA #REQUIRED>
<!ELEMENT Designation (#PCDATA)>
<!ELEMENT Price_heur (#PCDATA)>
```

Chaque entreprise est représentée par un agent d'entreprise. L'exemple suivant représente le profil d'un agent d'entreprise spécialisée dans les travaux de plomberie.

```
<Ent_Profil Name='Entreprise travaux de Plomberie'>
  <Ent_id> Ent_Plomb </Ent_id>
  <Competence Comp_id='Eau'>
    <Designation> installation_Eau </Designation>
    <Price_heur> 500 </Price_heur>
  </competence>
  <Competence Comp_id='Gaz'>
    <Designation> installation_Gaz </Designation>
    <Price_heur> 800 </Price_heur>
  </competence>
  <Competence Comp_id='chauffage'>
    <Designation> installation_chauffage
    </Designation>
    <Price_heur> 1000 </Price_heur>
  </competence>
</Ent_profil>
```

2.2 Etablissement de l'Entreprise virtuelle

L'agent broker est le point d'interaction entre le client et le marché électronique. Suite à la demande d'un client concernant la construction d'un logement individuel, le broker lance le processus de création de l'EV.

La demande du client concerne la construction d'une maison former de quatre (04) Pièces (dont la cuisine), avec tous les travaux de plomberie, d'électricité et de menuiserie.

Cette liste n'est exhaustive, les autres parties constituant la maison seront traitées d'une façon similaire.

a) Description du but global (BP)

La demande de client va être transformée en but global dans le module description du BP (but global) et formuler comme suit :

Maison (Bâtisse, Plomberie, Electricité, Menuiserie)

Bâtisse : représente les fondements, les murs et la toiture.

Plomberie : toutes les installations, chauffage, gaz et d'eau.

Electricité : l'installation électrique.

Menuiserie : Portes, fenêtres.

La structure du but global sera décrite en XML comme suit (dans la DTD) :

```
<!ELEMENT Maison (Batisse, Plomberie, Electricite, Menuiserie)>
<!ATTLIST Maison maison_id CDATA #REQUIRED>
<!ELEMENT Batisse (#PCDATA)>
<!ELEMENT Plomberie (#PCDATA)>
<!ELEMENT Electricite (#PCDATA)>
<!ELEMENT Menuiserie (#PCDATA)>
```

La demande du client (le but global) est la suivante :

```
<?XML version='1.0' encoding='UTF-8'?>
<Maison Maison_id='Villa'>
  <Batisse> F4 </Batisse>
  <Plomberie> Eau_Gaz_Chauffage </Plomberie>
  <Electricite> installation_electrique </Electricite>
  <Menuiserie> Portes_Fenetres </Menuiserie>
</Maison>
```

b) Décomposition du but global (BP à DBP)

La description suscitée est transmise au module 'décomposition du but global'. Ce dernier assisté par un expert humain et en utilisant ses expériences passées procède à décomposition du but global en un ensemble de sous but (BP à DBP) qui sont:

1. Le sous but : Bâtisse (type F4)

Les attributs de ce but (par ordre de priorité) sont :

- Superficie préférable = 150 m²
- Hauteur préférable = 4 m
- Date de début des travaux : 01-03-2005
- Date limite des travaux : 01-06-2005

2. Le sous but : Plomberie (Eau_Gaz_Chauffage)

- Dimension
- Matière
- Date de début des travaux : 01-04-2005
- Date limite des travaux : 01-07-2005

3. Le sous but : Electricité (installation_simple)

- Dimension
- Matière
- Date de début des travaux : 01-02-2005
- Date limite des travaux : 01-08-2005

4. Le sous but : Menuiserie (Portes_et_fenêtres)

- Nombre de portes : 05
- Nombre de fenêtres : 03
- Date de début des travaux : 01-02-2005
- Date limite des travaux : 01-08-2005

La syntaxe de la DTD pour décrire le sous-but « Bâtisse » est la suivante :

```

<?XML version='1.0' encoding='UTF-8'?>
<!ELEMENT Sub_Goal (Delay, start_date, Price, List_Att)>
<!ATTLIST Sub_Goal SB_id CDATA #REQUIRED>
<!ELEMENT Delay (#PCDATA)>
<!ELEMENT start_day (#PCDATA)>
<!ELEMENT Price (#PCDATA)>
<!ELEMENT List_Att (Attribut)*>
<!ELEMENT Attribut (Pref_Val, Dom, Util)>
<!ATTLIST Attribut Att_name CDATA #REQUIRED>
<!ELEMENT Pref_Val (#PCDATA)>
<!ELEMENT Dom (#PCDATA)>
<!ATTLIST Dom Val_min CDATA #REQUIRED>
                Val_max CDATA #REQUIRED>
<!ELEMENT Util (#PCDATA)>

```

c) Sélection des partenaires et allocation des tâches

(1) *Formulation des annonces* : A ce point, l'agent broker, à travers le module 'sélection & allocation' procède à l'annonce de ces sous-buts aux différents agents d'entreprise, il envoie donc un message FIPA-ACL, le message ACL suivant représente une annonce pour le sous-but 'bâtisse' :

```

(cfp
:sender Broker-Agent
:receiver Enterprise-Agent1,...
:language XML
:protocol Fipa-contract-net
:content ( <Sub_Goal SB_id = 'bâtisse_F4'>
            <Delay> 90 </Delay> <!-- 03 mois de délai-->
            <start_day> 01032005 </start_day>
            <Price> 500000 </Price>
            <List_Att>
                <Attribut Att_name = 'superficie'>
                    <Pref_Val> 150 </Pref_Val>
                    <Dom Val_min='140' Val_max='160' />
                    <Util> 75 </Util>
                </Attribut>
                <Attribut Att_name = 'hauteur'>
                    <Pref_Val> 4 </Pref_Val>
                    <Dom Val_min='3.25' Val_max='4.5' />
                    <Util> 25 </Util>
                </Attribut>
                <!-- ... etc. -->
            </List_Att>
        </Sub_Goal>
:reply-with offre_bâtisse
)

```

Les autres sous buts seront traités d'une façon similaire par l'agent broker.

(2) *Collection des offres* : Supposant que parmi les agents d'entreprise du marché électronique, seuls trois d'entre eux répondent à cette annonce :

```
(offre_batisse
:sender Enterprise-Agent_1
:receiver Broker-Agent
:language XML
:protocol Fipa-contract-net
:content ( <Offre offre_id ='off_batisse' >
      <EAg_id> Entreprise Agent_1 </EAg_id>
      <Goal_id> batisse_F4 </Goal_id>
      <Delay> 90 </Delay>
      <start_day> 01032005 </start_day>
      <Price> 500000 </Price>
      <List_Att>
        <Attribut Att_name='superficie' >
          <Val> 145 </Val>
        </Attribut>
        <Attribut Att_name='hauteur' >
          <Val> 4.5 </Val>
        </Attribut>
      </List_Att>
    </Offre>
  )
:reply-with inform
)
```

L'offre de l'agent d'entreprise 2 est la suivante :

```
(offre_batisse
:sender Enterprise-Agent_2
:receiver Broker-Agent
:language XML
:protocol Fipa-contract-net
:content ( <Offre offre_id ='off_batisse' >
      <EAg_id> Entreprise Agent_2 </EAg_id>
      <Goal_id> batisse_F4 </Goal_id>
      <Delay> 90 </Delay>
      <start_day> 01032005 </start_day>
      <Price> 500000 </Price>
      <List_Att>
        <Attribut Att_name='superficie' >
          <Val> 148 </Val>
        </Attribut>
        <Attribut Att_name='hauteur' >
          <Val> 4 </Val>
        </Attribut>
      </List_Att>
    </Offre>
  )
:reply-with inform
)
```

L'offre de l'agent d'entreprise 3 est la suivante :

```
(offre_batisse
:sender Enterprise-Agent_3
:receiver Broker-Agent
:language XML
:protocol Fipa-contract-net
:content ( <Offre offre_id ='off_batisse'>
          <EAg_id> Entreprise Agent_3 </Eag_id>
          <Goal_id> batisse_F4 </Goal_id>
          <Delay> 90 </Delay>
          <start_day> 01032005 </start_day>
          <Price> 500000 </Price>
          <List_Att>
            <Attribut Att_name='superficie'>
              <Val> 155 </Val>
            </Attribut>
            <Attribut Att_name='hauteur'>
              <Val> 3.5 </Val>
            </Attribut>
          </List_Att>
        </Offre>
      )
:reply-with inform
)
```

(3) *Evaluation des offres* : L'agent broker collecte toutes les offres des agents d'entreprise, procède à l'évaluation des ces offres et détermine l'offre gagnante. Nous pouvons appliquer ici la fonction d'évaluation mentionnée dans le chapitre précédent, et cela pour chaque offre, selon le tableau suivant :

$$Ev = \frac{1}{Deviation}$$

$$Deviation = \frac{1}{n} * \sum_{i=1}^n dif (Pr ef _ Val_i , Val_i)^i$$

Attributs	valeur préférable	max -min	agent-1	agent-2	agent-3
superficie	150	20	145	148	155
hauteur	4	1.25	4.5	4	3.5
Déviati			- 0.09	-0.05	0.16
Valeur d'évaluation			-10.67	-20.00	6.40

Tableau 4. 1 : évaluation des offres pour trois agents

Dans cette situation, et pour ces deux attributs, on constate que la meilleure offre est celle de l'agent 2 (la valeur d'évaluation la plus basse).

La liste d'attribut peut contenir d'autres tels que le coût, le temps d'achèvement, etc. il seront simplement inclus dans le calcul de la valeur d'évaluation.

Le tableau suivant présente une autre variante pour les valeurs des offres et les valeurs de préférence. Cet exemple va expliquer l'idée de lier les attributs à la puissance i .

Attributs	valeur préférable	max -min	agent-1	agent-2	agent-3
superficie	150	20	145	148	149
Hauteur	4	1.25	4.5	3.8	4
Déviation			-0.47	- 0.20	- 0.10
Valeur d'évaluation			-2.13	-5.13	-10.00

Tableau 4. 2 : préférence des attributs

On constate que la superficie est préférable que la hauteur et que pour une valeur de superficie proche de la valeur préférée, l'offre de l'agent 3 va être l'offre gagnante dans cette situation.

(4) **Etablissement des contrats** : Pour chaque annonce, l'agent broker évalue les différentes offres, détermine l'offre gagnante et ensuite, il envoi une première version du contrat à l'agent sélectionné, avec des modifications probables. Si ce dernier accepte cet version du contrat il sera engagé, sinon, une nouvelle tournée de négociation de contrat sera lancée.

La figure suivante illustre le processus de négociation de contrat entre l'agent broker et l'agent d'entreprise (3) pour l'engagent à la réalisation du sous but « bâtisse ».

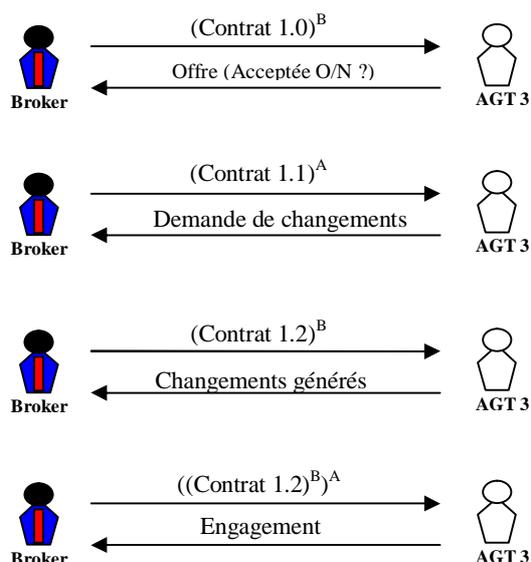


Figure 4. 1 : Processus de négociation des contrats

Les clauses négociées du contrat peuvent être le coût, le changement d'une proposition initial de l'agent d'entreprise, etc.

Par exemple l'agent broker peut demander à l'agent (3) de réaliser la bâtisse avec un hauteur de (4 m) au lieu de (3.5 m) proposé par l'agent (3), et cela toute en restant conforme au prix requis par le client. L'agent (3) accepte avec une augmentation de prix (500.000 DA à 505.000 DA). L'agent broker et l'agent (3) peuvent trouver un arrangement sur un prix de (502.000 DA) par exemple, et ainsi, l'agent broker notifié l'agent (3) à réaliser le sous but « bâtisse ».

3. Perspectives d'implémentation

De point de vue de mise en œuvre, nous envisageons l'utilisation d'une plate-forme multi-agent pour implémenter les différents agents et concepts. Le choix d'une telle plate-forme est basé sur plusieurs critères comme :

- La nature des agents ;
- Le type de communications employées ;
- Le protocole d'interaction ;
- Les mécanismes de sécurité ;
- Le degré de standardisation dans cette plateforme.

Cette plate-forme va nous permettre dans la première étape d'implémentation de simuler l'interaction entre l'agent broker et les agents d'entreprise durant la phase de création.

Dans la deuxième étape, vient la programmation des différents agents, et ainsi l'implémentation de l'EV pour le cas étudié.

Plusieurs plates-formes sont fournies comme logiciels libres. Elles ont été utilisées dans le développement de plusieurs applications. Parmi elles on peut mentionner : JADE [JADE, 2002], ZEUS [ZEUS, 1999] et MADKIT [MADKIT, 2003] pour les agents cognitifs, et SWARM [SWARMS, 1996] pour les agents réactifs. Il faut noter que cette liste n'est pas unique, et qu'il y a aussi d'autres plates-formes qui ont été utilisées avec beaucoup de succès pour bâtir diverses applications.

L'environnement JADE a été développé conformément aux standards et spécifications de FIPA, ce que rend cet environnement intéressant.

3.1 La plate-forme JADE

JADE (Java Agent Development Framework) est une plate-forme multi-agents développée en Java par CSELT (Groupe de recherche de Gruppo Telecom, Italie), il fournit un environnement de développement et d'exécution des systèmes multi-agents compatibles avec les standards FIPA [JADE, 2002]. JADE comprend deux composantes de base : la plate-forme d'agents compatible FIPA et un package logiciel pour le développement des agents dans Java. Il fournit les facilités suivantes :

Une plate-forme agent distribuée : la plate-forme peut être distribuée (partagée) entre plusieurs hôtes (hosts) connectés via RMI de Java, de telle façon qu'une seule application Java, et par conséquent une seule « Machine Virtuelle Java » est exécutée sur chaque hôte.

Un certain nombre de DF (Facilitateurs d'Annuaire) compatibles FIPA : qui peuvent être activés quand on lance la plate-forme pour exécuter les applications multi-domaines.

Une interface utilisateur graphique (GUI) : pour gérer plusieurs agents et conteneurs d'agents d'un hôte éloigné.

Outils de Déboguage : pour faciliter la mise au point d'applications.

Un support d'exécution : pour les activités multiples, parallèles et concourantes des agents via le modèle de comportement (behaviour)

Un transport efficace des messages ACL : à l'intérieur de la même plate-forme. Cette conversion est transparente aux programmeurs intéressés uniquement aux objets Java.

Une bibliothèque de protocoles : compatibles aux standards FIPA et prêts à être employés pour régir l'interaction inter-agent.

3.2 Utilisation du JADE pour le développement de l'entreprise virtuelle

JADE utilise l'abstraction de comportement pour modéliser les tâches qu'un agent peut exécuter et les agentsinstancient leurs comportements selon leurs besoins et leurs capacités.

De point de vue de la programmation concurrente, un agent est un objet actif, ayant un thread de contrôle. JADE utilise un modèle de programmation concurrente « un thread-par-agent » au lieu de modèle « un thread-par-comportement » pour éviter une augmentation du nombre de threads d'exécution exigés sur la plate-forme d'agents. Ceci signifie que,

pendant que les agents différents s'exécutent dans un environnement multi-threads préemptive, deux comportements d'un même agent sont planifiés d'une façon coopérative.

Du point de vue implantation, un agent dans JADE est une instance de la classe Java définie par le programmeur. Cette classe elle-même est une extension de la classe Agent de base (incluse dans `jade.core`). Cela implique l'héritage de l'ensemble de méthodes de base pour implémenter le comportement personnalisé de l'agent. L'implémentation d'un agent est multitâche, où les tâches (appelées comportements) sont exécutées en concurrence. Chaque fonctionnalité fournie par un agent doit être implémentée en un ou plusieurs comportements.

La figure 4.2 présente le code Java, pour la définition de la classe `Broker` et la classe `EntrepriseAgent`. Cela est fait par l'extension de la classe de base `Agent` définie dans JADE.

```
public class Broker extends Agent {
    protected void setup() {
        addBehaviour(new SimpleBehaviour(this) {

            // Traitement ...

        })
    }
}

public class EntrepriseAgent extends Agent {
    class recevoir extends SimpleBehaviour {

        //Traitement ...

    }
    public recevoir(Agent a)
    {
        super(a);
    }
    protected void setup() {
        recevoir mybehaviour = new
recevoir(this);
        addBehaviour(mybehaviour);
    }
}}
```

Figure 4. 2 : Extension de la classe Agent

Dans notre contexte, les agents d'entreprise sont exécutés dans des environnements (hôtes) différents. Chaque hôte inclut un ou plusieurs containers. On suppose que l'agent broker et l'agent gestionnaire du marché électronique sont exécutés dans un même hôte. Les hôtes sont interconnectés dans une infrastructure internet/intranet.

3.3 Implémentation de l'EV dans JADE

La figure 4.3 représente une implémentation de entreprise virtuelle en JADE, où chaque agent d'entreprise est lancé dans un hôte séparé et dans un container propre. Cette façon de représentation va nous permettre de réaliser la simulation même sur une seule machine.

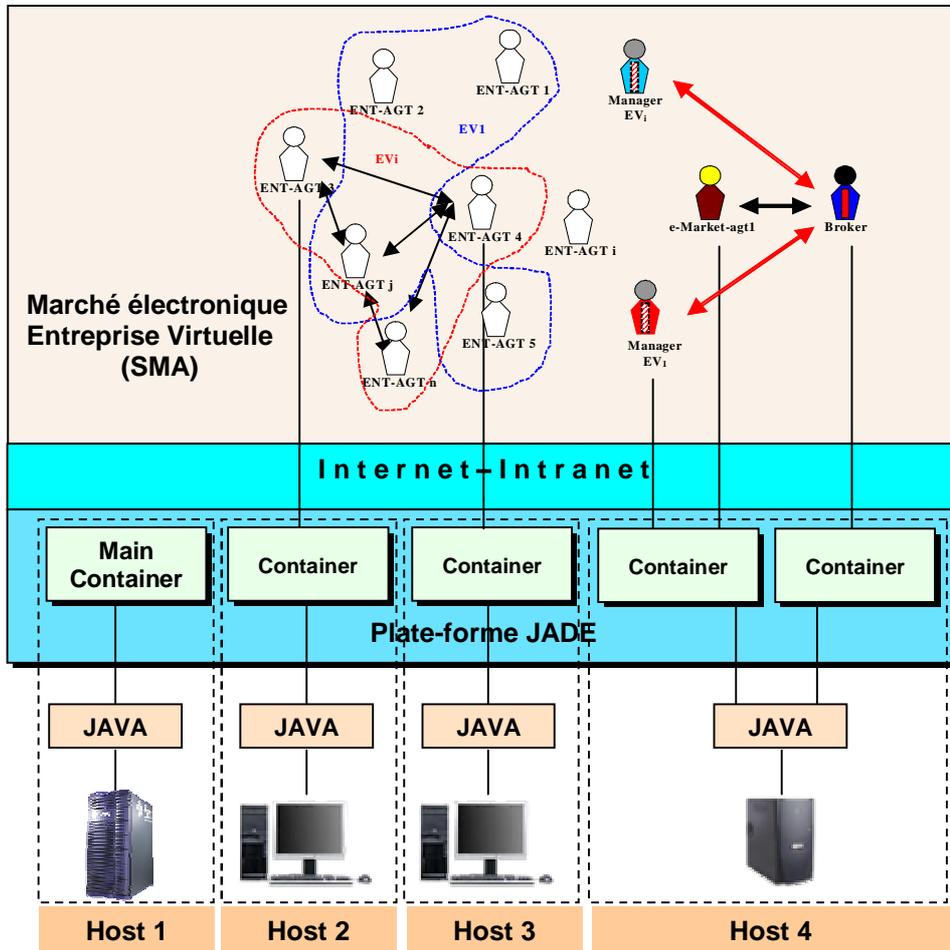


Figure 4. 3 : Implémentation de l'EV dans JADE

3.4 Simulation de l'interaction entre agents d'entreprise et broker

Nous allons maintenant simuler l'interaction entre l'agent broker et les agents d'entreprise durant la phase de création de l'entreprise virtuelle. L'interaction est basée sur l'envoi de messages ACL entre les agents.

La configuration suivante permet de simuler le lancement de l'environnement JADE sur plusieurs infrastructures indépendantes (figure 4.4).

Lancement de l'environnement graphique de JADE :

```
C:\jade>java jade.Boot -gui
```

Cette interface comporte initialement, un container (Main-Container) incluant trois agents spécifiques (conforme aux spécifications FIPA) :

- Agent Management System (AMS) : Agent permettant aux usagers de contrôler et de surveiller les agents de la plate-forme. Seulement un AMS existera dans une plate-forme simple.
- Directory Facilitator (DF) : Agent fournisseur de service de page jaune défini par défaut dans la plate-forme JADE.
- Agent Communication Channel (ACC) : Composant logiciel contrôlant tous les échanges de messages dans la plate-forme, ainsi que les messages des plates-formes éloignées.

Lancement de l'agent broker dans la plate-forme JADE:

```
C:\jade>java jade.Boot -host pckam -container broker:Broker
```

Lancement des agents d'entreprise dans des containers séparés :

```
>java jade.Boot -host pckam -container Ent_Ag1 :EntrepriseAgent
>java jade.Boot -host pckam -container Ent_Ag2 :EntrepriseAgent
>java jade.Boot -host pckam -container Ent_Ag3 :EntrepriseAgent
```

broker : est une instance de la classe Broker

Ent_Ag1, Ent_Ag2 et Ent_Ag3 : des instances de la classe EntrepriseAgent.

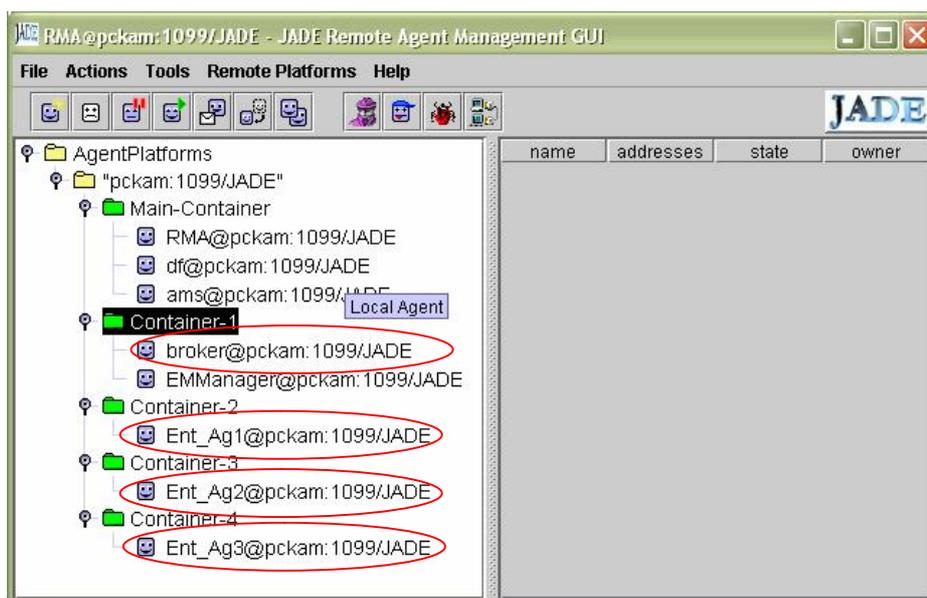


Figure 4. 4 : Environnement simulé pour une EV

JADE fournit des agents pour l'affichage de des messages transmises entre agents. On va utiliser cet agent (*sniffer*) pour représenter les messages échangés entre l'agent broker et les différents agents d'entreprise.

Les messages ACL échangés sont représentés sous la forme suivante :

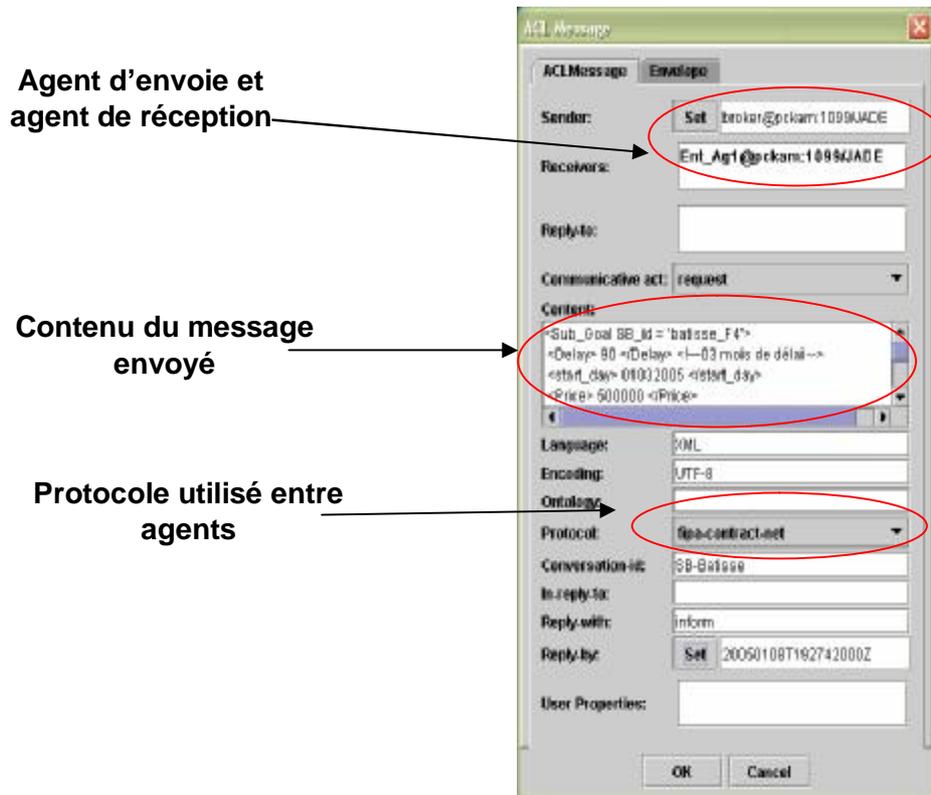


Figure 4.5 : Message ACL dans JADE

La figure 4.6 présente l'interaction entre l'agent broker et les différents agents d'entreprise durant la phase de création. Le broker envoie un appel d'offres (CFP) aux agents.

L'agent EAg2 refuse de faire partie de l'entreprise virtuelle à créer, tandis que, les agents EAg1, EAg3 et EAg4 répondent chacun par une proposition (PROPOSE) d'offre pour le sous but annoncé.

Le broker évalue les différentes offres et rejette celles des agents EAg1 et EAg3 (REJECT-PROPOSAL) et accepte celle de l'agent EAg4 (ACCEPT-PROPOSAL).

Le code Java pour envoyer un message d'un agent vers un Agent_receveur dans JADE est le suivant :

```
//...
ACLMessage msg = new ACLMessage(ACLMessage.INFORM);
msg.addReceiver(new AID(Agent_receveur));
send(msg);
//...
```

Le code Java pour la réception d'un message est :

```
//...
ACLMessage msg = receive();
if (msg != null) {
// Traitement du message
}
//...
```

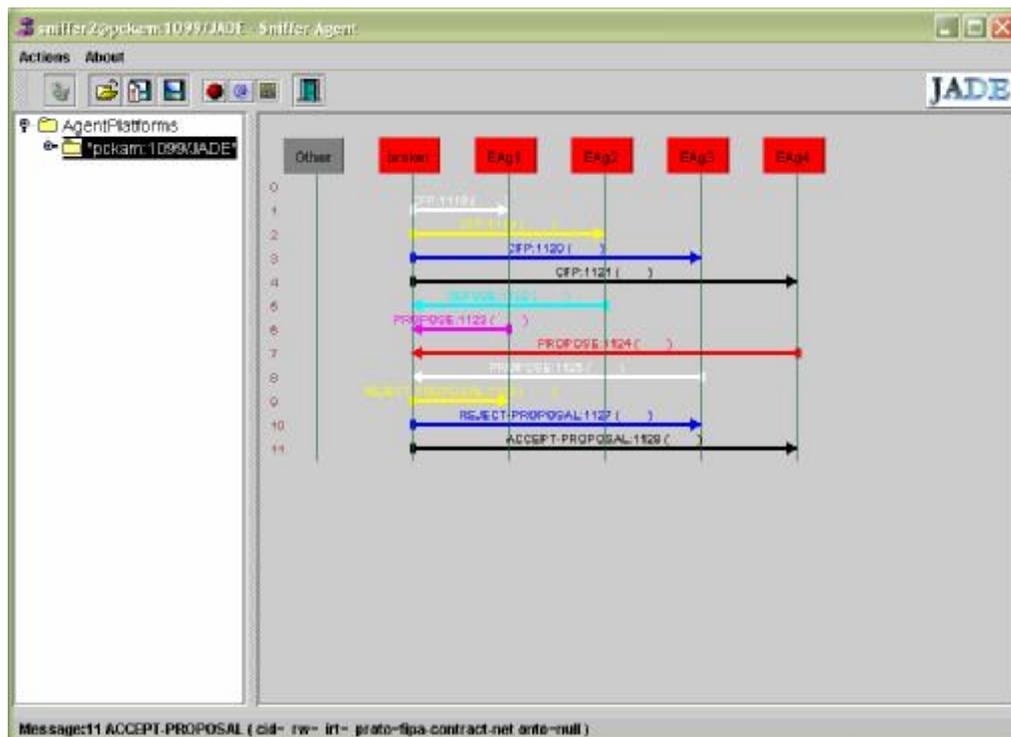


Figure 4. 6 : simulation du protocole d'interaction (simple)

Ce résultat est obtenu sans prendre en considération la possibilité de l'existence d'un désaccord entre le broker et l'agent d'entreprise gagnant, et par conséquent, la nécessité de la négociation.

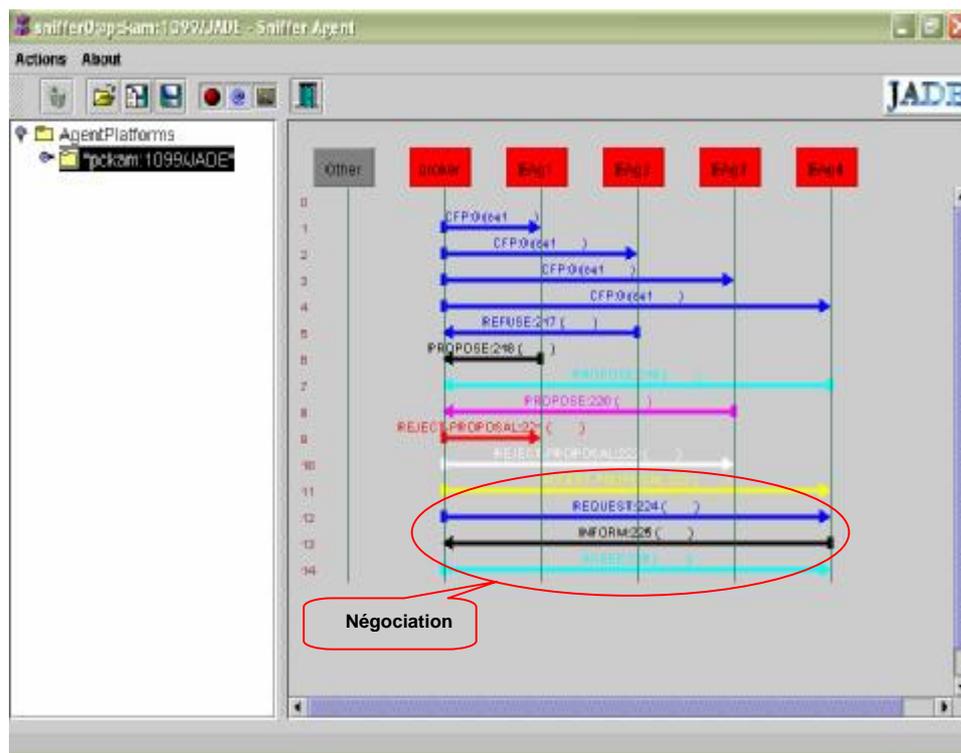


Figure 4.7 : simulation du protocole d'interaction (avec négociation)

La figure 4.7 présente l'interaction entre l'agent broker et un ensemble d'agents d'entreprise. À la fin, et une fois que le broker détermine l'agent d'entreprise qui va être membre de l'EV pour ce but, il lance un tour de négociation pour résoudre un désaccord sur une clause du contrat.

Il est possible, que l'agent broker procède à plusieurs tours de négociation avant d'y arriver à l'établissement du contrat final avec l'agent d'entreprise.

4. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons essayé de rapprocher l'aspect de mise en œuvre d'une EV. Dans cette perspective, une étude de cas est réalisée, portant sur l'établissement d'une EV dans le secteur de construction des logements. Ensuite, on a utilisé la plate-forme JADE pour le développement de l'EV ce que nous a permis d'effectuer des simulations concernant les interactions inter-agents (broker – agents d'entreprise) durant la phase de création de l'EV.

L'utilisation du langage XML pour la description du contenu des messages permet de les visualiser dans un navigateur WEB, puisque JADE fournit des outils en extension permettant l'exécution des agents dans un navigateur WEB.

CONCLUSION GENERALE

1. Conclusion et bilan du travail

Les nouvelles technologies de l'information et de la communication (NTIC) sont entrain d'apporter des changements profonds sur le mode de travail traditionnel. Elles annoncent des transformations profondes de notre cadre de vie et des entreprises économiques. Le travail est de plus en plus dématérialisé et l'organisation s'éloigne de jour en jour des formes traditionnelles hiérarchiques.

Pour les entreprises, il devient primordial d'anticiper cette mutation radicale en se forçant de s'adapter dans tous les domaines pour faire face à ces défis et en réponse aux perturbations de leurs environnements. Les entreprises (organisations) sont contraintes d'inventer ou d'adopter de nouvelles formes d'organisation. Ces nouvelles formes d'organisation qui se diffèrent des organisations traditionnelles (organisation hiérarchique ou pyramidale) posent de nouveaux défis à leurs managers, ce qui nécessite l'introduction de nouveaux outils de gestion propres.

Les entreprises virtuelles établies dans des environnements interconnectés, par leur vitesse de réaction aux changements constants du marché, et aux incertitudes économiques et par leur flexibilité constitueront un des modèles d'organisation les plus dynamiques d'aujourd'hui. Ces entreprises de demain, virtuelles, feront largement appel à des comportements socioculturels modernes privilégiant les qualités imaginatives et relationnelles de l'homme.

Dans le cadre de ce mémoire, nous avons abordé le contexte des études et des travaux de recherche concernant le développement des entreprises virtuelles. Ainsi, nous avons étudié les différents concepts de base de l'entreprise virtuelle, ensuite, et après évaluation d'un certain nombre de travaux et de projets de recherche et de développement d'EVs, nous avons présenté les différents paradigmes et technologies déployés au sein des EVs.

Cette parade nous a fourni les fondements théoriques et techniques nécessaires pour notre travail, dans lequel on a essayé :

- D'analyser les différents projets et travaux de recherche réalisés, en mettant l'accent sur les approches adoptées par ces projets pour le développement des EVs, cela nous a permis de nous situer par rapport à ces travaux ;
- De discuter les approches basées sur les agents et SMAs pour la modélisation, la création et la gestion des entreprises virtuelles ;
- De proposer une architecture générique basée-agent support à l'établissement des entreprises virtuelles.
- L'application de cette architecture pour un cas particulier et la simulation des interactions inter-agents dans une plate-forme de développement des SMAs.

Durant le développement de l'architecture proposée, on a abordé les points suivants :

- La description des différents agents constituant une EV, ainsi que leurs structures internes détaillées ;
- La coordination durant toutes les phases de cycle de vie ;
- La négociation entre agents ;
- La communication inter-agents ;

2. Perspectives et travaux futurs

Bien que le travail présenté a essayé de fournir quelques solutions pour l'établissement des EVs, plusieurs aspects sont soumis à de nouvelles améliorations et à des approfondissements. Certains de ces aspects ont fait l'objet d'étude par des travaux et thèses au sein de l'équipe « Bases de Données et Systèmes d'Information Avancées » du laboratoire de recherche en Informatique Répartie (LIRE) de l'université de Constantine.

Nous pouvons mentionner ici quelques aspects :

- L'étude de la coordination intra-entreprise et le déploiement des systèmes de gestion des workflows ;
- L'étude et le développement des mécanismes de négociation automatisés ;

- Le développement des portails d'entreprise, servant comme points d'interaction entre les entreprises et leurs clients ;
- Les langages de description des processus d'affaires ;
- Le développement des ontologies ;
- Les méthodologies de développements des SMAs ;

De point de vue implémentation, plusieurs travaux peuvent être effectués, notamment pour l'implémentation de l'intégralité des agents formant le marché électronique, ainsi que pour le développement de l'interface EV-clients.

LISTE DES FIGURES

CHAPITRE 1 : ENTREPRISE VIRTUELLE : PRINCIPES ET CONCEPTS

Figure 1.1 : Différentes formes d'organisation en réseau	9
Figure 1.2 : Le concept d'entreprise virtuelle	14
Figure 1.3 : Les classes d'entreprises virtuelles	22
Figure 1.4 : Les phases de cycle de vie d'une entreprise virtuelle	24

CHAPITRE 2 : DÉVELOPPEMENT DE L'ENTREPRISE VIRTUELLE

Figure 2.1 : Les composantes technologiques contribuant à un environnement d'EV	44
Figure 2.2 : Modèle de référence de la WFMC.....	48
Figure 2.3 : Un agent autonome et son environnement	52
Figure 2.4 : La couche de coopération dans prodnet	56
Figure 2.5 : Recherche et sélection de partenaires basée sur annuaires externes.....	60
Figure 2.6 : Mécanisme de négociation appliqué à un cluster d'entreprises.....	62
Figure 2.7 : Gestion de cluster basée sur l'architecture JINI	63
Figure 2.8 : Architecture PRODNET générale pour un membre de l'EV	64

CHAPITRE 3 : UNE ARCHITECTURE GÉNÉRIQUE BASÉE-AGENT POUR L'ENTREPRISE VIRTUELLE

Figure 3.1 : Organisation de l'EV	73
Figure 3.2 : L'entreprise virtuelle représentée par des agents.....	73
Figure 3.3 : Structure de l'agent gestionnaire du marché électronique	75
Figure 3.4 : Structure d'un agent d'entreprise	76

Figure 3.5 : Structure de l'agent broker	78
Figure 3.6 : Structure de l'agent manager de l'EV	82
Figure 3.7 : Initiation d'une entreprise virtuelle.....	85
Figure 3.8 : Interaction entre broker et agent d'entreprise.....	87
Figure 3.9 : Structure d'un message ACL.....	91

CHAPITRE 4 : ÉTUDE DE CAS ET PERSPECTIVES D'IMPLÉMENTATION

Figure 4.1 : Processus de négociation des contrats.....	102
Figure 4.2 : Extension de la classe Agent	105
Figure 4.3 : Implémentation de l'EV dans JADE.....	106
Figure 4.4 : Environnement simulé pour une EV	107
Figure 4.5 : Message ACL dans JADE.....	108
Figure 4.6 : Simulation du protocole d'interaction (simple).....	109
Figure 4.7 : Simulation du protocole d'interaction (avec négociation)	110

BIBLIOGRAPHIE

- [**Boughzala, 2001**] Boughzala I., « Démarche Méthodologique de Conception de Systèmes Coopératifs Interagents pour la Gestion des Connaissances », thèse de doctorat, Paris VI, 2001.
- [**Boukhelfa, 2004**] Boukhelfa K. , Boufaïda M., “A Generic Multi-Agent Architecture for the Virtual Enterprise”, EMISA’2004, "Information Systems in E-Business and E-Government" ; Luxemburg, Edition LNI Volume 56 (2004), pp 199-210.
- [**Broos, 2000**] Broos, R., Dillenseger, B., Guther, A., Leith, M., (2000), MIAMI : Mobile intelligent agents for managing the information infrastructure.
<http://www.cordis.lu/infowin/acts/analysys/products/thematic/agents/ch3/miami.htm>
- [**Bultje, 1998**] Bultje, R., and van Wijk, J., “Taxonomy of Virtual Organisations, Based on Definitions, Characteristics and Typology.” *Electronic Journal of Organizational Virtualness*, (1998), 7-20.
- [**Byrne, 1993**] Byrne, J.A. The virtual corporation, *Business Week*, feb 8; (1993)
- [**Camarinha, 1998a**] Camarinha-Matos, L.M., Afsarmanesh, H., « VIRTUAL ENTERPRISES:Life cycle supporting tools and technologies ». dans *Handbook of Life Cycle Engineering: Concepts, models and technologies*, A. Molina, A. Kusiak, J. Sanchez (Eds.), Kluwer Academic Publishers, (1998), pp. 535-571.
- [**Camarinha, 1998b**] Camarinha-Matos L.M., C.P. Lima, « A Framework for Cooperation in Virtual Enterprises ». dans *Proceedings of DIISM'98, Design of Information Infrastructures Systems for Manufacturing*, (1998), Fort Worth, USA, May 98.
<http://www.uninova.pt/~prodnet/zips/DIISM98Paper.zip>
- [**Camarinha, 1999**] Camarinha-Matos, L.M., Afsarmanesh, H. , “The Virtual Enterprise Concept” dans : *Infrastructures for Virtual Enterprises. Networking Industrial Enterprises. IFIP TC5 WG5.3 / PRODNET Working Conference for Virtual Enterprises (PRO-VE'99)*, Porto, Portugal, October 1999, Boston: pp. 3-30.
- [**Camarinha, 2001**] Camarinha-Matos Luis M ; Hamideh Afsarmanesh, “Virtual Enterprise Modeling and Support Infrastructures: Applying Multi-Agent System approaches”, dans : *Multi-Agent Systems and Applications*, M. Luck, V. Marik, O. Stpankova, R. Trappl (eds.), *Lecture Notes in Artificial Intelligence LNAI 2086*, Springer, ISBN 3-540-42312-5, July 2001.
- [**Camarinha, 2002**] Camarinha-Matos, L.M.; Afsarmanesh, H.; Rabelo, J., « Infrastructure developments for agile virtual enterprises », dans : *J.Computer Integrated Manufacturing*, 2002.
- [**Camarinha, 2003**] Luis M. Camarinha-Matos, “Infrastructures for virtual organizations – where we are”, *Proceedings of ETFA'03 – 9th Int. Conf. On Emerging Technologies and Factory Automation*, Lisboa, Portugal, 16-19 Sept 2003.

- [**Chaib-Draa, 2001**] B. Chaib-draa, I. Jarras et B. Moulin, « Systèmes multiagents : Principes généraux et applications », dans : J. P. Briot et Y. Demazeau « Agent et systèmes multiagents » chez Hermès en 2001.
- [**CIMOSA, 1998**] CIMOSA Association “Enterprise Engineering and Association: Why and How” (1998)
- [**COWORK, 1999**] <http://www.eto.org.uk/ist-nmw/present/cowork/>
- [**EJB, 1999**] Enterprise Java Beans – EJB Specification (1999)
<http://java.sun.com/products/EJB>
- [**Ferber, 1997**] Ferber J. “Les systèmes multi-agents: Vers une intelligence collective”, Edition InterEdition, (1997) pp 239-245.
- [**FIPA, 1999**] FIPA (1999) <http://www.fipa.org/spec/FIPA98.html>.
- [**Fisher, 1996**] Fischer, K., Müller J. P., Heimig, I., and Scheer, A.-W., (1996), Intelligent Agents in Virtual Enterprises, dans : *Proceedings of PAAM96*, The first international conference on "The Practical Applications of Intelligent Agents and Multi-Agent Technology", London, 22nd-24th April, pp.205-223.
- [**Florea, 1998**] Florea, A. M., (1998), Intelligent Agents Technology in Virtual Enterprise Design, *Departement of Computer Science “Politechnica”*, University of Bucharest; http://cs.pub.ro/cs-dept/ai_mas/publications/F-ISOCE98.zip
- [**GENIAL, 1998**] GENIAL Project Homepage and Papers. www.clab.de/genial/index.html
- [**GLOBEMAN, 1993**] www.ejeisa.com/nectar/update/stories/1997110601/#GLOBEMAN
- [**ISO, 1991**] ISO/IEC (1991) 9596, Information Technology, Open Systems Interconnection, Common Management Information Protocol (CMIP) – Part 1: Specification, Geneva, Switzerland, 1991.
- [**ISO, 1994**] ISO/IEC (1994) “Information Technology – Open Distributed Processing – Reference Model – Open Distributed Processing – Part 1- Overview and Guide to Use” ISO/IEC JTC 1/SC 21 Sept. 1994
- [**IST, 2001**] <http://www.cordis.lu/ist/>
- [**JADE, 2002**] Fabio Bellifemine, Giovanni Caire, Tiziana Trucco (TILAB, formerly CSELT); Giovanni Rimassa (University of Parma); Jade Programmer’s Guide (2000-2003). <http://jade.csel.it/>
- [**Java, 1998**] Java 2 Specification and Reference Model (1998) <http://java.sun.com/>
- [**Jennings, 1998**] Jennings, N. R., Wooldridge, M. J.(eds). “Agent Technology: Foundations, Applications and Markets”. Springer-Verlag 1998.
- [**Kanet, 1997**] Kanet, J.J., Application of Information Technology to a Virtual Enterprise Broker : The case of BILL EPSTEIN, W. Faisst, University of Eriangen-Nürnberg, Revision 31-Mar-1997.
- [**Katzy, 1999**] Katzy B.; Obozinski, V., « Designing the Virtual Enterprise » Proceedings of ICE 99, 5th International Conf. On Concurrent Engineering, The Hague, Netherlands, Mar 1999.
- [**MADKIT, 2003**] <http://www.madkit.org/>

- [Meissonnier, 2000] MEISSONNIER R., « Vers une perspective processuelle du concept d'organisation virtuelle » IAE Aix-en-Provence, (2000) WP n°583.
- [Morand, 2001] Frédéric MORAND, « Workflow, groupware et systèmes à base de données, études des couvertures fonctionnelles, des critères de choix et des possibilités d'intégrations : Illustration à l'aide de la modélisation du Foyer André », mémoire en informatique et organisation, 2001 ; Université de Lausanne-École des Hautes Études Commerciales.
- [NIIP, 1996] "The NIIP Reference Architecture", (1996), <http://www.niip.org>
- [OMG, 1998] OMG: Object Management Group, Common Object Request Broker Architecture Specification (1994-2000). <http://www.omg.org/>
- [Oprea, 2003] Oprea, M., "Coordination in an Agent-Based Virtual Enterprise", *Studies in Informatics and control*, Vol. 12, No. 3, September 2003, pp 215-225.
- [Ouzounis, 2001] Ouzounis, V. Tschammer, "An Agent-Based Platform for the Management of Dynamic Virtual Enterprises"; thèse de doctorat , Berlin 2001.
- [PAROT, 2003] Isabelle PAROT, « Vers une Typologie des Equipes à Distance », colloque : De nouveaux e-usages ? Leur intégration dans les entreprises et la société, IUT 2, Grenoble (2003). www.aim2003.iut2.upmf-grenoble.fr/Communications/PAROT.rtf
- [PARK, 1997] PARK Kyung Hye et FAVREL Joël, « Intégration des systèmes d'information et de communication pour une entreprise étendue ou virtuelle » Deuxième Congrès International Franco-Québécois de Génie Industriel - ALBI 1997.
- [Petersen, 2001] S. A. Petersen, M. Divitini, M. Matskin, An Agent-based Approach to Modelling Virtual Enterprises. In the special issue on Enterprise Modelling of *International Journal of Production Planning & Control*, Taylor & Francis, Vol. 12, No. 3, Issue Apr 2001, p. 224-233. http://www.idi.ntnu.no/~sap/publications/petersen_ijppc.doc
- [Petersen, 2003] S. A. Petersen, M. Matskin, Agent Interaction Protocols for the Selection of Partners for Virtual Enterprises, *Multi-agent Systems and Applications III, 3rd International Central and Eastern European Conference on Multi-Agent Systems, CEEMAS 2003, Prague, Czech Republic, June 16-18, 2003*. V. Maik, J. Müller, M. Pchouek (Eds.), LNAI 2691, Springer-Verlag, 2003.
<http://link.springer.de/link/service/series/0558/papers/2691/26910606.pdf>
- [Probst, 1996] Probst, A. R., Bitschnau, J.-F., Petitpierre, C., Wenger, D., (1996), Vers des Systèmes d'Information Génériques pour les Entreprises Virtuelles, <http://inforge.unil.ch/cimre96/papers/10/paper.doc>
- [PRODNET, 2003] <http://www.uninova.pt/~prodnet/papers.html>
- [Rocha, 1999] Rocha, A.; Oliveira, E., "An electronic market architecture for the formation of virtual enterprises". (1999). www.fe.up.pt/~eol/PUBLICATIONS/espamecoo.ps.zip
- [Rabelo, 2001] Rabelo, R. J., Afsarmanesh, H. and Camarinha-Matos, L. M. , (2001), Federated Multi-Agent Scheduling in Virtual Enterprises, dans: E-business and Virtual Enterprises – Managing Business-to-Business Cooperation, L. M. Camarinha-Matos, H. Afsarmanesh and R. J. Rabelo, (eds.), Kluwer Academic Publishers, pp.145-156
- [Saadoun, 2002] M. Saadoun, « Le Workflow- Pour automatiser les procédures et tâches répétitives » Demi-journée d'information au C.R.I.T.T. Pays de la Loire Productique, octobre 2002

- [**Spinosa, 1998**] L., M., Spinosa, R., J. Rabelo, A. Pereira Klen, C. Ferreira, “ An oriented Decision Support System model for Virtual Enterprise coordination”, G-SIGMA - Intelligent Manufacturing Systems Group, Federal University of Santa Catarina, Brazil, (1998)
- [**Strausak, 1998**] Strausak, N., Resumé de VoTalk, in Organizational Virtualness. Proceedings of the VoNet - Workshop, P.G. Sieber, J., Editor. 1998: Bern. p. 9 ff.
- [**Shen, 1999**] Shen, W., Norrie, D.H., Agent-Based Systems for Intelligent Manufacturing: A State-of-the-Art Survey, , *Knowledge and Information Systems*, an International Journal, 1(2), (1999), pp. 129-156. <http://imsg.enme.ucalgary.ca/publication/abm.htm>
- [**SCMC 1999**] La Société des comptables en management du Canada (1995) « L’entreprise virtuelle : une réalité ? ». <http://strategis.gc.ca>
- [**SUN, 1999**] SUN - JINI Technology Architectural Overview, Jan 1999. <http://www.sun.com/jini/whitepapers/architecture.html>.
- [**SWARMS, 1996**] <http://www.swarm.org/index.html>
- [**TEAM, 1997**] <http://cewww.eng.ornl.gov/team/int.html>
- [**VEGA, 1998**] Homepage et Articles, <http://cic.cstb.fr/ilc/publicat/list.htm>
- [**VENTO, 1998**] VENTO Project Homepage, <http://www.cas-software.de/CAS/EU-Vento-Kurz-Architecture.htm>
- [**VIRTEC, 2002**] VIRTEC (2002) : <http://www.ncweb.com/users/sturd/>
- [**VIVE , 1999**] VIVE Reference Model (1999) <http://www.ceconsulting.it/VIVE/Results/default.html>
- [**Vulkan, 2000**] Nir Vulkan , Nicholas R. Jennings , “ Efficient mechanisms for the supply of services in multi-agent environments”, *Decision Support Systems* 28, (2000) pp 5–19; www.elsevier.com/locate/dsw
- [**WfMC, 1999**] WfMC Terminology and Glossary (WfMC-TC-1011, Feb 1999) <http://www.wfmc.org/>
- [**WISE, 1999**] <http://www.inf.ethz.ch/departement/IS/iks/research/wise.html>
- [**XML, 1998**] XML Resources and Papers, <http://www.w3c.org/xml/>
- [**Zarli, 1999**] Zarli, A., Poyet, P. “A Framework for Distributed Information Management in the Virtual Enterprise” The VEGA Project, dans *Infrastructures for Virtual Enterprises. Networking Industrial Enterprises. (PRO-VE'99)*, Porto, Portugal, 27-28 October 1999, pp. 293-306.
- [**Zarour, 2004**] Zarour N., « Contribution à la modélisation de la coopération des systèmes d’information distribués et hétérogènes : le système DAARACHE -Application aux entreprises de production », Thèse de doctorat en informatique, Université de Constantine, 2004.
- [**ZEUS, 1999**] <http://www.labs.bt.com/projects/agents/zeus>