

Définition et opérationalisation d'une organisation virtuelle à base d'agents pour contribuer à de meilleures pratiques de gestion des risques dans les PME-PMI

Eric Rigaud

▶ **To cite this version:**

Eric Rigaud. Définition et opérationalisation d'une organisation virtuelle à base d'agents pour contribuer à de meilleures pratiques de gestion des risques dans les PME-PMI. domain_other. École Nationale Supérieure des Mines de Paris, 2004. Français. NNT : 2004ENMP1183 . pastel-00001559

HAL Id: pastel-00001559

https://pastel.hal.science/pastel-00001559

Submitted on 10 Mar 2006

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

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



Ecole des Mines
de Paris
Pôle Cindyniques

N° attribué par la bibliothèque
/__/__/__/__/__/__/__/__/__/__/

T H E S E

Pour obtenir le grade de

Docteur de l'Ecole des Mines de Paris

Spécialité « Informatique temps réel, robotique et automatique »

Présentée et soutenue publiquement par

Eric RIGAUD

Le 18 Décembre 2003

Définition et opérationalisation d'une organisation virtuelle à base d'agents pour contribuer à de meilleures pratiques de gestion des risques dans les PME-PMI.

Jury

Pr. Danielle BOULANGER	Rapporteur
Pr. Alain CARDON	Rapporteur
Pr. Jean-Paul KIEFFER	Examinateur
Dr. Bruno DEBRAY	Examinateur
Dr. Jean-Marc MERCANTINI	Examinateur
Dr. Franck GUARNIERI	Directeur de thèse

Cette thèse est dédiée
à Alain Manfredini

« La curiosité est une faculté propre de la nature humaine. Elle est fille de l'ignorance, et elle devient mère de la science, lorsque l'étonnement lui a ouvert les portes de notre esprit. Elle procède ainsi : dès qu'un effet extraordinaire, tel qu'une comète, une parhélie, ou une étoile en plein jour l'a frappée, elle recherche immédiatement ce qu'une chose pareille peut signifier.»

Giambattista Vico, la science nouvelle (1725)

Remerciements

Je souhaite exprimer toute ma gratitude aux membres du jury : Madame Danielle Boulanger Professeur et Directrice du laboratoire MODEME de l'Institut d'Administration des Entreprises de Lyon, et Monsieur Alain Cardon Professeur au laboratoire d'informatique de Paris VI, qui ont accepté d'être rapporteurs de cette thèse et m'ont fait l'honneur d'en assurer la critique. Je les remercie pour le temps qu'ils y ont consacré ainsi que pour les remarques et conseils qu'ils m'ont donnés. Merci également à Monsieur Jean-Paul Kieffer Professeur et Directeur de l'Ecole Nationale Supérieure des Arts et Métiers d'Aix en Provence, à Monsieur Bruno Debray Enseignant-Chercheur à l'Ecole Nationale Supérieure des Mines de St Etienne et Monsieur Jean-Marc Mercantini Maître de conférence au Laboratoire des Sciences de l'Information et des Systèmes de Marseille pour l'intérêt qu'ils ont porté à mes travaux.

Je suis reconnaissant envers Franck Guarnieri, responsable scientifique à l'Ecole Nationale Supérieure des Mines de Paris pour m'avoir fait confiance en acceptant de diriger cette thèse. La qualité de ses conseils et la rigueur de ses remarques ont fortement soutenus la réalisation de ce travail de recherche.

Je remercie Jacques Riout du CEntre Technique de l'Industrie Mécanique (CETIM) pour m'avoir initié à la Sûreté de Fonctionnement, pour la richesse de nos échanges et la qualité de notre collaboration.

Je tiens à exprimer ma reconnaissance à la DRIRE (Direction Régionale de l'Industrie, de la Recherche et de l'Environnement) et à la Région PACA (Provence Alpes Côte d'Azur) pour avoir financé une partie de ces travaux et aux PME-PMI qui ont accepté de me recevoir et d'expérimenter mes réalisations.

Je tiens à remercier plus personnellement l'ensemble de ma famille pour son soutien tout au long de ce travail.

Merci à toute l'équipe du Pôle Cindyniques et à Jean-Luc Wybo, son Directeur, pour m'avoir accueilli. Une pensée particulière à Raphaële Blanchi, Valérie Godfrin, Emmanuel Garbolino et Aldo Napoli pour avoir pris le temps de relire le présent manuscrit et pour la pertinence de leurs remarques, à Samuel Olampi pour son amitié et son soutien, une pensée à Myriam Lavigne.

Je tiens à remercier l'ensemble des étudiants avec qui j'ai eu la chance de travailler : Florence Guerlais, Fanny Zhu, Patricia Montagnac, Maguete Pathe Gueye, Salim Ainouche, Olivier Senac, Denis Overal, Bee-Ying Lo, Thomas Guillier et Julien Maria.

Un grand merci à l'ensemble de mes amis pour leur présence et leurs encouragements et tout particulièrement à Terry pour avoir pris le temps de lire ce manuscrit.

Table des matières

Remerciements..... 8

Table des matières..... 10

De l'idée de la thèse..... 14

Première Partie

Définition d'une organisation virtuelle à base d'agents pour contribuer à de meilleures pratiques de gestion des risques dans les PME-PMI..... 20

Chapitre 1
Quelques considérations sur la gestion des risques dans les entreprises et en particulier dans les PME-PMI..... 22

1.1 La PME-PMI et les risques professionnels..... 22
1.1.1L'évident écart entre une grande entreprise et une PME-PMI en matière de gestion des risques professionnels..... 23
1.1.2Où la spécificité organisationnelle de la PME-PMI explique son manque d'intérêt à la gestion des risques professionnels..... 26
1.1.3De la mise en place d'une politique de prévention des risques..... 28

1.2 La gestion des risques professionnels dans les entreprises..... 30
1.2.1Les acteurs de la gestion des risques professionnels..... 31
1.2.1.1 Les acteurs de la gestion des conditions du travail..... 32
1.2.1.2 Les acteurs de la gestion des accidents du travail et des maladies professionnelles..... 34
1.2.1.3 Les acteurs de la gestion des risques au sein de l'entreprise..... 35
1.2.2Le cadre législatif des risques professionnels..... 35
1.2.3Les outils existant en matière de gestion des risques professionnels..... 37

1.3 Elaboration d'un modèle de sytème de gestion des risques..... 40
1.3.1Les concepts de modélisation des composantes d'une organisation..... 41
1.3.2 Les concepts de modélisation des dangers et de gestion des risques..... 43
1.3.3Les composantes du modèle de PME-PMI..... 45
1.3.3.1 Le sous-système environnement..... 46
1.3.3.2 Le sous-système social..... 47
1.3.3.3 Le sous système physique..... 48
1.3.3.4 Le sous-système culturel..... 48
1.3.3.5 Le sous-système technologique..... 49
1.3.4Les composantes du modèle de système de gestion des risques..... 49
1.3.4.1 Le sous-système de diagnostic..... 50
1.3.4.2 Le sous-système de supervision..... 50
1.3.4.3 Le sous-système de capitalisation et d'aide à la décision..... 50
1.3.4.4 Le sous-système d'auto-contrôle..... 51

1.4 Conclusion du chapitre 1..... 51

Chapitre 2
Une organisation virtuelle de gestion des risques..... 53

2.1 De la notion d'organisation virtuelle..... 54
2.1.1 Essai de définition..... 54
2.1.2 Du déploiement d'une organisation virtuelle pour améliorer la gestion des organisations..... 55
2.1.3L'intermédiation électronique : le cœur de l'organisation virtuelle..... 56
2.1.4Une approche « complexe » de l'intermédiation électronique..... 58

2.2 Vers une organisation virtuelle de gestion des risques pour les PME-PMI..... 61

2.2.1 Justification d'une organisation virtuelle de gestion des risques 61
2.2.2Proposition d'une organisation virtuelle de gestion des risques.....63
2.1.1.1 La sensibilisation à la prévention des risques.....63
2.1.1.2 La gestion des risques internes à l'entreprise.....65
2.1.1.3 La gestion des risques externes à l'entreprise..... 67

2.2 Identification des caractéristiques logicielles d'une organisation virtuelle de gestion des risques à l'aide d'un cas concret..... 69
2.2.1Le cas d'étude, présentation..... 70
2.2.1.1 Le modèle interne de l'entreprise.....70
2.2.1.2 L'environnement de l'entreprise..... 72
2.2.2L'organisation virtuelle de gestion des risques du cas d'étude..... 73
2.2.2.1 Le dispositif de sensibilisation à la gestion des risques..... 73
2.2.2.2 Le dispositif de gestion des risques internes à l'entreprise..... 74
2.2.2.3 Le dispositif de gestion des risques liés à l'environnement de l'entreprise..... 76
2.2.3Analyse fonctionnelle des traitements nécessaires à la mise en œuvre d'une organisation virtuelle de gestion des risques 77
2.2.3.1 Analyse fonctionnelle du système d'intermédiation électronique..... 77
2.2.3.2 Analyse fonctionnelle d'un logiciel d'analyse des risques..... 78

2.3 Conclusion du chapitre 2..... 79

Chapitre 3
De l'apport des Systèmes Multi-Agents pour la mise en œuvre d'une organisation virtuelle de prévention des risques..... 81

3.1 Tour d'horizon du domaine des agents logiciels et des systèmes multi-agents..... 82
3.1.1Définitions et typologies d'agents logiciels et de systèmes multi-agents..... 82
3.1.2Domaines d'application des agents logiciels et des systèmes multi-agents.....86
3.1.1.1 Les agents comme support de l'interopérabilité de systèmes d'information.....86
3.1.1.2 Les agents comme support de simulation.....87
3.1.1.3 Les agents comme support de traitement de l'information.....87
3.1.1.4 Les agents pour le contrôle de systèmes industriels..... 88
3.1.2 La Conception et la Programmation Orientées Agent..... 88
3.1.2.1 Les domaines d'application de la conception et de la programmation orientées agent.....89
3.1.2.2 L'approche agent pour la conception de logiciels.....89
3.1.2.3 L'approche agent pour la programmation de logiciels.....93
3.1.3 De l'utilisation des systèmes multi-agents pour la mise en œuvre d'un système d'intermédiation électronique et d'un logiciel d'analyse des risques..... 94
3.1.3.1 De l'utilisation des systèmes multi-agents pour aborder la réalisation d'un système d'intermédiation électronique.....95
3.1.3.2 De l'utilisation des systèmes multi-agents pour la réalisation d'un logiciel d'analyse des risques 96

3.2 Vers un système d'intermédiation électronique orienté agent..... 96
3.2.1« L'agentification » du système d'intermédiation électronique 97
3.2.2« Agentification » des fonctionnalités de gestion de la communication.....97
3.2.3« Agentification » des fonctionnalités de gestion des traitements des systèmes technologiques...98
3.2.4 « Agentification » des traitements de composition de services..... 99
3.2.5 « Agentification » des traitements de gestion des contraintes organisationnelles 100
3.2.6Un modèle d'agent et de système multi-agents d'intermédiation 101

3.3 Vers un outil d'analyse des risques orienté agent..... 102
3.3.1Un modèle d'outil de simulation et d'analyse des risques.....103
3.3.2Proposition d'une méthode d'identification des caractéristiques d'un agent en fonction d'une analyse systémique et d'une AMDEC..... 104
3.3.2.1 Du modèle systémique au système multi-agents..... 104
3.3.2.2 Des résultats d'une AMDEC au système multi-agents.....105

3.4 Conclusion du chapitre 3..... 106

Deuxième Partie

Des modèles aux systèmes :
Opérationalisation d'un agent logiciel d'intermédiation et d'un prototype d'une organisation virtuelle de gestion des risques dédiée aux PME-PMI..... 109

Chapitre 4
Un modèle d'agent d'intermédiation électronique..... 111

4.1 La communication entre l'agent et son environnement..... 111
4.1 Le fonctionnement d'un agent JADE..... 112
4.2 La communication entre l'agent et les systèmes technologiques 114
4.1.1.1 Le dispositif général d'échange d'information..... 114
4.1.1.2 La communication entre l'agent d'intermédiation et une base de données..... 116
4.1.1.3 La communication entre l'agent d'intermédiation et un serveur HTTP..... 116
4.1.1.4 La communication entre l'agent d'intermédiation et un code de calcul..... 117
4.1.2Utilisation de la plate-forme de communication 117
4.1.3La gestion de l'environnement de l'agent..... 118
4.1.3.1 Les structures de données de représentation de l'environnement de l'agent..... 118
4.1.3.2 Les protocoles de gestion de l'environnement de l'agent..... 119
4.1.3.3 Les messages de gestion de l'environnement..... 120
4.1.3.4 Les comportements de gestion de l'environnement..... 121
4.1.3.5 Illustration du fonctionnement des mécanismes de gestion des agents..... 121

4.2 Les traitements de gestion des services..... 123
4.3 La structure de données de représentation des services..... 124
4.4 Les protocoles de gestion des services..... 125
4.5 Les messages de gestion des services..... 126
4.6 Les comportements de gestion des services..... 127
4.7 Illustration du fonctionnement des mécanismes de gestion des services..... 127

4.3 Les traitements de gestion des plans..... 130
4.8 Les structures de données de représentation des plans..... 130
4.9 Les protocoles de gestion des plans..... 132
4.10 Les messages de gestion des plans..... 133
4.11 Les comportements de gestion des plans..... 134
4.12 Illustration du fonctionnement des mécanismes de gestion des plans..... 135

4.4 Les agents de gestion des contraintes..... 136
4.4.1L'agent de gestion des autorisations d'accès aux traitements..... 136
4.4.2L'agent de gestion des sauvegardes..... 138
4.4.3L'agent de supervision du système..... 139

4.5 Conclusion du chapitre 4..... 140

Chapitre 5
Un prototype d'organisation virtuelle de prévention des risques dédiée aux PME-PMI..... 142

5.1 Un modèle d'organisation virtuelle de gestion des risques à destination des PME-PMI..... 142
5.1.1Les objectifs du prototype d'organisation virtuelle de gestion des risques..... 143
5.1.2Les traitements logiciels de l'organisation virtuelle de gestion des risques..... 143
5.1.2.1 Les échanges d'expériences..... 143
5.1.2.2 Les diagnostics 144
5.1.2.3 L'accès à des ressources documentaires..... 144
5.1.2.4 La gestion d'alertes..... 144
5.1.2.5 Les traitements de supervision 144
5.1.3Les acteurs de l'organisation virtuelle et leurs rôles..... 145
5.1.3.1 Le profil des chefs d'entreprises..... 145
5.1.3.2 Le profil des responsables de fonction..... 146
5.1.3.3 Le profil des experts de la gestion des risques..... 146

5.2 Les systèmes technologiques du prototype d'organisation virtuelle..... 146
5.2.1Un dispositif d'échange d'information..... 147
5.2.2Un système d'information de gestion de ressources documentaires..... 148
5.2.2.1 Un modèle de description de ressources documentaires..... 148
5.2.2.2 Le processus de recherche de l'information..... 149
5.2.2.3 L'ajout et la modification de l'information..... 150
5.2.3Un système d'information de diagnostic des risques de défaillances des produits et des moyens de production..... 150
5.2.3.1 L'acquisition de l'information..... 151
5.2.3.2 Le traitement de l'information et la génération des résultats..... 153
5.2.3.3 L'exploitation des résultats du diagnostic..... 153
5.2.4 Un logiciel d'analyse des risque d'une chaîne de production..... 154
5.2.4.1 La modélisation du système de contrôle d'une chaîne de production..... 155
5.2.4.2 « Agentification » du modèle de système d'une chaîne de production..... 157

5.3 La construction et l'utilisation du prototype d'organisation virtuelle de gestion des risques..... 159
5.3.1La structure physique de l'organisation virtuelle..... 159
5.3.1.1 Les Services de l'agent de gestion des traitements d'échange d'informations 160
5.3.1.2 Les Services de l'agent de gestion des ressources documentaires..... 160
5.3.1.3 Les Services de l'agent de diagnostic..... 161
5.3.1.4 Les Services de l'agent de supervision..... 161
5.3.1.5 Les Services de l'agent de gestion des interactions hommes/systèmes..... 162
5.3.2 Les traitements issus de la « composition des services » associés aux logiciels de gestion des risques..... 162
5.3.2.1 Un plan de recherche d'information..... 162
5.3.2.2 Un plan de gestion de la survenue d'un événement perturbateur 164
5.3.2.3 Un plan de supervision du fonctionnement de l'organisation virtuelle..... 165
5.3.3De l'utilisation de l'organisation virtuelle par les acteurs des PME-PMI..... 165
5.3.3.1 Le processus de connexion d'un utilisateur au système..... 166
5.3.3.2 Le processus de diagnostic des moyens de production..... 167
5.3.4De l'apport du prototype d'organisation virtuelle de gestion des risques au regard de la vulnérabilité des PME-PMI aux risques. 168
5.3.4.1 La modification de la perception des risques par les acteurs des PME-PMI..... 169
5.3.4.2 Une démarche de diagnostic des risques adaptée aux PME-PMI..... 169
5.3.4.3 Des mécanismes d'auto-contrôle de l'usage des fonctionnalités de l'organisation virtuelle..... 170
5.3.5 De la validation du prototype d'une organisation virtuelle de gestion des risques dédiée aux PME-PMI..... 170

5.4 Conclusion du chapitre 5..... 171

Conclusion et perspectives..... 174

Bibliographie..... 182

Index des illustrations..... 192

De l'idée de la thèse

« Si tu n'espères pas l'inespéré, tu ne le trouveras pas. »

HERACLITE

La prise de risque est l'essence première de l'entrepreneur [POLYNOME99] néanmoins, il se doit d'assurer la sécurité de son personnel et de l'environnement de son entreprise. Cette obligation relève principalement du Code du Travail et impose aux entreprises de prévenir les risques afin d'éviter les accidents du travail et les risques professionnels.

La gestion des risques professionnels repose donc sur un système d'acteurs institutionnels et un dispositif législatif ayant pour rôle la définition, l'information et le contrôle de l'application de pratiques de prévention et de gestion des accidents du travail et des maladies professionnelles au sein des entreprises. Les données statistiques concernant les accidents du travail de la région PACA pour l'année 2001 montrent que la majorité des accidents ont lieu dans les entreprises dont l'effectif est inférieur à cents salariés [CRAMSE01]. Paradoxalement, les études menées pour étudier la gestion des risques professionnels dans les entreprises de moins de deux cents personnes, désignées sous le nom de Petites et Moyennes Entreprises et Petites et Moyennes Industries (PME-PMI) sont peu nombreuses. La majorité des études sociologiques portant sur le fonctionnement des entreprises s'est surtout intéressée aux grandes entreprises, moins nombreuses et surtout moins vulnérables aux risques [MORIN99]. De telle sorte que nul ne sait aujourd'hui ce qu'il en est réellement dans le monde des PME-PMI, si ce n'est l'énoncé récurrent d'un certain nombre de constats qui prennent valeur de vérité :

- Une PME-PMI, à la différence d'un grand groupe, possède une structure simple et informelle dont le fonctionnement est centré sur l'entrepreneur. Celui-ci doit assurer à la fois le contrôle du fonctionnement de l'entreprise mais aussi la définition de son évolution stratégique au sein d'un marché très dynamique [MINTZBERG89]. La PME-PMI est généralement un maillon de différents réseaux composés d'autres entreprises mais aussi d'institutions publiques (inspection du travail, sécurité sociale, parfois des universités, des laboratoires de recherches, etc.) [JULIEN97]. Ces caractéristiques influent sur les relations entre la PME-PMI et le risque.

- Une perturbation, quelle que soit sa nature, n'aura pas les mêmes conséquences sur une « grande entreprise » que sur une PME-PMI. En effet, l'interruption de la production, l'indisponibilité d'une personne suite à un accident du travail, une rupture d'approvisionnement, une erreur dans un devis, sont autant d'événements qui s'avèrent généralement fatals pour la PME-PMI qui, ne pouvant honorer ses contrats, disparaît.

Les moyens humains et matériels dont disposent les grandes entreprises leur permettent de consacrer une partie, même faible, de leurs ressources à la mise en œuvre d'une politique de prévention et de gestion des risques. Dans le cas d'une PME-PMI, la prévention et la gestion des conséquences des risques incombent à l'entrepreneur, et à lui seul, en plus de la gestion au quotidien de l'entreprise. Le fait que la maîtrise des risques d'une entreprise requiert une expertise dans de nombreux domaines complique nécessairement la mise en place d'un processus d'identification et de maîtrise. Cela rend difficile l'évaluation et interdit toute « politique » en terme de gestion globale et durable des risques.

Ces caractéristiques font ressortir des besoins en matière de sensibilisation de l'entrepreneur et de ses salariés aux différents types de risques pouvant survenir au sein de l'entreprise, mais aussi un manque d'outils de prévention, de diagnostic et de gestion des crises appropriés au fonctionnement organisationnel particulier aux PME-PMI. Dans ce but, Grosjean propose de mettre en relation les différents acteurs du monde des PME-PMI (entrepreneurs, salariés, pouvoirs publics) pour qu'ils échangent sur les facteurs positifs et négatifs des pratiques de prévention des risques et ce, afin de favoriser un changement de la perception de l'intérêt de ces pratiques auprès des intervenants [GROSJEAN03]. La spécificité du fonctionnement organisationnel des PME-PMI [MINTSBERG89] incite à ne pas aborder les pratiques de gestion des risques selon une approche centralisée sur les entrepreneurs, mais plutôt comme un réseau d'organisations et d'acteurs qui mettrait en commun des ressources et des compétences pour gérer les risques.

Dans l'optique de mettre en œuvre une telle approche, une voie originale a été privilégiée dans cette thèse, postulant que les Technologies de la Communication et de l'Information (TIC) peuvent contribuer à une meilleure pratique de prévention par la coopération de différentes organisations. Les nouveaux modèles organisationnels reposant sur les TIC regroupés sous le concept d'organisation virtuelle [MEISSONIER00] ont été ainsi retenus.

Le recours au concept d'organisation virtuelle

Le concept d'organisation virtuelle est généralement associé à des entreprises dont l'existence des activités est étroitement liée à l'usage des Technologies de l'Information et de la Communication. Dans le cadre de ces travaux, une définition plus large et non réduite à la conception et à la réalisation de produits « numériques » a été retenue. Le postulat proposé est que le concept peut être élargi à tout type d'activité indispensable au bon fonctionnement des entreprises.

La littérature consacrée au concept d'Organisation Virtuelle est récente. Les définitions sont nombreuses [DAVIDOW92] [BYRNE93] [SAAKSJARVI97] [FAVIER97] [BELCHEIKH00]. Une organisation virtuelle se distinguerait de toute autre forme d'organisation d'entreprise par la prééminence de l'utilisation des Technologies de l'Information et de la Communication au sein d'un réseau d'acteurs appartenant à différentes entreprises ou institutions (pouvoirs publics, associations, centres de recherche, etc.).

Le propre d'une organisation virtuelle est qu'elle met en œuvre des processus de communication, d'échange, de coopération, de résolution de problèmes, de travail, sans que les unités de lieu et de temps n'exercent un caractère contraignant. Les acteurs ne se rencontrent physiquement que très rarement. Ils travaillent, communiquent, coopèrent

« à distance » via les TIC. Leur activité et leur production revêtent un caractère « ubiquitaire » [DAVIDOW92].

L'organisation virtuelle correspond ainsi à :

- un réseau d'acteurs impliquant des individus d'une même organisation - mais appartenant à différents services ou rattachés à différentes fonctions de l'entreprise (gestion – production – contrôle qualité - marketing …) – ou d'organisations (réseau d'entreprises, pouvoirs publics, etc.) différentes,

- ce réseau poursuit un objectif commun préalablement déterminé (i.e. la prévention et la gestion des risques),

- son vecteur de communication, d'information, voire de décision, repose sur les TIC.

Les questions scientifiques qui animent généralement le sujet des organisations virtuelles sont portées par les chercheurs des Sciences de Gestion. Ces derniers appréhendent ce concept en terme d'approches théoriques et empiriques visant à comprendre son apport aux performances organisationnelles et économiques dans la gestion des entreprises [MEISSONIER00]. Ils s'accordent à dégager deux principales perspectives quant à la mise en œuvre effective du concept. La première privilégie la rationalisation de l'activité, la seconde cherche à la faire évoluer.

La perspective de rationalisation de l'activité est motivée par un souci d'optimisation de l'outil de production. Les TIC apparaissent comme un vecteur de croissance externe [KAL00]. La production est réalisée par un réseau d'entreprises (de sous traitants) reliées par les TIC (workflow, EDI…).

La perspective de coopération intra-entreprises et/ou inter-entreprises est mue par la volonté de renforcer les liens de coopération entre les acteurs [AMABILE00]. Le principal objectif est de partager des connaissances, du savoir-faire, des expertises dans le but de créer des synergies, d'initier une culture autour d'un objet, d'un thème fédérateur. Les TIC sont dès lors considérées comme un « support cognitif » de l'organisation virtuelle permettant de capitaliser les connaissances organisationnelles produites par l'activité du réseau de partenaires [BARTOLI96].

C'est précisément ce second angle de réflexion qui a été privilégié dans cette thèse. L'objectif est de permettre la réalisation d'opérations fiables et pérennes dédiées à la sensibilisation, la prévention et la gestion des risques professionnels reposant sur la coopération entre les acteurs internes (le dirigeant et ses collaborateurs) et/ou externes (fournisseurs, concurrents, banques, assureurs, pouvoirs publics…) à l'entreprise.

La lecture de la problématique gestion des risques au sein des PME-PMI en terme d'organisation virtuelle doit permettre d'identifier un modèle composé d'individus et de systèmes technologiques. Ce modèle va fournir les nouveaux rôles devant être tenus par les acteurs des PME-PMI ainsi que le cahier des charges des logiciels d'analyse, de supervision et de gestion des risques à réaliser pour déployer un dispositif de gestion des risques au sein des PME-PMI.

Une organisation virtuelle est donc constituée d'individus et de dispositifs technologiques qui interagissent par l'intermédiaire d'un système d'intermédiation

électronique. Les propriétés et les mécanismes sous-jacents au fonctionnement de ce dispositif sont imparfaitement définis par le domaine des sciences de gestion. Il convient dès lors de retenir une approche permettant d'identifier les mécanismes devant être accomplis par un tel système. Pour cela le recours à la pensée complexe [MORIN84] est proposé.

Cette démarche induit un nouveau questionnement. Il s'agit en effet de retenir une forme de modélisation informatique apte à satisfaire aux exigences des notions et concepts préalablement retenus. Le concept d'organisation virtuelle provoque en effet une rupture technologique en matière d'architecture des systèmes d'information et du fonctionnement des composants logiciels. Au regard des besoins et des performances attendus, le paradigme de Système Multi-Agents (SMA) semble en mesure de contribuer à la formalisation et la réalisation de l'organisation virtuelle projetée.

De la conception et de la réalisation d'une organisation virtuelle de gestion des risques à l'aide d'une approche orientée agent

Le domaine des Systèmes Multi-Agents vise à étudier la résolution de problèmes par une collection d'agents autonomes. Concept central de ce domaine, le terme d'agent peut être défini comme une entité physique ou virtuelle capable d'agir dans un environnement et de communiquer avec d'autres agents. L'agent est mû par un ensemble de tendances (sous la forme d'objectifs individuels ou d'une fonction de satisfaction, voire de survie, qu'elle cherche à optimiser). Pour cela il possède des ressources propres et possède la faculté de percevoir son environnement dont il détient une représentation partielle. Son comportement tend à satisfaire ses objectifs en tenant compte des ressources et des compétences dont il dispose et selon sa perception, ses représentations et les communications qu'il reçoit [FERBER95]. Les agents logiciels composant un SMA sont des applications informatiques situées dans un environnement, capables d'agir de manière autonome et flexible dans le but de résoudre les problèmes pour lesquelles elles ont été conçues [JENNINGS98].

Les travaux menés autour des notions d'agents et de systèmes multi-agents offrent des perspectives pour la conception et la réalisation de logiciels dont la particularité est d'être perçus selon la pensée complexe et par conséquent constitués d'une ou plusieurs hiérarchies d'éléments en interaction [JENNINGS01]. Les approches de conception et de programmation orientées agent offrent des perspectives pour la simulation, la réalisation ou la supervision de ces dispositifs que l'on peut qualifier de « complexe ».

Le système d'intermédiation électronique étant conçu à l'aide de la pensée complexe, une approche agent doit permettre de mettre en œuvre les mécanismes identifiés. Il en est de même pour les fonctionnalités d'analyse, de supervision et de gestion des risques pour lesquelles les concepts et les outils de modélisation multi-agents offrent un support intéressant. Une approche de conception et de programmation orientées agent va, par conséquent, être utilisée pour aborder la réalisation d'un système d'intermédiation électronique et de fonctionnalités d'analyse, de supervision et de gestion des risques.

Au terme de ces multiples démarches, des modèles d'un système d'intermédiation électronique et d'un logiciel d'analyse des risques ont été conceptualisés et partiellement programmés à l'aide d'une approche orientée agent. Ils vont servir de support pour la mise en œuvre d'une organisation virtuelle de gestion des risques dédiée aux PME-PMI.

Structuration de la recherche

Le présent manuscrit est constitué de deux parties.

La première partie a pour finalité de présenter les différentes phases de conception ayant conduit à la définition des spécifications d'un dispositif technologique de gestion des risques professionnels qui prend en compte la spécificité organisationnelle des PME-PMI.

Le premier chapitre décrit les phases de déduction des caractéristiques d'un système de gestion des risques professionnels à destination des PME-PMI à partir de l'identification et de l'organisation des connaissances caractérisant la problématique de la perception et de la gestion des risques professionnels au sein de PME-PMI. Le concept de risque professionnel est décrit à l'aide des acteurs, du dispositif réglementaire et des outils dédiés à la prévention des risques professionnels. Les caractéristiques organisationnelles du fonctionnement des PME-PMI sont ensuite étudiées et en particulier leur perception du risque professionnel. A l'issu de ces deux étapes, une première analyse consiste à identifier les objectifs devant être remplis par le système de gestion des risques professionnels dédié aux PME-PMI. Dès lors, un processus de modélisation permet de construire un modèle fonctionnel d'un système de gestion des risques en interaction avec différentes composantes des PME-PMI.

Le deuxième chapitre est consacré à l'analyse du système de gestion des risques dédié aux PME-PMI à travers le modèle d'organisation virtuelle. Le concept d'organisation virtuelle est décrit et une démarche de modélisation permet de définir le concept de système d'intermédiation électronique qui désigne le cœur technologique d'une organisation virtuelle. Puis, l'utilité de recourir à l'organisation virtuelle pour aborder un dispositif de gestion des risques est démontrée et un modèle d'organisation virtuelle de gestion des risques à destination des PME-PMI est présenté. Enfin, ce modèle est confronté à un exemple concret d'entreprise avec pour objectif d'identifier d'une part, une décomposition fonctionnelle du système d'intermédiation électronique et d'autre part les caractéristiques d'un logiciel d'analyse des risques destiné à fournir les informations et les traitements nécessaires à la conduite d'une gestion effective des risques.

Le troisième chapitre s'intéresse à la démarche de réalisation concrète du système d'intermédiation électronique et du logiciel d'analyse des risques. L'approche suivie consiste à recourir aux outils de conception et de programmation basés sur les concepts d'agents et de système multi-agents. Un tour d'horizon du domaine des agents logiciel et des systèmes multi-agents est effectué en étudiant plus particulièrement les travaux, dont la finalité est proche des besoins identifiés précédemment, ainsi que les méthodes et les outils de programmation pouvant être repris. Puis une justification est proposée pour démontrer les avantages de l'utilisation de la programmation orientée agent pour aborder la conception et la réalisation d'un système d'intermédiation électronique et d'un logiciel d'analyse des risques. Un processus d'analyse des fonctionnalités d'un système d'intermédiation électronique à l'aide d'une approche agent permet de définir un modèle d'agent et de système multi-agents d'intermédiation. Enfin, une démarche de construction d'un logiciel de simulation et d'analyse des risques de systèmes technologiques reposant sur une approche agent est discutée.

La seconde partie de la thèse est consacrée à la présentation du processus de déploiement d'une organisation virtuelle de gestion des risques. Elle est constituée de

deux chapitres décrivant les phases de programmation d'un système d'intermédiation électronique et d'un logiciel d'analyse des risques à l'aide d'une approche agent.

Le quatrième chapitre détaille un modèle d'agent d'intermédiation reposant sur la plate-forme de conception JADE [BELLIFIMINE99]. Ce chapitre débute par la présentation des mécanismes offerts par JADE et de leurs extensions par un dispositif permettant l'échange d'information entre l'agent et différents dispositifs technologiques (une base de donnée, un serveur HTTP et un code de calcul). La structure de données de « Service » qui permet la représentation et la gestion des traitements offerts par les systèmes technologiques reliés à l'agent est ensuite présentée. Enfin, la structure de donnée de « Plan » qui permet la description et la gestion de modalités autorisant la création de nouvelles fonctionnalités à partir des Services gérés par l'ensemble des agents qui constituent le système d'intermédiation est discutée.

Le cinquième chapitre propose un prototype d'organisation virtuelle à base d'agents dédié à la sensibilisation, au diagnostic, à la supervision et à la gestion des risques en entreprise. La première partie du chapitre est consacrée à l'identification du rôle des utilisateurs et des traitements devant être fournis par la composante technologique de l'organisation virtuelle. La deuxième partie présente les logiciels développés et utilisés pour assurer les échanges d'informations, la gestion de ressources documentaires, le diagnostic de défaillances des produits et des moyens de production et l'analyse des risques d'une chaîne de production. La troisième partie décrit la construction de l'organisation virtuelle de gestion des risques avec la description des agents d'intermédiations et des Services conçus, mais aussi les traitements de recherche d'information, de gestion de la survenue d'une perturbation et de supervision réalisés à l'aide des mécanismes de gestion de Plans. Le chapitre s'achève avec la présentation des apports du prototype d'organisation virtuelle mis en oeuvre.

Une conclusion reprend les principaux acquis de cette thèse et esquisse de futures pistes de recherche.

Première Partie

Définition d'une organisation virtuelle à base d'agents pour contribuer à de meilleures pratiques de gestion des risques dans les PME-PMI.

Chapitre 1
Quelques considérations sur la gestion des risques dans les entreprises et en particulier dans les PME-PMI

« La vie est un jardin aux sentiers qui bifurquent. Chaque instant est carrefour, mais on ne le sait pas toujours »

Jean-Pierre Dupuy, Ordre et Désordre

Depuis plus de 20 ans, la PME-PMI a été systématiquement et partout placée sous les feux de l'actualité. Qu'il se soit agi de compétitivité, d'innovation ou d'emploi, les acteurs de la vie politique, sociale et économique ne cessent de rappeler qu'elle est l'une des institutions fondamentales de nos sociétés contemporaines. Si la PME-PMI est bel est bien un lieu source et moteur de l'économie, elle est aussi, de par ses activités, un objet sujet à la survenance de dangers multiples (incendies ou explosions, émissions de rejets polluants, accidents du travail, catastrophes naturelles, recours de clients ou de tiers, mouvements sociaux, espionnage industriel …).

Les études sociologiques visant à définir le fonctionnement des organisations, et plus particulièrement celles des entreprises ainsi que celles menées dans les domaines de prévention et de fiabilité des organisations, privilégient l'étude des entreprises possédant une structure solide, des services formalisés et ayant les moyens financiers de mettre en place les dispositifs technologiques et humains de prévention des risques. Ainsi, les petites et moyennes entreprises, dont le fonctionnement repose essentiellement sur un groupe restreint d'individus et dont les facultés de réaction aux perturbations sont limitées, font l'objet de trop rares travaux, tant dans le domaine de la prévention que dans la gestion des risques.

L'objectif de ce chapitre est d'identifier et d'organiser l'information concernant les risques professionnels et le fonctionnement des Petites et Moyennes Entreprises et Industrie (PME-PMI) dans le but d'en déduire un modèle fonctionnel d'un outil de gestion des risques. La première articulation du chapitre vise à présenter la spécificité organisationnelle de la PME-PMI et plus particulièrement son positionnement au regard de la gestion des risques professionnels dans le but d'identifier les caractéristiques d'un outil de gestion des risques. La deuxième articulation traite du cadre global de la gestion des risques professionnels dans les entreprises en détaillant notamment les réseaux d'acteurs, le contexte législatif et les outils de gestion associés. Enfin, après un travail de conceptualisation de l'information acquise sur le risque professionnel et les PME-PMI, un premier modèle d'outil de gestion des risques à destination des PME-PMI est proposé.

1.1 La PME-PMI et les risques professionnels

Les critères de définition d'une PME, selon les textes de la législation Française et Européenne, sont le nombre d'employés et le chiffre d'affaires. La législation Française

considère une entreprise comme une PME-PMI si elle est non filiale d'un groupe, et si son nombre de salariés est compris entre 10 et 500.

Toutefois, le plafond des 500 employés ne représente pas une condition discriminatoire suffisante puisque 99,9% des entreprises satisfont à ce critère et la majorité des entreprises comptant entre 200 et 500 employés ont souvent des positions importantes dans leur secteur d'activité et possèdent des structures solides qui les distinguent des entreprises de moins de 250 employés. Par ailleurs, considérant qu'une entreprise de 250 employés réalise rarement un chiffre d'affaire supérieur à 40 millions d'euros, la PME est définie par l'Union Européenne comme une entreprise indépendante, c'est à dire qu'elle n'est pas détenue à plus de 25% du capital par une entreprise, qu'elle emploie moins de 250 employés et que son chiffre d'affaire n'excède pas 40 millions d'euros. En outre, la Petite Entreprise est définie comme une entreprise indépendante qui emploie moins de 50 personnes et dont le chiffre d'affaire n'excède pas 5 millions d'euros.

Les analyses statistiques concernant les accidents du travail pour l'année 2001 en région PACA et en Corse [CRAMSE01], indiquent un écart important entre les entreprises de moins de 200 employés et les grandes entreprises. En effet 16600 accidents concernent les entreprises de moins de 10 salariés, 11200 celles de 20 à 49 salariés ; 7800 pour les entreprises de 10 à 19 salariés et environ 7200 pour celles de 50 à 99 salariés et seulement 5000 accidents concernent les entreprises de plus de 300 salariés.

L'objectif de cette section est de dégager les fondements d'une action de conception d'un outil visant à améliorer la perception et la gestion des risques professionnels au sein des PME-PMI. La problématique de la perception et de la gestion des risques professionnels au sein des PME-PMI est dans un premier temps étudiée puis, dans un deuxième temps les particularités organisationnelles des PME-PMI sont présentées et dans un troisième temps, un travail visant à caractériser la spécificité des démarches de sensibilisation des PME-PMI à la gestion des risques professionnels est décrit. Un ensemble d'hypothèses qui va guider le processus de construction d'un outils de sensibilisation et de gestion des risques professionnels est déduit.

1.1.1 L'évident écart entre une grande entreprise et une PME-PMI en matière de gestion des risques professionnels

Les données relatives au nombre d'accidents du travail énoncées précédemment illustrent un constat : la culture des risques au sein des PME-PMI diffère de celle des autres entreprises. Une synthèse des travaux menés au sein de l'INRS[1] permet d'isoler les caractéristiques de la perception de la prévention des risques au sein de ce type d'entreprise. Après étude de la littérature et des enquêtes terrains présentées dans [PHAM93] [FAVARO96] [FAVARO97] et [FAVARO99], la spécificité de la culture des risques au sein des PME-PMI peut être caractérisée.

D'une manière générale, les opérations de gestion des risques par les différents acteurs des PME-PMI, quel que soit leur secteur d'activité, sont absentes ou bien limitées au minimum nécessaire pour être en conformité avec la législation. La notion de risque s'est peu à peu banalisée au point de faire « partie du métier ». Pour illustrer cet état, des résultats d'études concernant l'analyse de la gestion des risques dans des entreprises de fabrication d'emballages légers en bois et de l'industrie porcelainière sont présentés dans [FAVARO96]. Ces exemples font ressortir une tendance à minimiser les

[1] INRS : Institut National de Recherche et de Sécurité

conséquences des risques, une absence de retour d'expérience sur les accidents, un faible intérêt pour les formations à la sécurité, la création d'un CHSCT[2] uniquement suite aux pressions de l'inspection du travail et essentiellement pour être conforme à la réglementation.

Cette absence de culture spécifique des risques au sein des PME-PMI n'est pas nouvelle. En effet, une étude datant de 1969 sur la promotion de la sécurité et l'hygiène du travail au sein des petites entreprises [WEISSENBERG69] et dont le contenu est reprit dans [FAVARO96] énonce un ensemble de constatations qui sont encore valables à ce jour :

- la difficulté d'appliquer les méthodes et les programmes de gestion des risques conçus pour les entreprises de grandes envergures aux PME-PMI,
- la primauté des considérations économiques par rapport aux besoins en matière de prévention pour les entreprises comptant de 1 à 20 salariés,
- la difficulté de faire adopter par les travailleurs soumis à un danger potentiel un équipement de protection individuelle adapté.

Une étude plus récente sur la stratégie de développement de la formation hygiène sécurité dans les PME [BESSENET92] énonce deux types de facteurs : ceux qui freinent et ceux qui facilitent la mise en place d'un tel dispositif. Les facteurs négatifs internes identifiés sont la vulnérabilité économique de l'entreprise, la faible disponibilité, le sous encadrement, la présence ou le fonctionnement insuffisant des structures de représentations du personnel et le manque d'expérience en terme d'accident. Sur le plan externe, l'auteur identifie la politique de tarification peu encourageante, une représentation négative des services de prévention ainsi que la difficulté de fournir des services pour chaque domaine d'activité des PME-PMI. Les facteurs internes identifiés, favorables à la mise en œuvre d'un dispositif de prévention, sont : le contact direct avec le chef d'entreprise, la structure « humaine » de l'entreprise, la souplesse de fonctionnement, les relations de proximité entre le patron et ses employés ou bien l'opportunité de l'introduction de nouvelles technologies. L'appartenance de l'entreprise à une organisation professionnelle, la mise en place de conventions d'objectifs ou bien le professionnalisme et la motivation des services de prévention peuvent ainsi constituer des facteurs externes de réussite.

Les principales problématiques liées à la mise en œuvre d'une politique de gestion des risques professionnels au sein des PME-PMI sont résumées dans [FAVARO99] et plus particulièrement les caractéristiques de la perception des risques des entrepreneurs. Le constat énoncé est que, malgré la difficulté de définir un modèle unique de PME-PMI, un ensemble de facteurs communs concernant la perception des risques peut être identifié. Ces facteurs sont : une faible consistance des relations entre la perception des risques et les actions menées et plus particulièrement entre les types de risques et les moyens de prévention associés, entre les types d'accidents et leurs causes attribuées et entre les nuisances indiquées et surveillées. Mais aussi, une tendance à minimiser la « dangerosité » des équipements en se réfugiant derrière les normes et règlements et à inférer une « dangerosité » reposant sur l'expérience d'accident grave. Le coût des accidents est généralement perçu d'une manière peu consistante ou erronée et leurs facteurs d'occurrence évalués de manière simplificatrice. En ce qui concerne les relations entre les opérations de prévention et les PME-PMI, le constat est la rareté de la

[2] CHSCT : Comité d'Hygiène, de Sécurité et des Conditions de Travail

recherche d'une assistance en terme de prévention malgré l'obligation juridique. Si l'ignorance de la loi et/ou des institutions d'assistance, du manque de temps, de ressources ou d'accès à l'information sont cités comme causes de ce désintéressement, Favaro insiste sur la contradiction entre le fonctionnement de la PME-PMI qui est orienté par l'action à court et moyen terme et la prévention qui cherche à long terme l'absence d'accident et/ou de maladie professionnelle, c'est-à-dire le « non événement ».

Dans le but d'illustrer ces caractéristiques, une situation rencontrée lors de nos expérimentations est présentée. Celle-ci démontre de manière pertinente, la spécificité des PME-PMI vis à vis de la prévention des risques professionnels [GUARNIERI00].

L'entreprise évoquée est une PME, au statut de SARL[3], spécialisée dans le montage de bâtiments à vocation industrielle et commerciale réalisés en structures, bardages et couvertures métalliques. Cette entreprise travaille uniquement au titre de « sous-traitant » pour le compte de PME de « taille » plus importante. Elle possède une cinquantaine de fournisseurs de matières premières et de produits semi-finis. L'entreprise compte une quinzaine de salariés, peu ou pas qualifiés, dont un tiers sont des intérimaires. Le dirigeant de l'entreprise, approchant la quarantaine, est titulaire d'un BTS (dessin industriel). Il a créé son entreprise suite à la faillite de son employeur. Il assure de multiples fonctions : étude de projets, devis, suivi de l'avancement des travaux, réunions de chantiers, approvisionnement des chantiers en petit matériel. Il a délégué les fonctions de secrétariat et de comptabilité à un cabinet d'experts-comptables. Après trois années d'existence, l'entreprise est viable. Pourtant on y dénombre vingt-deux « sinistres » de différente gravité : de « simples » accidents du travail, la destruction du véhicule d'un particulier par un engin de chantier, mais aussi le fauchage d'un piéton par l'un des salariés, se rendant sur un chantier, au volant d'une des voitures de la société. L'entrepreneur a été interrogé afin d'analyser sa perception de la dangerosité de son activité. A la question, « quel est le risque « majeur » pour votre entreprise ? », sa réponse est sans équivoque, « une mauvaise appréciation du coût de réalisation d'un chantier ! ». Par ailleurs, au moment de l'enquête, l'entrepreneur est contrôlé par un inspecteur du travail, dont les remontrances portent logiquement et principalement sur la sécurité des travailleurs et plus particulièrement sur le fait qu'un dispositif de protection permettant d'apposer le bardage sur les façades d'un bâtiment en toute sécurité n'est pas utilisé. L'entrepreneur ne conteste pas son utilité, bien qu'il partage avec ses salariés l'idée que son utilisation réduit considérablement la vitesse d'exécution de la tâche.

Cet exemple, loin d'être caricatural, permet de mettre aisément en exergue les caractéristiques citées plus haut :

- L'inspecteur du travail considère que l'activité de l'entreprise est à risque (risque de traumatismes multiples), l'entrepreneur minimise cet état et maximise le risque financier.

- Le dispositif de sécurité est perçu par l'inspecteur comme un élément fondamental de la sécurité des travailleurs. Pour l'entrepreneur et ses salariés, c'est un équipement perturbateur qui réduit « l'efficacité » du travail.

- L'entrepreneur ne possède qu'une vision incomplète, incertaine des risques et des dangers auxquels son entreprise est exposée.

[3] SARL : Société à responsabilité limité

- Le terrible accident de la route, avec ses conséquences, focalise toute l'attention de l'entrepreneur qui se concentre désormais sur les responsabilités qui lui incombent. La priorité n'est pas à ce moment là de traiter une affaire ou d'assister à une réunion de chantier.

- Après le choc émotionnel de l'accident, il s'agit pour l'entrepreneur de progressivement reprendre les fonctions et charges traditionnelles qui lui incombent le « bon » fonctionnement de l'entreprise.

Le constat est par conséquent le suivant : malgré la nécessité de respecter la législation concernant la prévention des risques professionnels, le nombre important de dispositifs d'information et d'outils de gestion, les chefs d'entreprises et les acteurs de PME-PMI peinent grandement à intégrer des préoccupations d'identification et de gestion des risques dans le processus de pilotage de leur entreprise. Dès lors, il convient de s'interroger sur les raisons d'un tel écart en étudiant la spécificité organisationnelle des PME-PMI.

1.1.2 Où la spécificité organisationnelle de la PME-PMI explique son manque d'intérêt à la gestion des risques professionnels

Si l'on se réfère à la définition d'une PME donnée par la CGPME[4] : « *les petites et moyennes entreprises sont celles dans lesquelles les chefs d'entreprises assument personnellement et directement les responsabilités financières, techniques, sociales et morales de l'entreprise, quelle que soit la forme juridique de celle-ci* » [HIRIGOYEN81] ; la caractéristique majeure qui ressort est l'importance du chef d'entreprise au sein de l'organisation.

Cette propriété caractérise les organisations dites entrepreneuriales [MINTZBER89] dont la structure est informelle et flexible et dans laquelle le pouvoir est concentré sur le chef d'entreprise qui exerce personnellement les opérations de contrôle à travers la supervision directe. Les processus de communication s'effectuent de manière informelle et sont généralement réalisés entre le dirigeant et les autres membres de l'organisation. Le rôle du chef d'entreprise est de réagir aux perturbations et à l'innovation dans le contexte d'une démarche entrepreneuriale tout en coordonnant le fonctionnement interne de l'entreprise.

L'entrepreneur est, par conséquent, au centre de l'organisation de la PME. D'après Marchesnay, les préoccupations principales d'un chef d'entreprise sont au nombre de trois : la recherche de la pérennisation et de la survie, la recherche de l'indépendance et de l'autonomie de décision, et la recherche de la croissance et du pouvoir [MARCHESNAY86]. Julien propose une typologie d'entrepreneurs composée de deux catégories, les PIC (Pérennité, Indépendance, Croissance) et les CAP (Croissance, Autonomie, Pérennité) [JULIEN97]. Un entrepreneur qualifié de PIC privilégie la pérennité de son entreprise. Il accorde une grande importance à l'évolution de son secteur d'activité puisqu'il y restreint son activité et les innovations apportées à son organisation. [KEPNER-TREGOE90] qualifie son champ de vision comme long mais étroit. L'entrepreneur CAP, quant à lui, privilégie la logique de valorisation à court terme des capitaux engagés en intervenant sur des secteurs risqués mais permettant de réaliser des marges de profits élevées. Il est préoccupé par le maintien de son autonomie de décision, nécessaire pour s'adapter aux modifications du marché et s'engouffrerait si besoin dans de nouveaux secteurs d'activité.

[4] CGPME : Confédération Générale des Petites et Moyennes Entreprises.

La spécificité de la PME-PMI s'explique par sa structure sociale mais aussi par la nature de ses relations avec son environnement économique.

Les caractéristiques de l'organisation sociale interne de la PME-PMI, et plus particulièrement sa simplicité et sa forte flexibilité, entraînent une dépendance à la dynamique de son environnement. Pour y faire face, la PME-PMI a tout intérêt à s'intégrer dans des réseaux et à mettre en place des accords de coopération inter-entreprises. Ils peuvent intervenir pour assurer la maîtrise d'un marché, permettre la diversification ou une spécialisation des activités de l'entreprise, assurer une meilleure maîtrise des coûts [DARBELET98], et enfin, accéder plus facilement et rapidement à de l'information sûre, nécessaire au pilotage stratégique de l'entreprise [JULIEN97]. Ces processus de coopération peuvent prendre différentes formes : réseau d'entreprises, "*hypogroupe*", filières ou chaîne logistique.

Un réseau d'entreprises peut se définir comme « *un ensemble de moyens et de principes permettant aux acteurs […] d'établir entre eux des relations génératrices de valeurs* » [BRESSANT89]. L'hypogroupe se caractérise « *comme un ensemble de petites entreprises unies entre elles par des relations financières, ces relations donnant à l'une d'entre elles (la holding), le pouvoir de décision sur les autres (les filiales)* » [DEBRAIS96]. La filière traduit l'ensemble des étapes de la production qui permet de passer de la matière première brute à l'objet final qui sera vendu sur le marché. Elle regroupe des activités complémentaires, et décrit un cheminement orienté des produits de l'amont vers l'aval [DARBELET98]. Le concept de chaîne logistique représente un réseau d'entreprises impliquées dans le processus de conception d'un produit ou d'un service, de l'acquisition des matières premières jusqu'à la vente au client du produit fini [GREGOIRE02].

Il paraît évident que la PME-PMI est soumise aux mêmes types de risques qu'une entreprise de grande taille. Néanmoins, les particularités de son organisation sociale engendrent des risques particuliers mais aussi des contraintes pour la mise en œuvre d'un dispositif de prévention des risques.

La gestion de la PME-PMI reposant essentiellement sur son chef d'entreprise, cela crée par conséquent une vulnérabilité supplémentaire. L'entrepreneur doit assurer la gestion de l'organisation tout en pilotant stratégiquement l'évolution de celle-ci. S'il venait à négliger les opérations de gestion opérationnelle au détriment des actions de stratégie ou, au contraire s'il venait à perdre de vue la stratégie à cause d'une surcharge de problèmes opérationnels, cela pourrait entraîner des dysfonctionnements importants. Enfin, si un changement s'avérait nécessaire, toute décision serait suspendue à la volonté du chef d'entreprise et s'il venait à résister, il n'existerait aucun moyen d'adaptation pour l'organisation [MINTZBERG89].

La mise en place d'un processus de gestion des risques au sein d'une PME-PMI nécessite d'allouer des ressources humaines et financières importantes. Une telle mobilisation semble difficile pour une PME et d'autant plus pour une très petite entreprise (TPE). En effet les salariés des PME sont généralement peu ou pas sensibilisés aux risques. Un entrepreneur pourra difficilement financer la formation et l'allocation d'une partie du personnel à la mise en œuvre régulière des démarches de prévention.

Ainsi, une PME-PMI peut s'appréhender comme une organisation entrepreneuriale réticulée. Au sein d'une telle organisation la mise en œuvre d'une politique de gestion

des risques ne peut s'envisager que par une démarche de sensibilisation du chef d'entreprise. La démarche à suivre est donc d'analyser les caractéristiques d'une démarche de sensibilisation des PME-PMI à la gestion des risques.

1.1.3 De la mise en place d'une politique de prévention des risques

Le questionnement repose sur la démarche à suivre afin de provoquer une rupture dans la perception, au sein des PME-PMI d'une politique de prévention des risques et enfin d'entraîner une utilisation des outils et méthodes spécialisés dans ce type d'action. Pour cela il semble intéressant de citer et retenir dans cette thèse les approches développées dans [GROSJEAN03] qui concernent une réflexion théorique sur l'apport des démarches marketing et psychosociale.

La démarche marketing proposée repose sur trois étapes. La première vise à créer un besoin en matière de prévention auprès des chefs d'entreprise. Pour cela l'auteur déconseille d'utiliser une argumentation négative centrée sur les coûts directs et indirects des accidents professionnels et des maladies professionnelles car une PME rencontre un accident en moyenne tous les quatorze ans. Par ailleurs, les chefs d'entreprise considèrent généralement de manière négative toute tentative d'interférence extérieure sur leurs propres pratiques de gestion. Dès lors, l'auteur préconise d'argumenter les principes de prévention à l'aide de considérations d'ordre moral, comme le souci de préserver la santé et le bien-être des employés. Il préconise aussi d'évoquer la possibilité d'éviter un grand nombre de perturbations comme l'absentéisme, le turn-over et les conflits sociaux puisque il est plus délicat pour les PME-PMI d'effectuer les opérations de répartition des charges des absents sur le reste des employés. Enfin, il conseille d'utiliser des arguments commerciaux, à savoir une politique de communication reposant sur les démarches de prévention mises en œuvre. La deuxième étape consiste à encourager la démarche d'achat de prestation de prévention. Pour cela il est nécessaire de minimiser l'incertitude de l'entrepreneur en expliquant clairement la nature de l'offre proposée en terme de services, de coût ou bien de délais de réalisation et en veillant à échelonner l'évolution des services afin d'être en adéquation avec l'état d'esprit de l'entrepreneur (urgence, rapidité, réactivité). La dernière étape consiste à assurer la mise en place d'une démarche à long terme puisqu'une action isolée peut difficilement entraîner des changements organisationnels.

L'approche psychosociale consiste à étudier la mise en œuvre d'actions visant à provoquer un changement d'attitude des entrepreneurs vis à vis des pratiques de prévention. Une démarche en cinq facteurs reposant sur les théories du changement d'attitude, de l'engagement et de l'élaboration du conflit est proposée. Le premier facteur encourage les discussions de groupe qui facilitent mieux que les discours théoriques les changements d'attitude et de comportement. Le deuxième conseille de réunir des groupes constitués de personnes qui se considèrent proches les uns des autres et partageant les mêmes préoccupations et les mêmes problématiques de sorte que si un des acteurs venait à modifier son point de vue cela faciliterait la remise en cause des autres intervenants du groupe. Le troisième facteur consiste à inciter les acteurs à exposer devant les autres personnes du groupe les raisons les incitant à infléchir leur position. Le quatrième point indique d'informer le groupe des arguments en faveur d'un changement d'attitude mais aussi les contres-arguments. En effet, l'objectif est de provoquer des discussions sur les points positifs et négatifs et éviter des comportements négatifs si un contre argument venait à être découvert par un des membres du groupe et provoquer une baisse de la crédibilité du message. Enfin, le dernier point invite à privilégier les discussions et les argumentations relatives aux facteurs qui freinent les changements de perception plutôt que sur les facteurs qui le nécessitent.

De l'étude de ces démarches deux hypothèses sont retenues dans cette thèse qui vont servir de support à la construction du dispositif de gestion des risques au sein des PME-PMI :

- La première hypothèse est la nécessité de proposer des démarches de prévention et de formation spécifiques aux caractéristiques organisationnelles et à la culture des PME-PMI.

- La seconde hypothèse correspond à l'intérêt de l'échange d'information et de point de vue entre les acteurs des PME-PMI (au sein de l'entreprise, entre entreprises) et des institutions de gestion du risque professionnel (inspecteurs sécurité sociale, inspecteurs du travail, …).

Ces deux hypothèses servent donc de point de départ au processus d'élaboration du dispositif de gestion des risques au sein des PME-PMI dont les finalités sont les suivantes :

- Provoquer une modification de la perception des risques par les acteurs des PME-PMI en offrant les moyens de capitalisation de l'expérience des acteurs du système de gestion des risques. Mais aussi en développant un dispositif d'échange d'expertise et d'information sur les thématiques relatives à la prévention et à la gestion des accidents.

- Permettre la réalisation d'opérations de diagnostic et de gestion des risques à l'aide d'outils prenant en compte la spécificité organisationnelle des PME-PMI.

- Prendre en compte les nouveaux risques que le système de gestion des risques engendre par son utilisation et fournir les mécanismes permettant de les gérer.

Préalablement à la définition et à la réalisation de ce dispositif, il semble pertinent d'aborder plus en détail le concept de risques professionnels dans le but d'identifier les acteurs institutionnels de la gestion des risques, le cadre législatif et les outils de gestion de ce type de risque existant. Ainsi les deux hypothèses retenues sont illustrées par le détail.

1.2 La gestion des risques professionnels dans les entreprises

Le risque professionnel peut se définir comme « *l'ensemble des risques que l'on encourt ou que l'on fait encourir aux tiers et aux biens du fait de son activité en situation de travail, dans et hors l'entreprise* » [GOGUELIN96]. Cette notion recouvre à la fois les risques à conséquences immédiates comme les accidents du travail et ceux à conséquences différées comme les maladies professionnelles ainsi que l'atteinte au bon fonctionnement psychologique de l'employé ou de sa vie familiale.

L'article L411-1 du code de la sécurité sociale définit la notion d'accident de travail comme « *l'accident survenu par le fait ou à l'occasion du travail à toute personne salariée ou travaillant à quelque titre que ce soit ou en quelque lieu que ce soit, pour un ou plusieurs employeurs ou chefs d'entreprise* ». Un événement est reconnu comme accident de travail s'il provoque une lésion de l'organisme humain, s'il existe un lien entre celui-ci et le travail et s'il survient en un lieu soumis à l'autorité ou à la surveillance de l'employeur.

L'article L461-1 du code de la sécurité sociale spécifie la notion de maladie professionnelle comme : « *toute maladie désignée dans un tableau de maladies professionnelles et contractée dans les conditions mentionnées à ce tableau […] Peut être également reconnue d'origine professionnelle une maladie caractérisée non désignée dans un tableau de maladie professionnelle lorsqu'il est établi qu'elle est essentiellement et directement causée par le travail habituel de la victime et qu'elle entraîne le décès de celle-ci ou une incapacité permanente […]. »*

La gestion des accidents du travail et des maladies professionnelles est d'autant plus importante que leur survenue entraîne des coûts directs et indirectes difficilement chiffrables [PHARN88]. Le coût direct correspond à l'ensemble des cotisations sociales versées par l'entreprise au titre des accidents de travail établis en fonction du nombre d'employés selon un taux variant d'une entreprise à l'autre et d'une année à l'autre. Les coût indirects correspondent aux coûts salariaux (le salaire et les indemnités dus à la victime et les salaires correspondant aux temps des autres employés dont l'activité a été perturbée par l'accident), aux coûts liés à la perte de production (arrêt de travail, diminution du rendement de travail de la victime après sa reprise, diminution du rendement des autres employés, des produits endommagés), au coût matériel (remise en état du poste de travail de la victime, réparation ou remplacement des outils ou machines endommagés), aux coût administratifs (frais d'enquête, embauche et formation de remplaçants, réorganisation de la production), aux coûts comptables (augmentation des primes d'assurances, honoraires d'experts), aux coûts commerciaux (pénalités par suite de retards de livraison, perte éventuelle de clients liée à la détérioration de l'image de marque de l'entreprise), aux coûts répressifs (sanctions pénales, cotisations supplémentaires, réparations complémentaires), aux coûts sociaux (dons et secours à l'accidenté et à sa famille), aux coûts de prévention (formation à la sécurité et propagande pour la prévention, renforcement des moyens de contrôle dans l'entreprise, salaires et équipements en matériel et service médicaux et de sécurité) ainsi

que divers autres coûts (altération du climat social au sein de l'entreprise, fuite de main d'œuvre devant une situation de travail considérée comme dangereuse…).

Dans le but d'appréhender convenablement les mécanismes de gestion des risques professionnels et ultérieurement comprendre la spécificité des PME-PMI vis à vis de ces risques, la démarche proposée, consiste à détailler le système d'acteurs chargé de l'information et du contrôle du respect de la réglementation puis de décrire les principales dispositions légales concernant cette notion et enfin de présenter un échantillon de méthodes et d'outils destinés à aider les entreprises à non seulement être en conformité avec la loi mais surtout à diminuer leur nombre d'accidents du travail et de maladies professionnelles.

1.2.1 Les acteurs de la gestion des risques professionnels

La prévention des risques professionnels est gérée par un ensemble d'institutions placé sous l'autorité du Ministère des affaires sociales, du travail et de la solidarité. Celui-ci a pour mission d'élaborer et de mettre en œuvre la politique publique en matière de prévention de la santé et de la sécurité du travail. Il établit les textes réglementaires (décrets, arrêtés, circulaires …). Le Ministère chargé du travail participe aux travaux du Conseil des Ministres Européens qui arrête des directives et programmes ainsi qu'à l'activité de multiples agences et réseaux européens. Il assure ensuite la transposition en droit français des décisions prises par l'Union Européenne, veille à leur application et à leur évaluation. Pour cela il dispose d'un double dispositif d'intervention publique fondé sur la direction des relations du travail et la direction de la sécurité sociale ; ces deux dispositifs sont coordonnés par le Conseil Supérieur de la prévention des risques professionnels.

Pour appréhender la description des différents acteurs de ce système trois catégories sont distinguées (Figure 1.1) :

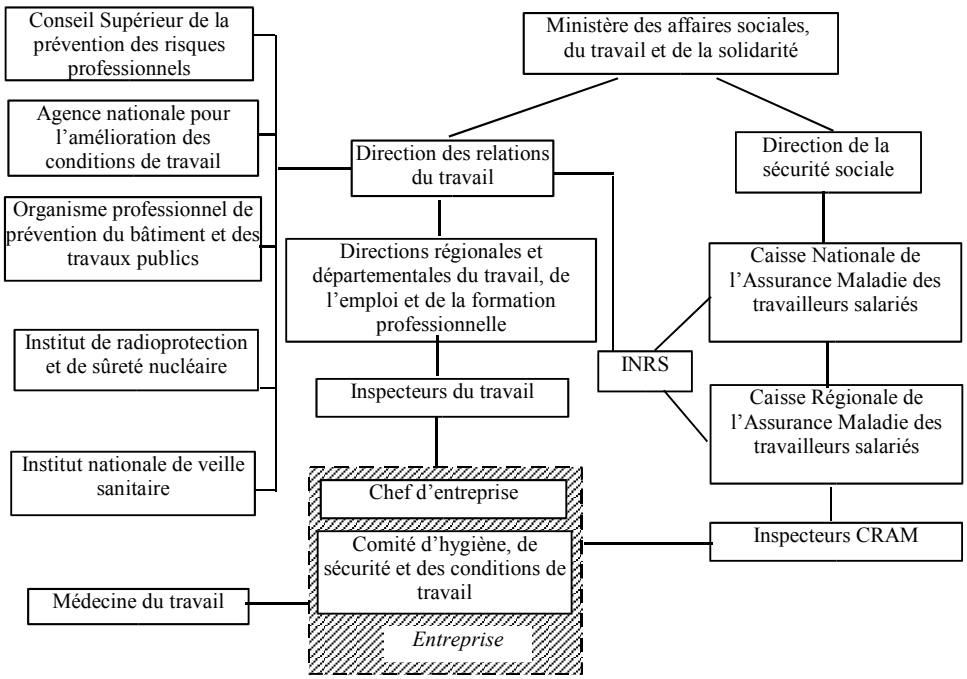


Figure 1.1 Système des acteurs de gestion des risques professionnels. Les trois catégories d'acteurs et d'institutions sont présentées : les acteurs de gestion des conditions du travail sous la tutelle de la Direction des relations du travail, les acteurs de la gestion de la sécurité sociale sous la tutelle de la Direction de la sécurité sociale et les acteurs de la gestion des risques au sein de l'entreprise.

- Les institutions de gestion des conditions du travail : La Direction des relations du travail ; L'agence nationale pour l'amélioration des conditions du travail ; L'organisme professionnel de prévention du bâtiment et des travaux publics ; L'institut de radioprotection et de sûreté nucléaire ; L'institut national de veille sanitaire et l'inspection du travail.

- Les institutions en charge de la gestion de la sécurité sociale : La Direction de la sécurité sociale ; les Caisses Nationales et Régionales de l'Assurance Maladie et des Travailleurs Salariés et l'Institut National de Recherche et de Sécurité.

- Les acteurs de gestion des risques au sein de l'entreprise : le chef d'entreprise, le comité d'hygiène, de sécurité et des conditions de travail et la médecine du travail.

Par la suite, ces trois catégories sont présentées en décrivant le rôle des différentes institutions qui les composent. L'énoncé de chacune d'elle peut paraître fastidieux. Dans tous les cas, il démontre la diversité et la richesse d'un réseau institutionnel trop souvent négligé ou ignoré par les entreprises. Cette liste est l'un des premiers jalons vers une culture des risques.

1.2.1.1 Les acteurs de la gestion des conditions du travail

La Direction des relations du travail a pour mission d'élaborer et de coordonner l'application de la politique publique de prévention, de la législation française et européenne en matière de santé et sécurité sur les lieux de travail. A cette fin elle dispose de différents organismes d'information et de conseil et d'un dispositif d'inspection déconcentré au niveau des directions régionales et départementales du travail, de l'emploi et de la formation.

L'agence nationale pour l'amélioration des conditions du travail (ANACT) est un établissement public géré par un conseil d'administration constitué de représentants des

employeurs et des salariés, des représentants de l'état et de personnalités qualifiées. L'ANACT a pour mission de venir en aide aux entreprises et aux partenaires sociaux pour analyser les conditions de travail et pour élaborer des projets en vue d'améliorer ces conditions, autour de l'axe majeur de l'organisation du travail. Elle intervient à la demande des acteurs de l'entreprise pour les aider à développer des projets innovants de changement concertés dans les domaines relatifs au contenu du travail et à son organisation. L'existence d'un dialogue social interne à l'entreprise est un préalable à son intervention. Elle développe des méthodes novatrices de changements technologiques, organisationnels et sociaux destinées à améliorer les conditions de travail et en assure la diffusion.

L'organisme professionnel de prévention du bâtiment et des travaux publics (OPPBTP) contribue à promouvoir la prévention des accidents du travail et des maladies professionnelles dans le secteur du bâtiment et des travaux publics. Il produit de l'information concernant la nature des risques professionnels à l'ensemble des parties prenantes à l'acte de construire, y compris celles dont l'intervention se situe en amont de l'opération de construction, elle même, (ex. : maîtres d'ouvrage, bureaux d'études, architectes…). Il conseille et assiste les professionnels dans ces domaines et sur les moyens d'améliorer les conditions de travail. A cette fin, il participe à leur formation par l'organisation de sessions de formation et, en particulier des coordonnateurs et chargés de fonctions de sécurité sur les chantiers. L'OPPBTP publie de nombreux documents et référentiels techniques, très utilisés par les entreprises. Il dispose à la fois d'ingénieurs de prévention, de délégués à la sécurité et de délégués à l'enseignement, largement présents sur le terrain. Ces techniciens conseillent les professionnels afin d'éviter "d'importer" des risques sur les chantiers, par une meilleure organisation du travail, par des choix judicieux de matériels. Ils conseillent aussi les entreprises sur les modes opératoires les plus sûrs, sur les chantiers eux-mêmes.

L'institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN) a pour objectif de centraliser, exploiter et conserver les informations relatives à l'exposition et à la surveillance médicale spéciale des travailleurs exposés aux rayonnements ionisants. Il vise aussi à servir d'appui technique aux différents inspecteurs et à la médecine du travail, à contrôler les sources de rayonnements des appareils et des ambiances de travail des entreprises, à participer en tant qu'expert au Conseil Supérieur de la prévention des risques professionnels, à produire de l'information sur l'exposition des travailleurs et enfin à donner un avis technique sur les textes réglementaires émis par le Ministère du Travail en ce qui concerne la protection des travailleurs.

L'institut national de veille sanitaire (InVS) a pour mission d'effectuer la surveillance et l'observation permanente de l'état de santé de la population, de participer au recueil et à l'analyse des données, à des fins épidémiologiques, de capitaliser, analyser et mettre à jour les connaissances sur les causes et les évolutions des risques sanitaires et de détecter tout événement pouvant altérer l'état de santé de la population. Différentes actions sont en cours afin de développer des méthodes de surveillance épidémiologiques des risques professionnels, d'améliorer les processus de collecte d'information sur les risques professionnels, de mettre en place un soutien méthodologique à la mise en œuvre d'études épidémiologiques dans des entreprises ou des secteurs professionnels, de diffuser et valoriser l'information sur les risques professionnels, de structurer le fonctionnement des différents acteurs de la surveillance épidémiologique des risques professionnels, et d'établir des relations avec la recherche et l'intervention.

L’inspection du travail est placée sous l'égide des Directions régionales et départementales du travail, de l’emploi, et de la formation. Elle est chargée d’une double mission de contrôle et de formation auprès des entreprises. Afin de contrôler le respect des dispositions du droit du travail dans les entreprises et plus particulièrement celles relatives à la sécurité et aux conditions de travail, les inspecteurs ont droit d’accès à l’entreprise. Ils peuvent se faire communiquer différents documents et procéder à des mesures, prélèvements ou à des vérifications techniques. Si des manquements à la réglementation sont identifiés, ils peuvent rappeler à l’employeur ses obligations, le mettre en demeure de faire cesser les infractions, dresser un procès-verbal ou saisir le juge des référés en cas d’urgence. Dans le même temps, les inspecteurs développent une importante activité d’information et de conseil auprès des salariés, de leurs représentants et des chefs d’entreprise en s’appuyant sur des experts tels les ingénieurs de prévention spécialisés dans des domaines techniques ou bien les médecins inspecteurs du travail.

1.2.1.2 Les acteurs de la gestion des accidents du travail et des maladies professionnelles

La Direction de la sécurité sociale a pour mission d’élaborer la politique de législation en matière d’indemnisation des accidents du travail et des maladies professionnelles. Elle s’appuie sur la Caisse Nationale de l’Assurance Maladie et des Travailleurs Salariés (CNAMTS). Cet établissement public conduit les missions suivantes : assurer le financement des assurances maladies, des accidents du travail et des maladies professionnelles ; définir et mettre en œuvre les mesures de prévention, d’éducation et de formation visant à améliorer l’état de santé de ses ressortissants; diminuer les accidents du travail et les maladies professionnelles ; enfin organiser et diriger le contrôle médical (Article L221-1 du code de la sécurité sociale).

Les missions de la CNAMTS sont relayées par seize Caisses Régionales d’Assurance Maladie (CRAM) dont le rôle est d’établir les statistiques concernant les accidents du travail et les maladies professionnelles de leur secteur, calculer et notifier aux entreprises leurs taux de cotisations « accidents du travail et maladies professionnelles » enfin, mener des opérations de prévention. Les caisses régionales disposent d’ingénieurs conseils et de contrôleurs sécurité qui ont droit d’entrée et de visite dans les entreprises : ils peuvent accéder à l’ensemble des documents relatifs à l’hygiène sécurité, ils peuvent procéder à des opérations de mesures ou à des enquêtes. En revanche, ils ne peuvent pas sanctionner les entreprises mais peuvent solliciter l’intervention d’un inspecteur du travail.

En appui de la CNAMTS et des CRAM, L’Institut National de Recherche et de Sécurité (INRS) a pour mission de former, informer, fournir une assistance technique et médicale, procéder à des études portant sur la thématique de la prévention des accidents du travail ou des maladies professionnelles et de l'ergonomie. L’institut dispose de moyens de recherche et de laboratoires qui lui permettent d'étudier les différents aspects de la prévention (risques physiques, chimiques, sécurité des équipements, ergonomie, …). Il procède aussi à des essais et à des certifications de matériels. L'INRS organise des stages de formation et édite des supports d'information spécialisés à destination des entreprises. Il assure un service d'assistance et d'orientation pour les entreprises sur les problèmes techniques, médicaux ou juridiques. Les travaux présentés précédemment (cf. §1.1.1) sur les pratiques de gestion des risques dans les PME-PMI sont issus des travaux de l’INRS.

1.2.1.3 Les acteurs de la gestion des risques au sein de l'entreprise

Au sein de l'entreprise, le chef d'entreprise est le responsable de la prévention des risques mais il est accompagné par d'autres acteurs. L'article L236-1 du code du travail impose à une entreprise de 50 salariés, la constitution d'un comité d'hygiène, de sécurité et des conditions de travail (CHSCT). Le chef d'entreprise ou son représentant préside ce comité qui est composé du chef de la sécurité et des conditions de travail, d'une délégation du personnel qui varie de 3 à 9 personnes élues pour deux ans par le comité d'entreprise et les délégués du personnel et toute personne de l'entreprise qualifiée sur un thème soumis au CHSCT. Le médecin du travail, l'agent de la Caisse Régionale d'Assurance Maladie, l'inspecteur du travail peuvent y participer à titre consultatif. Les attributions du CHSCT sont d'analyser les conditions de travail et les risques professionnels auxquels sont exposés les salariés, procéder à des inspections et des enquêtes, développer la prévention par des actions d'information et de sensibilisation, analyser les circonstances et les causes des accidents du travail ou des maladies à caractère professionnel et intervenir lors des décisions d'aménagement susceptibles d'avoir une incidence sur les conditions de travail, d'hygiène et de sécurité. Au sein des entreprises dépourvues du CHSCT, ce sont les délégués du personnel qui exercent les compétences de ce comité.

Le médecin du travail est un médecin spécialisé dont le rôle consiste à éviter l'altération de la santé des travailleurs du fait de leur activité. Il a pour mission d'exercer une surveillance clinique du personnel en relation avec les postes de travail. Par ailleurs, il étudie les actions à mettre en œuvre dans le cadre du lieu du travail et propose des actions correctrices. Il doit y consacrer un tiers de son temps. Il visite régulièrement les différents postes de travail et étudie sur place les risques et les conditions de travail propres à certains d'entre eux. Il fait effectuer, à la charge de l'entreprise, les prélèvements et les mesures qu'il estime nécessaires. Il reçoit du chef d'entreprise toutes les informations concernant la composition des produits employés, leur mode d'utilisation et les résultats des analyses effectuées.

Les actions de ce système d'acteurs de gestion des risques professionnels consiste à définir un cadre législatif de la gestion des risques professionnels, d'en informer les acteurs des entreprises et de contrôler sa correcte application. La suite de cette section consiste donc à présenter ce cadre législatif. Le choix a été fait de ne retenir que les textes fondamentaux.

1.2.2 Le cadre législatif des risques professionnels

La législation du travail s'est construite progressivement autour de la nécessité d'assurer la sécurité et la santé au travail. Dans cette section, les dispositions légales fixant les obligations légales de l'employeur sont brièvement décrites telles qu'énoncées dans le code du travail.

L'article L230-2 place le chef d'entreprise au centre du dispositif de prévention des risques professionnels en lui donnant la responsabilité de l'accomplissement des actions visant à assurer la protection de la santé de ses employés. A cette fin, il est chargé de la mise en œuvre des mesures suivantes :

- Eviter les risques.
- Evaluer les risques qui ne peuvent être évités.

- Combattre les risques à la source.
- Adapter le travail à l'homme, en particulier en ce qui concerne la conception des postes de travail ainsi que le choix des équipements de travail et des méthodes de travail et de production, en vue notamment de limiter le travail monotone et le travail cadencé et de réduire les effets nocifsde ceux-ci sur la santé.
- Tenir compte de l'état d'évolution de la technique.
- Remplacer ce qui est dangereux par ce qui n'est pas dangereux ou par ce qui est moins dangereux.
- Planifier la prévention en y intégrant, dans un ensemble cohérent, la technique, l'organisation du travail, les conditions de travail, les relations sociales et l'influence des facteurs ambiants, notamment en ce qui concerne les risques liés au harcèlement moral,[…].
- Prendre des mesures de protection collective en leur donnant la priorité sur les mesures de protection individuelle.
- Donner les instructions appropriées aux travailleurs.
- Evaluer les risques pour la sécurité et la santé des travailleurs, y compris dans le choix des procédés de fabrication, des équipements de travail, des substances ou préparations chimiques, dans l'aménagement ou le réaménagement des lieux de travail ou des installations et dans la définition des postes de travail. A la suite de cette évaluation, les actions de prévention ainsi que les méthodes de travail et de production mises en œuvre par l'employeur doivent garantir un meilleur niveau de protection de la sécurité et de la santé des travailleurs et être intégrées dans l'ensemble des activités de l'établissement et à tous les niveaux de l'encadrement.
- Lorsqu'il confie des tâches à un travailleur, il doit prendre en considération les capacités de l'intéressé et mettre en œuvre les précautions nécessaires pour assurer sa sécurité et sa santé;
- Consulter les travailleurs ou leurs représentants sur le projet d'introduction et l'introduction de nouvelles technologies […] en ce qui concerne leurs conséquences sur la sécurité et la santé des travailleurs.

L'article L231-3-1 lui impose de faire suivre à tout nouvel employé, ou lors d'un changement de poste, une formation en matière de sécurité. L'article L232-1 impose que les locaux d'une entreprise soient tenus dans un état constant de propreté et d'hygiène pour ne pas mettre en danger la santé des employeurs. L'article L233-5 stipule la nécessité de veiller à ce que la mise en place, l'utilisation, le réglage, la maintenance des moyens de production de l'entreprise ne mettent pas en péril la santé des employés ainsi que l'obligation de fournir et de concevoir des dispositifs de protection adéquats.

Les articles L231-8, L231-8-1 et L231-9 définissent les notions de « droits d'alerte et de retrait ». Ceux-ci permettent à un salarié de signaler à l'employeur toute situation de travail susceptible de présenter un danger pour sa vie ou sa santé, ainsi que toute défectuosité dans les systèmes de protection. Ils permettent également aux salariés de se retirer de leur poste de travail s'ils jugent que celui-ci les met en situation de danger. Un

accident du travail survenu à cause d'un danger et malgré son identification par les employés ou leur représentant s'avère être une faute inexcusable inhérente à l'employeur.

Les articles L232-1, L232-2 et L232-3 interdisent la consommation d'alcool au sein de l'entreprise ainsi que le maintien en activité des personnes en état d'ivresse.

Pour s'assurer de la mise en œuvre de ces opérations de prévention par le chef d'entreprise, le décret n°2001-1016 du 5 novembre 2001 impose à l'employeur de réaliser et de mettre à jour un document unique contenant l'ensemble des résultats de l'évolution des risques pour la sécurité et la santé des travailleurs. Celui-ci doit contenir un inventaire des risques identifiés pour l'ensemble des unités de travail et doit être mis à jour chaque année ou lors de décision d'aménagement d'un poste de travail pouvant modifier les conditions d'hygiène ou de sécurité. Ce document doit pouvoir être consulté par les personnes en charge de la gestion des risques au sein de l'entreprise ainsi que par les inspecteurs et contrôleurs du travail et des organismes de sécurité sociale (cf. §1.2.1).

Après les acteurs et le cadre législatif de la gestion des risques professionnels, il paraît nécessaire de présenter un ensemble de démarches, d'outils et de méthodes dont le but est d'aider les entreprises à réaliser des actions efficaces de prévention des accidents du travail et des maladies professionnelles.

1.2.3 Les outils existant en matière de gestion des risques professionnels

Pour mener à bien les opérations d'identification et de gestion des risques professionnels au sein des entreprises, différents outils sont disponibles. Ces outils peuvent prendre la forme, soit de fiches de description des risques pouvant survenir dans une entreprise, soit de méthode d'aide à l'identification des défaillances. Dans cette section, deux outils destinés à l'information des entreprises sur différents risques sont présentés. Ensuite sont décrites trois méthodes du domaine de la Sûreté de Fonctionnement [VILLEMEUR88] destinées à analyser les risques des systèmes technologiques, enfin deux approches visant à aider les entreprises à réaliser le document unique de prévention rendu obligatoire par les dernières évolutions du code du travail sont discutées.

Afin de formaliser les opérations d'identification des risques au sein d'une entreprise un ensemble d'information à identifier est proposé par le « Guide pratique de l'animateur de sécurité » disponible auprès de la CRAM Centre Ouest. Ces informations concernent l'entreprise (raison sociale, adresse, activités, effectif), les risques (mode de tarification des accidents de travail, taux de fréquence, taux de gravité), les contrôles périodiques (organismes vérificateurs, installations vérifiées, dates des vérifications), le CHSCT (composition et activité), l'organisation de la sécurité (agent de sécurité et fonctionnement), la formation du personnel (accueil, formation des cadres et maîtrises), l'organisation du service incendie (consignes et exercices), la propagande (affiches, périodiques, films et conférences, règlements intérieurs), le projet intérieur (modernisation, transformation et réimplantation), les sources d'énergie (vapeur, électricité, énergie hydraulique, gaz, sources radio-actives), l'impression d'ensemble (bâtiments, abords des bâtiments, dégagements, stockage, parcs, nombre d'ateliers).

L'évaluation de la sécurité d'un dispositif technologique peut aussi s'effectuer par le recours à différentes méthodes du domaine de la Sûreté de Fonctionnement [VILLEMEUR88] telles que l'Analyse Préliminaire des Risques (APR) et l'Analyse des Modes de Défaillances ou bien de leurs Effets et de leurs Criticité (AMDEC).

Pour identifier les risques relatifs à un dispositif technologique ainsi que leurs causes et la gravité de leurs conséquences, l'Analyse Préliminaire des Risques (APR) peut être utilisée. Celle-ci consiste à réaliser un tableau d'analyse à partir de l'expérience des ingénieurs et d'un ensemble de liste-guide d'entités et de situations dangereuses de différents corps de métiers. Un tableau APR est composé de onze colonnes qui permettent de décrire un ensemble d'entités et de situations dangereuses et d'accidents potentiels relatifs à un dispositif :

- Système ou fonction : la première colonne permet d'identifier le dispositif sur lequel porte l'analyse.
- Phase : cette colonne permet de préciser le mode d'utilisation ou la phase du cycle de fonctionnement du dispositif pour lequel il est source de risque.
- Entité dangereuse : certains composants du dispositif peuvent être intrinsèquement source de risque, cette colonne permet de les identifier.
- Evénement causant une situation dangereuse : il s'agit d'identifier les caractéristiques d'événements susceptibles de provoquer une situation à risque.
- Situation dangereuse : cette colonne permet de caractériser les situations pouvant résulter d'une situation identifiée à l'aide des colonnes précédentes.
- Evénement causant un accident potentiel : le passage d'une situation dangereuse à un accident potentiel s'effectue suite à la survenue d'un événement, une panne ou bien une erreur. Cette colonne permet de les identifier.
- Accident potentiel : cette colonne permet de caractériser les accidents survenus à la suite d'une situation dangereuse.
- Effets ou conséquences : cette colonne permet de décrire les conséquences ou les effets de la survenue des accidents potentiels.
- Classification par gravité : il s'agit d'évaluer la gravité des effets et des conséquences afin de les hiérarchiser.
- Mesures préventives : il s'agit de déterminer les actions à effectuer afin de supprimer ou maîtriser chaque risque identifié.
- Application de ces mesures : cette colonne permet de préciser un ensemble d'information nécessaire pour mettre en œuvre ces différentes mesures.

L'analyse préliminaire des risques peut être appliquée tout au long du cycle de conception et de production d'un dispositif mais aussi sur un système existant. Son utilisation entraîne généralement l'application d'autres méthodes d'analyse des risques et des dangers comme l'Analyse des Modes de Défaillances de leurs Effets et de leur Criticité (AMDEC).

L'AMDEC est une méthode qui a pour objectif d'analyser les conséquences des défaillances pouvant affecter un dispositif ainsi que des pannes pouvant altérer les propriétés de fiabilité, de sécurité, de "*maintenabilité*" et de disponibilité d'un dispositif. Elle permet d'identifier différents modes de pannes, d'établir une liste de celles qui influent sur les performances du dispositif, de mettre en œuvre des procédures de détection et d'actions correctrices, de réduire la fréquence d'occurrence et de proposer des choix techniques. Cette méthode servira dans le cadre de cette thèse de support à la réalisation d'outils logiciel d'analyse des risques (cf. §3.3).

La mise en œuvre de cette méthode se décompose en cinq étapes. La première consiste à définir précisément l'ensemble des composants sur lesquels la méthode va être appliquée en identifiant leur rôle au sein du dispositif global. Pour satisfaire la deuxième étape il s'agit de recenser pour chacun des composants la liste de leurs modes de défaillances et d'en déterminer les causes. La troisième étape consiste à étudier chacun des modes de défaillances pour identifier les effets sur le composant mais aussi sur l'ensemble des autres composants du système. La quatrième étape vise à hiérarchiser les modes de défaillances en fonction de leur criticité. Le calcul de cette criticité s'obtient en effectuant le produit entre la probabilité d'occurrence et le niveau de gravité. A cette fin, l'utilisateur utilise une matrice dont les colonnes correspondent à différents niveaux de probabilité d'occurrence (très faible, faible, moyenne, forte) et dont les lignes correspondent à différents niveaux de gravité des conséquences (effets mineurs, effets significatifs, effets critiques, effets catastrophiques. La dernière et cinquième étape de cette méthode consiste à réaliser une synthèse des informations identifiées en produisant un tableau qui contient pour l'ensemble des composants du système étudié une colonne permettant d'indiquer pour toute défaillance les causes internes, externes, les situations pouvant entraîner leur survenue, les effets, les valeurs de gravité, probabilité d'occurrence et de non détection, la criticité et enfin les actions à mener pour prévenir et gérer ce type de risque.

Afin de favoriser la tâche de l'entrepreneur à satisfaire la législation concernant la rédaction d'un document unique de prévention en vertu du décret R230-1 du 5 novembre 2001, plusieurs méthodes ont été produites notamment par différentes Directions Départementales et Régionales du Travail de l'Emploi et de la Formation Professionnelle ou bien par l'INRS.

Ces démarches sont généralement articulées en deux phases : la première consiste en une succession d'étapes organisées autour de la rédaction et de l'exploitation du Document Unique d'Evaluation et la seconde présente une base de connaissances sur les risques potentiels pouvant survenir au sein de l'entreprise.

La première méthode [DDTEFP] se compose de cinq étapes. La première de ces étapes consiste à réunir les acteurs en charge du processus pour caractériser les objectifs, les moyens et la méthodologie mise en œuvre pour produire et utiliser le document unique de prévention. La deuxième étape vise à évaluer les risques de l'entreprise par activité, unité ou poste de travail. Il s'agit d'identifier et de recenser l'ensemble des facteurs de risques présents dans l'entreprise et d'évaluer les modalités d'exposition des employés en prenant en compte leur travail réel. La troisième étape consiste à bâtir le programme des actions de prévention à mener au sein de chaque activité, unité ou poste de travail, mais aussi, de manière générale sur le fonctionnement global de l'entreprise. La quatrième étape correspond à l'accomplissement de ces différentes actions dont l'évaluation et la correction relèvent de la cinquième et dernière étape. Pour mener à

bien cette démarche, un ensemble de modèles de fiches est proposé. Celles-ci permettent d'associer les types de risques à chaque poste de travail, bâtir un plan d'actions de prévention ainsi qu'une base d'aide à la construction de plans.

La méthode élaborée par l'INRS [ED5018] repose sur quatre étapes. La première consiste à préparer l'évaluation en constituant un groupe de travail visant à définir le champ d'intervention, l'organisation, la méthode d'évaluation appropriée et le mode de diffusion des résultats. La deuxième étape vise à identifier les différents types de risques présents et à analyser l'exposition des travailleurs à partir de la documentation disponible, de l'observation des situations de travail et de l'écoute des opérateurs. La troisième étape est consacrée à la hiérarchisation des risques afin d'identifier des priorités pour proposer une planification. La dernière étape consiste à proposer des actions de prévention hiérarchisées selon les risques correspondants. L'ensemble des guides disponibles sur le site Internet de l'INRS est proposé comme support à la réalisation de cette démarche.

Les acquis des deux premières sections de ce chapitre font ressortir une richesse et une diversité des acteurs institutionnels, une réglementation abondante parfois difficile à comprendre et des outils d'analyse rigoureux cependant méconnus ou sous utilisés.

1.3 Elaboration d'un modèle de sytème de gestion des risques

L'idée de transférer ou d'adapter des méthodes issues et utilisées dans les grands groupes a été écartée. Il convient donc de proposer une autre voie de conception d'un outil de gestion des risques professionnels au sein des PME-PMI. La démarche adoptée consiste à identifier les caractéristiques d'un dispositif de gestion des risques à l'aide d'une démarche de modélisation /conception qui repose sur l'analyse systémique.

L'analyse systémique a pour objet de proposer des démarches théoriques, pratiques et méthodologiques visant à fournir des solutions de représentation, de modélisation et de simulation de phénomènes complexes reposant sur la notion de système [DURAND79]. Le principe de l'analyse systémique peut se résumer en quatre phases [DURAND79] [DONNADIEU02] :

- La première consiste à définir les finalités de la démarche de modélisation et d'identifier les éléments qui vont être pris en compte et les limites choisies pour la conception du modèle.

- La deuxième phase est dédiée au dessin du modèle en organisant l'information utilisée par le recours aux concepts de modélisation choisis.

- La troisième a pour rôle d'étudier le comportement du modèle dans le but de vérifier si ce dernier correspond aux objectifs initiaux.

- La quatrième et dernière phase consiste à utiliser le modèle afin de satisfaire les objectifs initiaux de la démarche de modélisation.

Par la suite, seule les deux première phases de la démarche d'analyse systémique sont mise en œuvre dans le but d'identifier les caractéristiques d'un modèle de gestion des risques et d'un modèle de dispositif de gestion des risques.

La section qui suit est articulée en quatre parties : les deux premières (cf. §1.3.1 et §1.3.2) présentent une réflexion sur la modélisation des composantes des PME-PMI et du dispositif de gestion des risques ; les deux suivantes (cf. 1.3.3 et §1.3.4) décrivent des modèles de PME-PMI et de dispositif de gestion des risques et l'interaction entre les deux modèles identifiés à l'aide des concepts énoncés dans les deux premières parties.

1.3.1 Les concepts de modélisation des composantes d'une organisation

Afin, de réaliser un modèle de PME-PMI et de dispositif de gestion des risques, il est possible d'utiliser différents concepts de modélisation. L'approche retenue consiste à utiliser la notion de système comme concept de modélisation.

De nombreuses définitions existent pour la notion de système, « ensemble d'éléments en interaction dynamique, organisés en fonction d'un but » pour J. De Rosnay [DEROSNAY75], « unité globale organisée d'inter-relations entre éléments, actions ou individus » pour E. Morin [MORIN77].

Un système se représente généralement comme une boite noire, au sein de laquelle des variables d'entrées se transforment en variables de sorties (cf. Figure 1.2).

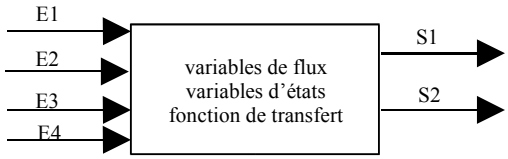


Figure 1.2 Représentation symbolique d'un système d'après [DONNADIEU02]. Ce concept permet de caractériser un dispositif à l'aide de variables d'entrées et de sorties qui sont reliées par des traitements dépendants de fonctions de transfert et de variables de flux et d'états.

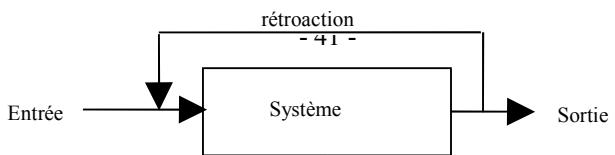
Le comportement d'un système est caractérisé par un ensemble de variables séparées en deux catégories : les variables de flux et les variables d'états.

- Les variables de flux traduisent l'écoulement d'une grandeur, mesurée par une quantité qui s'écoule entre deux instants.
- Les variables d'états traduisent la situation instantanée d'une des parties du système.

Un des concepts majeurs de la systémique est la notion de rétroaction, où une entrée du système dépend d'une sortie (Figure. 1.3).

Deux types de boucles de rétroaction sont considérées :

- Les boucles positives (dites explosives), sur lesquelles reposent la dynamique du changement. La ré-injection sur l'entrée des résultats de la sortie contribue à faciliter et amplifier la transformation déjà en cours. Les effets sont cumulatifs et on obtient un comportement divergent qui prend la forme soit d'une expansion infinie ou explosion, soit d'un blocage total de l'activité.
- Les boucles négatives (dites stabilisatrices), sur lesquelles reposent l'équilibre et la stabilité. La rétroaction agit en sens opposé de l'écart à l'équilibre de la variable de



sortie. Si la boucle de rétroaction se montre efficace, il y a stabilisation du système qui apparaît comme étant finalisé, c'est à dire tendu vers la réalisation d'un but.

Figure 1.3 Principe de la rétroaction. La possibilité de relier une sortie d'un système à une de ses entrées permet de représenter des mécanismes d'auto-contrôle ou de régulation naturels ou artificiels.

Afin d'étendre les possibilités offertes par la notion de système pour aborder la modélisation de phénomènes qualifiés de complexes, Edgar Morin propose d'utiliser un ensemble de concepts indissociables qui viennent s'ajouter à la notion de système et qui constitue la pensée complexe [MORIN77][FORTIN00] :

- L'**organisation** correspond à l'agencement de relations entre composants ou individus qui produit une unité complexe ou système, dotée de qualités inconnues au niveau des composants ou individus.

- Les **interactions** sont les actions réciproques modifiant le comportement ou la nature des éléments, corps, phénomènes en présence ou en influence.

- L'**ordre** désigne l'ensemble des invariances, contraintes, lois, répétitions ou constances qui constitue l'armature d'un système.

- Le **désordre** traduit les déviances (chocs, événements, accidents, bruits, erreurs, …) qui apparaissent dans un processus, le perturbent, le transforment.

Ces différents concepts sont reliés par un ensemble de relations, liées à l'évolution de l'organisation :

- Les interactions sont inconcevables sans désordre.

- Ordre et organisation sont inconcevables sans interaction.

- L'ordre ne s'épanouit que lorsque l'organisation crée son propre déterminisme et le fait régner dans son environnement.

- L'organisation a besoin de principes d'ordre intervenant à travers les interactions qui la constituent.

- Plus l'organisation et l'ordre se développent, plus ils tolèrent, utilisent, voire nécessitent du désordre.

Ces différentes relations peuvent se représenter sous la forme d'une spirale, d'une boucle tétralogique, se déroulant dans le temps avec une succession d'événements, tour à tour source d'ordre et source de désordre (Figure. 1.4).

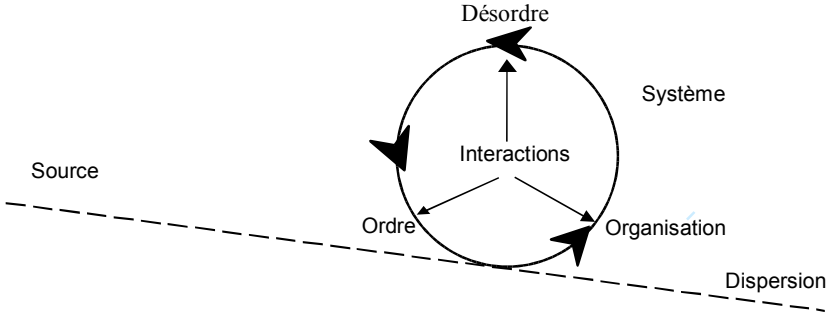


Figure 1.4 La boucle tétralogique [MORIN77]. Ce schéma illustre un ensemble de concepts de modélisation de la dynamique d'une organisation offert par la pensée complexe. L'organisation évolue selon une spirale issue de la succession d'interactions induisant des relations d'ordres et de désordres.

Les différents concepts de l'analyse systémique complétés avec ceux de la pensée complexe vont permettre de décrire les caractéristiques des PME-PMI et du dispositif de gestion des risques. Dès lors, il va s'agir de représenter les notions de dangers et de gestion des risques à l'aide de ces concepts.

1.3.2 Les concepts de modélisation des dangers et de gestion des risques

La PME-PMI a été représentée selon des concepts de la systémique et de la pensée complexe, il s'agit désormais de modéliser les notions de dangers, d'accidents et de gestion des risques. Dans ce but, différents mécanismes associés aux concepts précédemment étudiés peuvent être utilisés.

La modélisation à l'aide du concept de système repose sur la notion d'échange de flux d'information entre différents systèmes. L'idée de réguler ces flux est d'assurer la stabilité du système, c'est à dire faire en sorte que la fréquence et/ou l'amplitude du flux d'information ne s'écarte pas des valeurs de consignes du système. Cette notion est au centre des travaux menés dans le domaine de l'automatique et de la commande de système [DELARMINAT96]. Ainsi, un ensemble d'outils mathématiques a été développé pour modéliser et identifier les caractéristiques des systèmes d'asservissements. Par exemple, les transformées de Laplace, en z ou bien les diagrammes de Bode et de Nyquist permettent de calculer et vérifier le comportement des flux d'information de sortie d'un système selon la forme des signaux d'entrée et de la fonction de transfert.

Si l'approche de la commande des systèmes linéaires s'applique aisément pour des systèmes électroniques ou électromécaniques, il semble délicat de représenter les mécanismes sociaux, culturels, économiques et technologiques entrant en compte dans la dynamique des PME-PMI à l'aide d'outils mathématiques recourant à des fonctions et des diagrammes du domaine de la régulation des systèmes. En revanche, le modèle de gestion des crises au sein d'organisations modélisées à l'aide des concepts de la pensée complexe décrit dans [MORIN84] semble plus pertinent pour aborder la dynamique liée à la gestion des perturbations au sein des organisations. Pour illustrer les différents concepts de ce modèle, un ensemble d'exemples est utilisé. Ceux-ci sont issus d'une étude visant à appliquer une méthode d'auto-diagnostic des risques à différentes PME-PMI de la région PACA [RIGAUD01].

Le point de départ du cycle d'évolution d'une organisation correspond à la survenue d'une perturbation, c'est-à-dire un événement qui va induire un dysfonctionnement au sein du système. Deux types d'événements sont distingués : les exogènes, et les endogènes au système. Dans le premier cas, il peut s'agir d'événements, d'incidents, ou d'accidents issus de l'environnement du système (crue d'une rivière ou d'un fleuve, route coupée, installation d'un concurrent, explosion d'une usine à proximité, …). Dans l'autre cas il va s'agir d'un dérèglement de processus apparemment non perturbateurs qui peuvent se classer en deux catégories :

- La surcharge, qui correspond à l'impossibilité du système à résoudre des problèmes qu'il résolvait en deçà de certains seuils. Un tel cas est survenu dans la PME présentée précédemment (cf. 1.2.4) où l'entrepreneur n'assure plus son rôle de gestion à cause du nombre important d'accidents à traiter simultanément [GUARNIERI00]

- Le double-bind, dans lequel le système, coincé entre deux exigences contraires est paralysé, perturbé et déréglé. Cette situation correspond à l'exemple présenté, là encore, précédemment (§1.2.4) où l'entrepreneur se trouve confronté à un choix : soit utiliser un dispositif de prévention pour être en conformité avec la législation et les attentes de son inspecteur du travail, soit ne pas l'utiliser et ainsi ne pas compliquer la tâche de ses salariés et ne pas diminuer leur rendement .

La seconde phase du cycle d'évolution débute par la détection par l'organisation d'une perturbation. Dès lors, celle-ci se trouve en situation de crise, c'est à dire en situation de décision face à la survenue de l'événement et aux dysfonctionnements qu'il entraîne mais aussi en situation d'indécision à cause des incertitudes liées à la survenue du phénomène qui, en situation normale, demeure invisible.

Les actions menées pour sortir une organisation d'une crise entraînent un ensemble de phénomènes :

- L'aggravation des déviances du système par l'intermédiaire de boucles de rétroaction positives qui les entretiennent, les accentuent et les amplifient.

- La mutation rapide des relations entre les différents individus, groupes ou classes, par la mise en place de différentes stratégies (« chacun pour soi », « chacun pour tous », « chacun contre chacun », …) d'autant plus variables et éphémères que la situation de crise est profonde et s'accélère.

- La multiplication des conflits et des blocages au sein de l'ensemble des groupes organisationnels prenant part à la crise.

- Le déclenchement de processus de recherche destinés à solutionner de manière innovante les différents blocages et sortir l'organisation de la crise.

- La recherche des responsabilités qui engendrent deux types de comportements antagonistes, lesquels sont la recherche de l'origine de la perturbation et des causes de sa survenue, et la recherche des coupables réels ou imaginaires qui vont servir de boucs émissaires le cas échéant.

La survenue d'une crise au sein d'une organisation provoque des dysfonctionnements, des blocages mais entraîne parfois des processus d'innovation. Ainsi, suivant l'importance des effets négatifs sur les effets positifs, on peut assister à un changement de l'organisation soit régressif soit progressif.

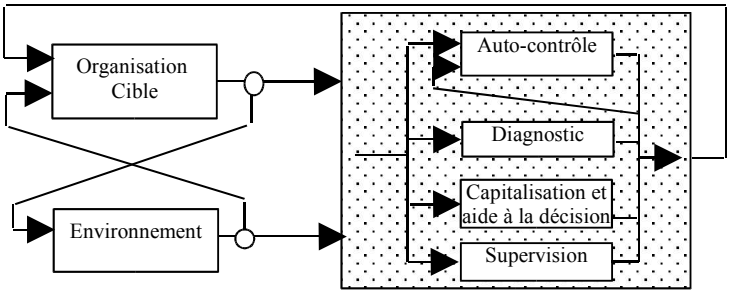
Les changements régressifs correspondent aux situations dans lesquelles la structure de l'organisation enregistre la perte de ses propriétés les plus fragiles et où seules les plus anciennes et les plus rigides résistent. Les changements progressifs désignent les situations où l'organisation acquiert des qualités, des propriétés nouvelles au sortir de la crise. Dans le cadre de nos investigations, un entrepreneur a été rencontré, celui-ci à vu son activité croître après une inondation. En effet, après avoir été obligé de stopper son activité pendant trois semaines, il a pu reprendre celle-ci avec un carnet de commandes

important suite aux réparations à effectuer sur l'ensemble des entreprises et des constructions touchées par l'inondation.

Les différents concepts présentés vont permettre de concevoir un modèle de PME-PMI et un modèle de système de gestion des risques. Ils vont servir de base de départ pour développer un ensemble d'outils de gestion destinés à aider les entrepreneurs à mettre en œuvre une politique de gestion des risques professionnels. Cette démarche requiert au préalable la construction d'un modèle de PME-PMI puis d'un dispositif de gestion des risques.

1.3.3 Les composantes du modèle de PME-PMI

L'objectif de la démarche d'identification des composantes d'un modèle de PME-PMI consiste à appliquer la démarche présentée précédemment (cf.1.3.1) sur un modèle de



représentation d'une organisation [HATCH00]. Les constituants de ce modèle peuvent être à l'origine d'une perturbation ou bien fournir des éléments contribuant au fonctionnement d'un système de gestion des risques décrit dans la section suivante (cf. §1.3.4).

La première étape du processus de construction du modèle consiste à identifier les différents constituants du système PME-PMI avec lesquels le dispositif de gestion des risques va interagir. L'analyse repose sur les modèles développés selon la théorie des organisations et plus particulièrement sur le modèle présenté dans [HATCH00]. Celui-ci considère une entreprise comme un système généré par l'interaction entre une structure sociale, une structure physique, une culture, une technologie, le tout interagissant dans un environnement complexe et dynamique [HATCH00] (Figure 1.5.).

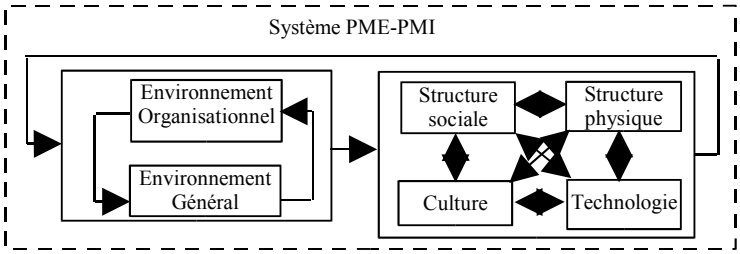


Figure 1.5 Le système PME-PMI d'après [HATCH00]. Ce modèle présente les composantes qui permettent de décrire le fonctionnement interne (structure sociale, structure physique, culture et technologie) et externe (environnement organisationnel et environnement général) d'une PME-PMI.

Par la suite, les différentes composantes du système PME-PMI sont présentées. Une description des concepts sous-jacents à chacun d'eux est effectuée ainsi qu'une analyse de leur lien avec la problématique de gestion des risques.

1.3.3.1 Le sous-système environnement

Dans la théorie des systèmes, l'environnement désigne le cadre au sein duquel se meut le système [DURAND79]. Le fonctionnement de l'entreprise, et plus particulièrement d'une petite entreprise, dépend fortement de son environnement. Celui-ci est fréquemment divisé en deux couches : l'environnement organisationnel et l'environnement général [HATCH00].

L'environnement organisationnel désigne l'ensemble des organisations avec lesquelles une entreprise interagit [MORIN99][HATCH00]. Le fonctionnement d'une entreprise nécessite en priorité un ensemble d'interactions à caractère économique avec des clients et des fournisseurs. Les clients sont des individus ou des organisations qui aspirent à acquérir un produit ou un service correspondant à leurs attentes et aux meilleurs prix possibles. Les clients représentent la principale ressource financière de l'entreprise. Celle-ci doit s'approvisionner en matière première, auprès d'autres entreprises, les fournisseurs, pour pouvoir fournir le produit ou le service demandé. Pour faciliter le développement du produit ou du service de l'entreprise, des interactions peuvent être mises en œuvre avec des partenaires ou des sous-traitants pour partager les tâches à accomplir, avec des organismes financiers pour obtenir des prêts dans le but d'aider à financer les ressources nécessaires au fonctionnement de l'entreprise. Les entreprises ayant des objectifs similaires sont en situation de concurrence au niveau des produits, des fournisseurs mais aussi des salariés. L'entreprise peut être en relation avec des syndicats, dont l'objectif est de servir de régulateur entre entrepreneurs et employés et de défendre les intérêts collectifs des professions.

Le fonctionnement de l'entreprise est fortement influencé par l'environnement proche mais d'autres événements provenant de sphères plus générales ont une répercussion sur sa dynamique. Ceux-ci peuvent venir de différents secteurs qui constituent l'environnement général : social, culturel, légal, politique, économique, technologique et physique [HATCH00]. Le secteur social désigne les dynamiques liées à la stratification en classes, aux modèles de mobilités, aux styles de vie et aux institutions sociales traditionnelles (systèmes éducatifs, pratiques religieuses, commerces et professions). Le secteur culturel représente des notions comme l'histoire, les traditions, les attentes dans les comportements et les valeurs de la société ou des sociétés dans lesquelles l'organisation fonctionne. Le secteur légal définit les lois, règlements des pays dans lesquels l'organisation s'approvisionne, réalise et/ou commercialise sa production. Le secteur politique concerne la répartition et la concentration du pouvoir et de la nature des systèmes politiques. Le secteur économique se compose du marché du travail, des marchés financiers et des marchés des biens et des services. Le secteur technologique fournit les connaissances et les informations sous forme de développements scientifiques que l'organisation peut acquérir et utiliser pour mettre en œuvre ses produits et/ou ses services. Le secteur physique concerne les conséquences des éléments naturels et les préoccupations concernant les ressources naturelles.

L'environnement global et organisationnel de la PME-PMI contiennent des éléments susceptibles d'intervenir dans les processus de gestion des risques mais sont aussi la source de dysfonctionnements.

Les acteurs institutionnels hormis les inspecteurs, le cadre législatif et les outils de gestion associés aux risques professionnels sont des composantes de l'environnement global de l'entreprise. Les inspecteurs CRAM et du travail, le médecin du travail appartiennent quand à eux à l'environnement organisationnel de l'entreprise. Un des

enjeux du système de gestion des risques sera de mettre en relation ces éléments de l'environnement global et organisationnel de la PME-PMI avec ses composantes internes.

L'environnement organisationnel de l'entreprise peut être source de perturbations notamment lors d'un changement législatif, avec l'introduction de nouvelles normes ou bien avec l'identification de la dangerosité d'une pratique ou d'un produit utilisé par la PME-PMI. L'environnement global fournit de nombreuses autres sources de perturbations liés aux entreprises situées à proximité de la PME-PMI ou bien à des éléments spécifiques (forêts, fleuve, …).

1.3.3.2 Le sous-système social

La structure sociale d'une organisation est composée : d'une hiérarchie d'autorité, d'une division du travail, d'un système de règles et de procédures formalisées [WEBER46]. La hiérarchie reflète la répartition de l'autorité parmi les fonctions organisationnelles et l'autorité accorde au titulaire de la fonction certains droits, dont celui de guider, de punir ou de récompenser. La division du travail définit la répartition des responsabilités, elle attribue les postes, relie les individus les uns aux autres et s'intéresse aux modes de regroupement de travail. Les règles et les procédures précisent la manière dont les décisions devraient être prises et les processus réalisés contribuent à la coordination en vérifiant que les activités souhaitées soient accomplies correctement.

Mintzberg [MINTZBERG96] caractérise la structure de l'entreprise comme la somme totale des moyens employés pour diviser le travail en tâches distinctes et pour ensuite assurer la coordination nécessaire entre elles. Pour représenter cette structure, il propose un modèle constitué de cinq composantes. Le centre opérationnel désignant les opérateurs qui accomplissent les tâches indispensables à l'élaboration du produit ou des services de l'organisation. Le sommet stratégique réunissant le ou les dirigeants en charge du pilotage stratégique. La ligne hiérarchique qui sert d'interface entre le centre opérationnel et le sommet stratégique. La technostructure, qui correspond aux différentes fonctions de planification et de contrôle du travail, indépendante du contrôle hiérarchique. Le support logistique symbolise les services annexes qui permettent un fonctionnement correct de l'organisation (cafétéria, service postal, conseil stratégique, …). Selon la nature de l'organisation, les différentes fonctions sont plus ou moins développées. Une typologie d'organisation est proposée : l'organisation entrepreneuriale qui correspond aux PME-PMI mais aussi l'organisation mécaniste, l'organisation divisionnalisée, l'organisation professionnelle et l'organisation innovatrice [MINTZBERG89].

Le modèle de Mintzberg permet de représenter les relations d'interactions entre les différentes catégories d'acteurs de l'entreprise. Au sein des PME-PMI ceux-ci doivent remplir un ensemble de missions qui se déclinent en cinq composantes : la direction, le commerce, la finance, la production et la gestion des ressources humaines [BARANGER98].

La structure sociale est une des composantes majeures du modèle de PME-PMI. Un des objectifs des travaux menés dans cette thèse consiste à insérer de nouvelles relations entre les acteurs de la PME-PMI relatives à la prévention, au diagnostic et à la gestion des risques professionnels.

1.3.3.3 Le sous système physique

La structure physique d'une organisation caractérise les relations entre les différents éléments physiques la constituant et plus particulièrement les bâtiments et leur localisation, les équipements techniques, les meubles ainsi que la décoration. Trois domaines visent à aborder ces différentes thématiques : la géographie organisationnelle, la disposition et le design [HATCH00].

Le concept de géographie organisationnelle s'intéresse à la distribution spatiale des localisations dans lesquelles une organisation est présente et aux particularités physiques de chaque localisation. Les caractéristiques spatiales influent sur l'activité de l'entreprise, elles conditionnent les moyens de transport pouvant être utilisés (proximité d'un port, d'un aéroport, d'un échangeur d'autoroute …), elles ont un impact sur le fonctionnement économique et stratégique de l'entreprise (proximité des fournitures, des clients, des organes de réglementation, des institutions de financement, des universités, …). La disposition concerne la répartition des bureaux, des postes de travail, les affectations des lieux communs (cafétéria, salles de conférences, aires de repos,…), le choix de l'agencement des bureaux et du regroupement du personnel par fonctions. La disposition des ateliers de production doit être étudiée pour éviter des dysfonctionnements et optimiser l'utilisation des différents outils. La structure physique de l'organisation dépend aussi des choix architecturaux des bâtiments, de l'aménagement des bureaux (éclairage, traitements des plafonds, revêtement des sols, …). Le domaine du design vise ainsi à étudier les caractéristiques internes et externes de l'entreprise pour en améliorer le fonctionnement global. Le choix de l'aspect extérieur et de son aménagement intérieur peuvent servir à illustrer sa stratégie (stratégie de coût minimal, sobriété, …).

Le sous-système physique peut être à l'origine de la survenue de perturbations pouvant mettre en difficulté la PME-PMI. Il peut s'agir d'un atelier mal agencé, dépourvue d'aération et d'isolation ou bien mal protégé contre les incendies. Ce sous-système peut être affecté par la mise en œuvre de pratiques de prévention et de gestion des risques, notamment avec des modifications de la disposition des machines de production ou d'éléments sensibles.

1.3.3.4 Le sous-système culturel

Le concept de culture, apparu dans la littérature concernant les organisations dans les années 80, se rapporte à l'ensemble des croyances et pratiques qui permet aux membres d'une organisation donnée de s'adapter à son environnement. Dans cette approche on considère de fait que les membres de l'entreprise (et ce quel que soit leur rôle) ne sont plus de simples exécutants, mais des acteurs à part entière du fonctionnement de cette dernière. La définition la plus largement acceptée est donnée par Schein [SCHEIN89]: "*La culture peut être définie comme un échantillon d'hypothèses de base, inventée, découverte et développée par un groupe donné dans le but de gérer ses problèmes d'adaptation externe et d'intégration interne, qui a assez bien fonctionné pour être considérée comme valide, qui est par conséquent enseignée aux nouveaux membres comme étant la manière correcte de percevoir, penser et ressentir* ». Sainsaulieu met, lui aussi, l'accent sur cette dernière idée en définissant la culture dans les organisations comme un système de représentations communes portant sur le travail, la technique, les fonctions, les relations et un code de vie, c'est-à-dire sur la façon d'agir pour produire, communiquer, contrôler, décider, informer... [SAINSAULIEU97]. La culture peut être appréhendée selon plusieurs niveaux, ou strates, successifs allant d'un cœur à la

périphérie. Mitroff et al. proposent le modèle de la culture en "pelures d'oignons". La culture est alors composée d'un cœur regroupant les valeurs et les croyances auxquelles sont attachées les membres d'une organisation et d'une périphérie correspondant aux manifestations physiques de la culture [MITROFF89]. Entre ces deux extrémités, se situent les différentes pratiques telles que normes, cérémonies, héros, rites, artefacts, mises en œuvre quotidiennement.

L'absence de culture des risques au sein des PME-PMI, largement discuté (cf. §1.1.1) est une des hypothèses ayant conduit à la réalisation de ce travail de thèse. Par conséquent les résultats attendus vis-à-vis du fonctionnement d'un dispositif de gestion des risques est la construction d'une culture des risques au sein des PME-PMI.

1.3.3.5 Le sous-système technologique

La technologie concerne l'ensemble des moyens utilisés par l'organisation pour permettre la réalisation des produits et/ou les services qui justifient son activitée. Elle comprend les objets physiques (produits, outils ou équipements) utilisés dans la production, des méthodes de productions et des connaissances nécessaires pour développer et utiliser les outils [HATCH00]. Différentes typologies permettent d'aborder la description des technologies. Woodward distingue la production à l'unité et en petites séries, la production en grandes séries et de masse et la production en continue [WOODWARD58]. Thompson identifie les technologies linéaires, les technologies médiatrices et les technologies intensives [THOMPSON67].

La composante technologique d'une entreprise est une source importante de perturbations. Les accidents du travail sont généralement le fruit d'une mauvaise interaction entre les éléments de la composante sociale et la composante technologique. Par conséquent les traitements de gestion des risques vont devoir influer sur la composante technologique et sur ses interactions avec la composante sociale.

Les constituants du système PME-PMI présentés correspondent aux éléments qui vont interagir avec le dispositif de gestion des risques. Chacune d'entre elles peuvent être à l'origine de défaillances et sont la cible des résultats des traitements de gestion des risques. A présent il s'agit d'identifier les systèmes constituant le système de gestion des risques qui va interagir avec le système PME-PMI.

1.3.4 Les composantes du modèle de système de gestion des risques

Le modèle de système de gestion des risques professionnels proposé est le résultat d'un processus de construction reposant sur les hypothèses d'élaboration et les objectifs d'un dispositif de gestion des risques identifiés précédemment (cf. 1.1.3) et sur les caractéristiques du système de gestion des risques professionnels et des PME-PMI.

Il est constitué de quatre sous-systèmes inter-reliés au système PME-PMI, le système de diagnostic, le système de supervision, le système de capitalisation et d'aide à la décision et le système d'auto-contrôle (Figure 1.6).

Figure 1.6 Le système de gestion des risques. Ce modèle est constitué des éléments qui permettent de décrire le fonctionnement d'une PME-PMI (organisation cible et environnement) et leurs interactions avec un système de gestion des risques qui est constitué de composantes de diagnostic, d'aide à la décision, de supervision et d'auto-contrôle.

Chacun des sous-systèmes conçus est présenté.

1.3.4.1 Le sous-système de diagnostic

Le sous-système de diagnostic a pour finalité de détecter les configurations organisationnelles susceptibles de mettre la PME-PMI en situation de crise et d'améliorer la culture de gestion des risques en fournissant un ensemble de méthodes et de plans d'amélioration visant à consolider la structure organisationnelle vis-à-vis des différents dangers qui peuvent l'atteindre.

Les processus de diagnostic doivent permettre de construire un modèle des différentes fonctions de l'entreprise (conception, production, ressources humaines, etc.) afin d'identifier les facteurs critiques et de générer les plans d'action favorisant des changements organisationnels indispensables pour éliminer ces facteurs de risques. Ceux-ci requièrent l'intervention des acteurs internes de l'entreprise mais aussi des acteurs de son environnement comme des entreprises du même secteur, du même territoire ou bien des inspecteurs du travail ou des inspecteurs CRAM. Les résultats des procédures de diagnostic participant à enrichir la culture des risques des entreprises en identifiant des facteurs de risques non perçus et en déclinant des méthodologies et des outils de gestion appropriés à ce type de risques.

1.3.4.2 Le sous-système de supervision

Le sous-système de supervision a pour fonction de détecter la survenue d'un dysfonctionnement, d'en alerter les différents acteurs de l'entreprise et d'identifier un ensemble d'actions à mettre en œuvre pour diminuer les conséquences négatives de la perturbation.

Les fonctionnalités de supervision doivent être en mesure d'acquérir de l'information sur la dynamique réelle des différents processus supervisés et d'identifier si celle-ci est normale ou présente un écart anormal avec l'état nominal attendu. Si tel est le cas, un ensemble d'information permettant de décrire la perturbation, d'évaluer sa gravité, de déterminer les effets directs et indirects doit être produit et transmis aux acteurs en charge de la gestion du secteur du système concerné. Dans ce but, ce sous-système interagit avec l'ensemble des sous-systèmes nécessitant un processus de contrôle ainsi qu'avec les acteurs en charge de gérer les crises au sein des différentes entreprises concernées.

1.3.4.3 Le sous-système de capitalisation et d'aide à la décision

Le sous-système de capitalisation et d'aide à la décision a pour objet de favoriser l'acquisition, la formalisation et la restitution d'un ensemble de connaissances pouvant être utilisées au cours des différents processus visant à assurer la prévention et la gestion des risques.

Les processus associés à ce système doivent permettre aux différents acteurs du système PME-PMI d'accéder et d'échanger de l'information mais aussi de rechercher et sélectionner les données essentielles pertinentes dès lors que le système se trouve en situation de crise.

Ce système est en relation directe avec les structures sociales des différentes institutions constituant le système et a pour objectif d'enrichir le sous-système culture des risques de la PME-PMI.

1.3.4.4 Le sous-système d'auto-contrôle

Le sous-système d'auto-contrôle est chargé de contrôler le bon fonctionnement des différents sous-systèmes du dispositif de gestion des risques mais aussi de prévenir les dysfonctionnements organisationnels qui pourraient survenir du fait d'une mauvaise ou d'une absence d'utilisation des fonctionnalités du dispositif de gestion des risques.

Pour cela, il doit être en mesure d'identifier si les interactions entre le système PME-PMI et le système de gestion des risques sont réalisés selon une fréquence acceptable (par exemple l'utilisation mensuelle ou annuelle des fonctionnalités de diagnostic) ou bien si les résultats des traitements du système de gestion des risques sont correctement pris en compte par le système PME-PMI.

Ce sous-système est en relation avec l'ensemble des fonctionnalités du dispositif de gestion des risques et vérifie si leur utilisation est correcte ou non. La détection d'un dysfonctionnement engendre la transmission de messages d'avertissements et d'alertes à destination des structures sociales des institutions impliquées par ce dernier.

La mise en œuvre des interactions entre le système de gestion des risques et le système PME-PMI doit permettre la réalisation des traitements nécessaires à l'accomplissement des objectifs de gestion des risques dans les PME-PMI (cf. 1.1.3). La réalisation d'un tel système requiert à présent d'identifier plus précisément les éléments (acteurs, systèmes technologiques, etc.) et leurs interactions.

1.4 Conclusion du chapitre 1

Les organisations sont soumises à de nombreux risques : ceux-ci peuvent provenir de la structure même de l'organisation (sociale, physique, technologique ou culturelle). Ils peuvent aussi avoir pour origine un événement généré par leur environnement complexe et variable (économique, géographique, politique, technologique, etc.).

L'objectif de ce chapitre était d'identifier les caractéristiques d'un outil de gestion des risques dédié aux PME-PMI à partir d'une démarche d'acquisition et d'organisation de la connaissance centrée sur le risque professionnel, la caractéristique organisationnelle et la perception des risques au sein des PME-PMI.

La première articulation a été consacrée à la compréhension de la rareté ou l'inexistence des pratiques de prévention, et ce malgré un dispositif institutionnel de gestion des risques conséquent (cf. 1.1.1). Pour cela, les caractéristiques organisationnelles de ce type d'entreprise ont été présentées et la problématique de l'absence de mesures de prévention des risques au sein des PME-PMI a été décrite (cf. 1.1.2). Dès lors, un ensemble de stratégies a été identifié, visant à améliorer cette situation, celles-ci ont servi de support pour la définition des objectifs d'un outil de gestion des risques adapté aux PME-PMI (cf. 1.1.3).

L'objectif de la deuxième articulation a été de présenter le risque professionnel. Pour cela, trois composantes ont été décrites : les acteurs institutionnels d'information et de gestion des risques professionnels (cf. 1.2.1), le cadre législatif (cf. 1.2.2) et les offres méthodologiques permettant de mener des actions de prévention (cf. 1.2.3).

La troisième articulation a eu pour objectif de décrire un premier modèle de système de gestion des risques prenant en compte la connaissance réunie sur le risque professionnel et le fonctionnement des PME-PMI. Une réflexion a été construite à propos des

concepts de modélisation à utiliser pour représenter la notion de perturbation (cf. 1.3.1 et 1.3.2) puis un modèle de PME-PMI (cf. 1.3.3) et un modèle de système de gestion des risques (cf. 1.3.4) ont été proposés.

Au regard des hypothèses de construction de l'outil de sensibilisation et de gestion des risques identifiées (cf. 1.1.3), le concept d'organisation virtuelle [MEISSONIER00], qui désigne les nouveaux modèles d'organisation du travail dans lesquels les acteurs de différentes institutions interagissent par l'intermédiaire des Technologies de l'Information et de la Communication (T.I.C) apparaît fort pertinent. La démarche abordée dans la suite de cette thèse, va donc consister à concevoir et réaliser un outil de gestion des risques à l'aide du modèle d'organisation virtuelle.

Chapitre 2
Une organisation virtuelle de gestion des risques

« … Le poète à donc raison de dire que ce qu'il cherchait n'existait nulle part. C'est ce qu'on peut dire de toute invention ; et voilà peut-être la meilleure distinction à faire entre les mots à inventer et à trouver. Ce qui existe peut se trouver. On n'invente que ce qui n'existe pas .. »

« … Non, ce qu'on cherche… n'est nulle… part. En veut-on la preuve dans un fait qu'on ne saurait pas contester ? Posez dans l'imitation du corps humain, le modèle qu'il vous plaira de choisir. Soumettez-le à la copie la plus exacte de tous les dessinateurs du monde. Eh bien ! vous aurez autant de différences dans les copies qu'il y aura de copistes… Qu'est-ce donc enfin qu'on cherche et qu'on trouve quoiqu'il n'existe nulle part ? »

Quatrème de Quincy, 1823-1880, p 178 et 182

La mise en œuvre d'une politique efficace de gestion des risques au sein des PME-PMI requiert une rupture de la représentation des risques professionnels par les chefs d'entreprises. Pour mener à bien une telle démarche Grosjean propose de provoquer des échanges constructifs entre différents chefs d'entreprises à propos des avantages et des limites de la mise en œuvre de pratiques de gestion des risques [GROSJEAN03] (cf. §1.1.3). A partir de cette proposition et d'une démarche d'acquisition et d'organisation de la connaissance relative au concept de risque professionnel et à celui du fonctionnement organisationnel des PME-PMI un modèle de système de gestion des risques a été construit. Celui-ci est composé de quatre entités : un système de diagnostic des composantes de l'entreprise, un système de capitalisation d'information et d'aide à la décision, un système de supervision du fonctionnement de l'entreprise et un système d'auto-contrôle (cf. §1.3.4).

L'émergence des Technologies de l'Information et de la Communication (T.I.C) et plus particulièrement du réseau de communication Internet a provoqué une révolution technologique avec la création d'outils facilitant d'une part la conception de programmes informatiques échangeant de l'information par l'intermédiaire de réseaux et d'autre part le développement d'applications accessibles depuis le réseau Internet.

Le choix a donc été fait d'aborder la conception et la réalisation d'un système de gestion des risques à l'aide des T.I.C et plus particulièrement par le recours au concept d'organisation virtuelle [MEISSONIER00]. Celui-ci est issu de l'évolution des modèles de gestion des organisations après l'appropriation des avancées technologiques engendrées pas les T.I.C. Il désigne de nouvelles pratiques organisationnelles dont les interactions s'effectuent par le biais des réseaux électroniques.

L'objectif de ce chapitre est d'analyser le système de gestion des risques dédié aux PME-PMI à l'aide du concept d'organisation virtuelle. La démarche se décompose en trois temps. Le concept d'organisation virtuelle est présenté en insistant plus particulièrement sur l'aspect technologique. Puis une démonstration est effectuée pour démontrer l'intérêt de recourir à une organisation virtuelle afin de développer le système de gestion des risques. Un modèle d'organisation virtuelle de gestion des risques est aussi proposé. Enfin, une illustration de l'application d'une organisation virtuelle de gestion des risques à une entreprise de conception et de production de pièces mécaniques permet d'identifier concrètement une analyse fonctionnelle des systèmes logiciels nécessaires à sa mise en œuvre effective.

2.1 De la notion d'organisation virtuelle

Les entreprises œuvrent pour identifier de nouvelles stratégies en matière de répartition et de contrôle de leur activité à l'aide de démarches et d'outils issus des technologies de l'information et de la communication. La notion d'organisation virtuelle a été avancée dès le début des années 90 pour désigner ces nouveaux modes organisationnels.

L'objectif de cette section est d'étudier le concept d'organisation virtuelle. Après l'énoncé des définitions et des justifications du déploiement d'une organisation virtuelle rencontrées dans la littérature, la dimension technologique est considérée et plus particulièrement le concept d'intermédiation électronique.

2.1.1 Essai de définition

Le concept d'organisation virtuelle, comme toute notion récente, fait l'objet de nombreuses définitions plus ou moins précises. Dans [MEISSONIER00] une liste non exhaustive est discutée (cf. Tableau 2.1).

Meissonier propose de définir une organisation virtuelle comme « *un réseau d'acteurs impliquant des individus de différentes organisations considérées comme indépendantes ; ceux-ci poursuivent ensemble la réalisation d'un projet ou d'une activité économique commune. Les processus de communication et d'information sont soutenus à distance via les Technologies de l'Information et de la Communication (TIC); l'organisation est ainsi constituée sans une véritable unicité de lieu et de temps* » [MEISSONIER00].

Cette définition donne un cadre générique à différents types de structures qui sont des spécialisations de ce concept selon différents critères comme la nature de la réticulation, c'est à dire les propriétés des éléments en relation (individus ou organismes), les motivations de la création du réseau (décision stratégique, volonté de rapprochement, …), la pérennité du réseau et les résultats attendus lors de sa mise en œuvre .

Parmi ces nouveaux modèles organisationnels, il convient de citer les notions d'entreprises virtuelles [DAVIDOW92] [ETTIGHOFFER92], de corporations virtuelles [MALONE93] [SEMICH94], d'industries virtuelles [UPTON96], de compagnies virtuelles [GOLDMAN93] ou bien d'usines virtuelles [KIOSUR96] qui désignent les organisations composées par un ensemble d'entreprises qui coordonnent et optimisent leurs activités de conception, de production ou de gestion par l'intermédiaire d'outils technologiques. L'idée d'équipes virtuelles recouvre le résultat de relations permettant la réalisation et la coordination de projets par différentes équipes utilisant les TIC pour communiquer et réaliser leurs tâches communes [FAVIER97]. Le bureau virtuel caractérise les nouveaux types de travail à distance via les TIC [BERGER96]. Les

cyber-intermédiaires désignent les services permettant de faciliter et valoriser les rencontres entre fournisseurs et clients [SARKAR95].

Références	Définition de l'organisation virtuelle
[GOLDMAN93]	*" […] groups of agile manufacturing of enterprises "*
[BLEEKER94]	*« Par l'utilisation intégrée d'ordinateurs et de technologies de communications, les entreprises seront de moins en moins définies par des murs concrets ou par un espace physique, mais par des réseaux de collaboration reliant des centaines, des milliers et mêmes des dizaines de milliers de personnes ensemble »*
[UPTON96]	*« […] une communauté de douzaines voire de centaines d'entreprises, chacune concentrée sur ce qu'elle sait faire le mieux, toutes reliées par un réseau électronique qui leur permet d'opérer de façon flexible et non onéreuse, sans se soucier de leurs emplacements respectifs. »*
[GEBAUER96]	*«[…] au moins deux organisations indépendantes ou unités organisationnelles, formant une relation coopérative afin d'atteindre un but commun..»*
[TRAVICA97]	*"Virtual Organization refers to a temporary or a permanent collection of geographically dispersed individuals, groups, organizational units – which do or do not belong to same organization – or entire organizations that depend on electronic linking in order to complete the production process"*
[KIOSUR97]	*« Une Organisation Virtuelle est une entité composée de membres géographiquement dispersés, qui partagent le même travail et communiquant exclusivement par le biais de l'électronique, les rencontres physiques étant quasiment, voire totalement supprimées »*
[ROBEY98]	*"We define the Virtual Organization as a temporary, flexible arrangement of dispersed components, contributed by multiple organizations and linked together with information technologies."*
[BULTJE98]	*"A virtual Organization is primarily characterized as being a network of independent geographically dispersed organization with a partial mission overlap. […]Further, a Virtual Organization is secondarily characterized by a single identity with loyalty being shared among the partners and the co-operation based on trust and information technology."*
[SIEBER98]	*"[…] I define a Virtual Organization as any institutionalized form of the ability to provide its products and services more time and location independent that its competitors."*
[BURN98]	*"Virtual Organizations are electronically networked organizations that transcend conventional organizational boundaries, with linkages witch may exist both within and between organization.."*

Tableau 2.1 Quelques définitions du concept d'organisation virtuelle. Ce tableau reprend un ensemble de définitions du concept d'organisation virtuelle présentées dans [MEISSONIER00].

Les raisons pour lesquelles un ensemble d'individus décident de recourir aux TIC pour mener à bien une activité et ainsi créer une organisation virtuelle peuvent se résumer en deux catégories : d'une part la volonté de l'entrepreneur de rationaliser son activité et d'autre part, l'envie d'étendre son réseau de coopération inter-entreprises.

2.1.2 Du déploiement d'une organisation virtuelle pour améliorer la gestion des organisations

La première raison pour laquelle un entrepreneur souhaite mettre en place un dispositif reposant sur les T.I.C concerne la rationalisation de son activité. Cette démarche correspond à la réflexion sur le maintien ou non de certaines activités au sein de l'entreprise et sur la répartition de leur contrôle [ROY02]. Pour des raisons de réactivité et d'efficacité, un entrepreneur peut décider de recentrer l'activité de son entreprise sur les tâches dont elle maîtrise la réalisation et d'externaliser les tâches considérées comme secondaires. L'utilisation des T.I.C. permet de faciliter les échanges entre les différentes entreprises et leur contrôle par l'entreprise centrale du réseau. L'organisation virtuelle offre un support idéal pour la gestion de la coordination des échanges logistiques, pour le contrôle des stocks et des fréquences de production des différentes entreprises du réseau.

La seconde raison concerne la volonté de l'entrepreneur d'opérer un rapprochement avec d'autres entreprises dans l'optique de mettre en commun des ressources humaines, financières, matérielles ou cognitives. Mais aussi de partager les risques liés à la réalisation de projets communs. De tels réseaux peuvent engendrer des économies substantielles grâce à la mise en commun d'activités comme la R&D ou la veille stratégique. Mais aussi, permettre la création d'une culture commune à plusieurs institutions [MEISSONIER00]. Les T.I.C offrent, dès lors, un support pertinent pour assurer les échanges entre les différents acteurs et la coordination des fonctions communes aux différentes institutions.

Les hypothèses ayant conduit à la définition du système de gestion des risques (cf. 1.3), sont de co-construire une culture des risques au sein de PME-PMI en permettant la confrontation d'idées et l'échange d'expériences ; d'aborder les démarches de prévention et de gestion des risques en impliquant l'ensemble des acteurs internes et externes aux PME-PMI ; et enfin, d'assurer un auto-contrôle du fonctionnement de l'organisation ainsi constituée et du système de gestion des risques associé. Ces hypothèses se rapprochent du deuxième cas de mise en œuvre d'une organisation virtuelle, la volonté des entreprises de coopérer pour mettre en commun des ressources. La finalité étant la réalisation de procédures de gestion des risques qui sont quasi inexistantes actuellement, il s'avère donc pertinent de poursuivre l'étude du concept d'organisation virtuelle en considérant sa dimension technologique.

Quelle que soit la finalité de l'organisation virtuelle, rationalisation ou extension des activités des institutions réticulées, les T.I.C servent de support aux échanges d'informations et permettent la mise en œuvre de mécanismes de coopération. Dès lors, il est possible de recourir au concept d'intermédiation électronique.

2.1.3 L'intermédiation électronique : le cœur de l'organisation virtuelle

Le concept d'intermédiation désigne l'action qui consiste à « *introduire délibérément au sein d'un processus collectif un tiers destiné à faciliter le rapprochement des différents participants sur une question qui les concerne, en les aidant à expliciter leurs présupposés et à co-construire du sens à propos de cette question à partir d'éléments et d'éclairages apportés par chacun d'eux* » [AVENIER99].

L'organisation virtuelle repose sur la réalisation d'un cœur technologique permettant la mise en place de processus de coopération entre des acteurs et des systèmes technologiques d'institutions juridiquement différentes. Cette infrastructure tient donc un rôle d'intermédiation entre les différentes organisations.

Le rôle du système d'intermédiation électronique au sein d'une organisation virtuelle est de soutenir l'exécution des processus locaux, de faciliter les échanges d'information entre ses différentes composantes et de permettre l'établissement de processus d'échanges inter-organisationnels. Meissonier distingue trois catégories de fonctions d'un système d'intermédiation électronique : la virtualisation des tâches, la virtualisation de la coordination et la virtualisation de la coopération [MEISSONIER00] (cf. Figure 2.1.).

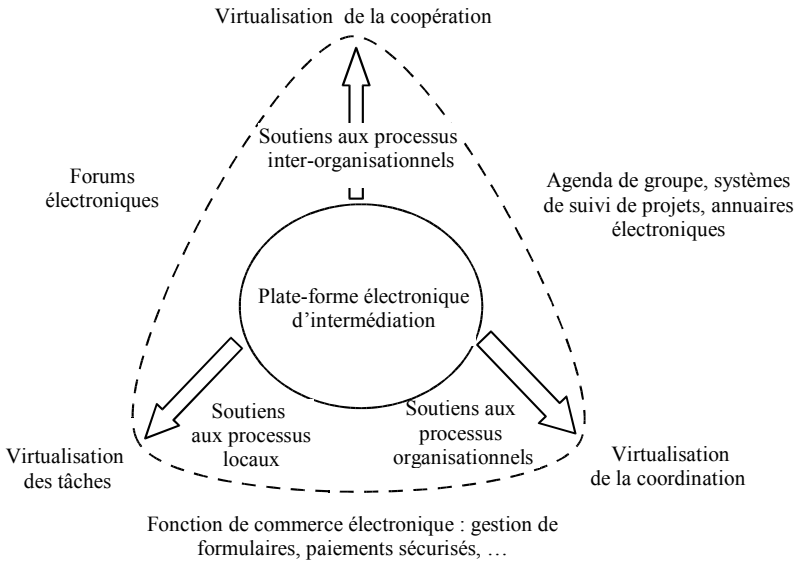


Figure 2.1 Les trois niveaux de virtualisation d'après [MEISSONIER00]. Ce schéma présente les trois axes permettant de classifier les applications résultant de l'utilisation d'un système d'intermédiation électronique : la virtualisation des tâches, la virtualisation de la coordination et la virtualisation de la coopération.

La virtualisation des tâches désigne la mise en place d'un système d'intermédiation électronique pour optimiser les processus internes à chaque sous-système de l'entreprise nécessaire à la réalisation des produits ou des services de l'entreprise. Le dispositif peut aussi permettre à un employé de recevoir des consignes et réaliser son activité à distance. Il peut aussi assurer la communication entre l'entreprise et le personnel travaillant dans des lieux géographiquement différents (agents en mission dans d'autres entreprises, commerciaux itinérants, …). Dans le domaine de la gestion des risques professionnels une telle virtualisation peut consister à distribuer les tâches de diagnostic des risques des différents secteurs de l'entreprise entre les différents intervenants de l'entreprise.

La virtualisation de la coordination correspond à l'utilisation d'un dispositif technologique pour coordonner les différentes activités de l'entreprise [VENKATRAMAN95]. Il peut s'agir d'une architecture commune à l'ensemble de l'organisation qui permet de mieux partager et diffuser l'information au sein des différents services. Cela peut aussi être une infrastructure permettant de faciliter les processus de coordination et de synchronisation entre les différents départements de l'entreprise selon les attentes des clients et la disponibilité des fournisseurs. En matière de gestion des risques, cela peut être un dispositif coordonnant les différentes actions des différents services lors de la survenue d'une crise (plan de secours lors d'un incendie, procédures à suivre lors d'un accident du travail, etc.).

La virtualisation de la coopération concerne les possibilités offertes par les technologies de l'information et de la communication pour faciliter les échanges entre l'entreprise et ses différents partenaires. La mise en place d'un tel système d'intermédiation permet d'optimiser les échanges, de faciliter les processus de constitution d'équipes virtuelles, de générer des bases de connaissances communes, de partager de l'expérience… Par ailleurs, les systèmes d'intermédiation électronique favorisent la création de nouveaux réseaux d'entreprises qui n'auraient pas pu exister en l'absence de tels systèmes technologiques, comme par exemple, la création de nouveaux marchés avec des clients utilisant une interface électronique de commande d'un produit ou d'un service. Ils peuvent également favoriser des échanges entre différentes entreprises à propos des accidents susceptibles de survenir ou de les alerter sur un événement survenant dans le

réseau et qui pourrait avoir des conséquences sur le fonctionnement de l'entreprise (panne d'une machine, incendie d'un entrepôt,…).

Le système d'intermédiation électronique est donc au centre du fonctionnement d'une organisation virtuelle. L'analyse des propositions élaborées pour mettre en œuvre un tel dispositif permet d'identifier un ensemble de couches fonctionnelles correspondant à différents processus d'échange d'information (connexion, communication, conversation et collaboration) et des solutions reposant sur de la visio-conférence ou sur des logiciels de type « Group-ware » comme par exemple Lotus Notes [SKYRME98].

Le déploiement d'une organisation virtuelle implique des dispositifs organisationnels et technologiques qui génèrent des traitements plus importants que ne peuvent fournir un dispositif de visio-conférence ou de gestion de communautés. Une analyse plus approfondie du concept de système d'intermédiation électronique semble nécessaire, afin de caractériser plus précisément les traitements devant être réalisés par ce dispositif. Pour cela, le recours à quelques concepts extrait de la « pensée complexe » [MORIN77] semble pertinent.

2.1.4 Une approche « complexe » de l'intermédiation électronique

Une analyse est proposée afin de caractériser le concept d'intermédiation électronique et les caractéristiques d'un dispositif technologique d'intermédiation. Elle a pour finalité d'étudier les conséquences positives et négatives de la mise en relation d'acteurs appartenant à des institutions juridiquement différentes et des systèmes technologiques situés dans des lieux géographiquement différents.

Pour effectuer cette analyse, les concepts de la pensée complexe évoqués précédemment (cf. §1.3.1) sont considérés et plus particulièrement une propriété énoncée dans [MORIN77] *« le tout est plus et moins que la somme des parties »*. Elle permet d'aborder les relations entre les propriétés d'un système et des composantes en interaction en son sein. De cette propriété sont retenues les notions d'*émergence* et de *contrainte*.

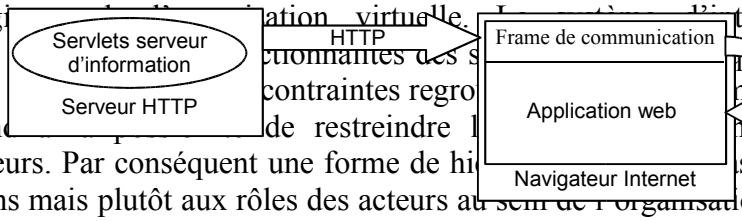
La notion d'émergence est définie dans [MORIN77] comme « *les qualités ou propriétés d'un système qui présentent un caractère de nouveauté par rapport aux qualités ou propriétés des composants considérés isolément ou agencés différemment dans un autre type de système »*. Cette notion permet d'aborder les propriétés, les produits, les événements résultant des interactions entre les différents éléments d'un système.

L'établissement de relations d'interaction entre différents éléments engendre l'apparition d'événements ou de propriétés nouvelles mais cela peut également provoquer la disparition, l'annulation de propriétés possédées par les différents éléments pris isolément les uns des autres. L'idée de *contrainte* est présentée dans [MORIN77] comme une conséquence de toutes « *relations organisationnelles sur les éléments ou parties qui lui sont soumis »*. Le concept de contrainte est lié à la notion d'association, il résulte de la nécessité de maintenir un déterminisme interne, une stabilité organisationnelle ou bien de respecter un ensemble de règles. Une contrainte peut prendre différentes formes : « *contraintes exercées par les parties interdépendantes les unes sur les autres, contraintes du tout sur les parties, contraintes des parties sur le tout ».*

La démarche d'analyse proposée repose sur l'identification des émergences et des contraintes résultant de l'établissement de trois types de relations : les interactions entre les acteurs et les institutions de l'organisation virtuelle, les interactions entre les acteurs et les systèmes technologiques et les interactions entre les systèmes technologiques.

Le premier type de relation étudié concerne les interactions entre les acteurs de l'organisation virtuelle. La mise en relation de personnes appartenant à des institutions juridiquement différentes permet l'émergence de deux types de phénomènes. Le premier correspond aux activités et aux produits développés grâce à la coopération des activités des différentes organisations mises en relation. Le second engendre la création d'une culture organisationnelle commune à l'ensemble des acteurs, et par extension à l'ensemble des institutions de l'organisation virtuelle. Cette culture est le fruit des échanges et des confrontations des expériences des acteurs du réseau. Cette émergence culturelle constitue une des solutions à la problématique de changements de la perception des pratiques de gestion des risques au sein des PME-PMI énoncées précédemment (cf. §1.1.3). A ces deux types d'émergence, il est possible d'associer deux catégories de contraintes. La première concerne la perte des processus de supervision directe des activités et la possible apparition de dysfonctionnements liés à la variation des relations liant les différentes institutions. La seconde catégorie de contraintes concernent les différences culturelles pouvant exister entre les acteurs, notamment dans le cadre de la gestion des risques où la perception de la notion de risque est différente entre l'inspecteur du travail les chefs d'entreprises et les salariés (cf. §2.3.1).

Le deuxième type de relation caractérise les interactions entre les acteurs et les systèmes technologi[illegible]ation virtuelle. [illegible]'intermédiation permet d'étendre [illegible]ctionnalités des s[illegible]s. Néanmoins cela engendre [illegible]contraintes regro[illegible]nilles : la première correspond[illegible]de restreindre l[illegible]nt à un ensemble d'utilisateurs. Par conséquent une forme de hi[illegible]s aux hiérarchies des institutions mais plutôt aux rôles des acteurs au sein de l'organisation virtuelle, doit être prise en compte. La deuxième classe de contraintes est liée au fait que les traitements n'ont pas nécessairement été conçus pour être utilisés par différents acteurs ou différentes institutions. Des fonctionnalités permettant d'adapter les traitements de l'organisation virtuelle en gérant par exemple la sauvegarde des résultats selon un profil utilisateur sont à concevoir. La troisième classe de contraintes relève des conflits résultant de la sollicitation simultanée d'un même traitement par un ensemble d'utilisateurs. Pour cela des mécanismes de résolution de conflits doivent être élaborés.



Le troisième type de relation correspond aux interactions entre les systèmes technologiques reliés au système d'intermédiation. L'établissement d'interactions spécifiques permet d'envisager la construction de nouvelles fonctionnalités par composition des services existants du réseau. Une telle composition peut être statique (par exemple une application faisant appel aux différentes ressources technologiques présentes dans le système), ou bien dynamique, dans ce cas l'application doit accomplir un ensemble de fonctionnalités et un processus d'allocation de tâches recherche les services correspondants disponibles au sein de l'organisation virtuelle. La réalisation de ces mécanismes entraîne des contraintes supplémentaires, puisque en plus des problèmes d'accès simultanés à une ressource, s'ajoutent les conflits potentiels liés à la probabilité de disposer de ressources technologiques fournissant des traitements

proches. Des problèmes de sélection d'une ressource par rapport à une autre peuvent survenir et des mécanismes de gestion de conflits adaptés sont nécessaires.

A partir de l'étude des trois types de relations résultant de l'établissement d'interactions entre des acteurs et des systèmes technologiques par l'intermédiaire d'un système d'intermédiation électronique, il est possible de déduire une synthèse des émergences et des contraintes résultantes mais aussi une définition du concept de système d'intermédiation électronique prenant en compte les différents traitements indispensables à son fonctionnement.

L'établissement de la synthèse des émergences et des contraintes issues d'une organisation virtuelle s'effectue selon deux axes. Le premier, qualifié d'organisationnel correspond aux phénomènes liés à la mise en relation d'individus, indépendamment du média servant pour les échanges. Le second, qualifié de technologique caractérise les phénomènes directement liés à l'utilisation des T.I.C comme support des interactions (cf. Tableau 2.2).

Emergences		Contraintes	
Organisationnelles	Technologiques	Organisationnelles	Technologiques
Culture propre aux acteurs de l'organisation virtuelle Activité et produit relatif à la mise en commun des activités des institutions impliquées	Extension de la visibilité des fonctionnalités des systèmes Composition de services	Processus de coordination, de supervision et de contrôle spécifique Perturbations spécifiques Différences culturelles	Gestion des autorisations d'accès aux traitements Concurrence entre plusieurs acteurs ou processus pour accéder à un service Concurrence entre plusieurs traitements pour répondre à une requête d'allocation

Tableau 2.2 Emergences et contraintes au sein d'une organisation virtuelle. Ce tableau reprend les résultats de l'analyse de l'utilisation d'un système d'intermédiation électronique à l'aide de la pensée complexe. Elles sont classées en quatre catégories : les émergences organisationnelles ; les émergences technologiques ; les contraintes organisationnelles et les contraintes technologiques.

De cette analyse, il est possible de déduire une définition du concept de système d'intermédiation électronique prenant en compte les phénomènes induits par son utilisation et les mécanismes que celui-ci doit être en mesure de fournir.

Un système d'intermédiation électronique est un dispositif reposant sur les Technologies de l'Information et de la Communication qui autorise l'établissement de relations d'interactions entre des acteurs pouvant appartenir à des institutions juridiquement indépendantes et des systèmes technologiques (électroniques ou logiciels) situés dans des lieux géographiquement différents. Ceux-ci forment une organisation qualifiée de virtuelle permettant de mutualiser des ressources matérielles et/ou humaines pour développer une activité. Ils favorisent la co-construction d'une culture organisationnelle commune et/ou bien la production de fonctionnalités reposant sur la composition des services offerts par les systèmes technologiques. Le système d'intermédiation doit dès lors proposer les mécanismes nécessaires à l'émergence de ces propriétés mais également à la gestion des contraintes organisationnelles (contrôle, supervision,…) et technologiques (autorisation d'accès, allocation de ressources, …) induites.

Le concept d'organisation virtuelle offre donc un cadre particulièrement intéressant pour encourager des processus de coopération entre organisations. Il permet également de

favoriser le partage d'information et de ressources technologiques et de provoquer l'émergence d'une culture organisationnelle spécifique.

A présent, il est nécessaire d'étudier plus en détail l'intérêt d'aborder la conception d'une organisation virtuelle de gestion des risques.

2.2 Vers une organisation virtuelle de gestion des risques pour les PME-PMI

Les éléments concernant l'organisation virtuelle présentés dans la section précédente offrent un support pertinent pour aborder la conception d'un dispositif de sensibilisation, de prévention et de gestion des risques à destination des PME-PMI.

Cette section est consacrée à la justification du recours au concept d'organisation virtuelle pour la conception du système de gestion des risques défini précédemment (cf. §1.3.4) ainsi qu'à la présentation d'un modèle d'organisation virtuelle. Celui-ci prend en compte trois niveaux de réticulation ayant pour finalité de sensibiliser les PME-PMI à la gestion des risques, de gérer les risques internes à l'entreprise et de gérer les risques liés à son environnement.

2.2.1 Justification d'une organisation virtuelle de gestion des risques

Afin de justifier la réalisation d'une organisation virtuelle pour spécialiser le modèle de dispositif de gestion des risques à destination des PME-PMI, les éléments de sa définition sont un à un repris et illustrés.

Un réseau d'acteurs impliquant des individus de différentes organisation, ceux-ci poursuivent ensemble la réalisation d'un projet ou d'une activité économique commune …

Les processus de sensibilisation des PME-PMI à l'importance de la prévention des risques dans un premier temps, et à la gestion de ceux-ci dans un second temps, concernent l'entreprise mais aussi les acteurs institutionnels et les différents réseaux au sein desquels elle évolue (cf. §1.1.2). L'accomplissement des objectifs du dispositif de gestion des risques, c'est à dire la mise en œuvre des opérations de diagnostic, de supervision, de capitalisation de l'information et d'auto-contrôle, requiert la participation d'acteurs appartenant à des institutions juridiquement indépendantes formant plusieurs réseaux ayant des finalités différentes. Trois niveaux de réticulation sont dès lors identifiés :

- Le premier vise à sensibiliser les entrepreneurs au bien fondé de la conduite d'une politique de prévention des risques au sein de leur établissement. Une des stratégies mise en exergue précédemment (§1.1.3) étant de les mettre en relation, de sorte qu'ils puissent échanger sur leurs pratiques et progressivement modifier leur perception puis leur comportement.

- Le deuxième correspond aux acteurs impliqués dans les opérations de diagnostic et de supervision du fonctionnement des différentes activités de l'entreprise. Celui-ci est composé des acteurs internes de l'entreprise mais aussi d'un ensemble d'acteurs externes (inspecteurs du travail, inspecteur CRAM, assureurs, conseillers…) qui interviennent afin de contrôler et/ou d'accompagner à l'accomplissement de ces différentes actions.

- Le troisième est constitué des acteurs chargés de la prévention et de la supervision des risques liés à l'environnement de l'entreprise. Il s'agit de la gestion des risques pouvant survenir au sein de l'environnement général de l'entreprise (nouvelle réglementation, évolution technologique, …), de l'environnement économique (nouveau concurrent, perturbation au sein d'une chaîne logistique, …) et de l'environnement géographique (entreprises voisines, risques naturels, …). Une gestion globale de ces risques requiert des processus de coopération et d'échanges d'information entre les acteurs de ces réseaux.

Le fonctionnement de l'organisation de prévention oblige, pour assurer une prévention globale, l'intervention des acteurs de l'entreprise coordonnée par le chef d'entreprise, des acteurs du système de gestion des risques professionnels, de l'ensemble des organisations impliquées dans les différents réseaux économiques de l'entreprise et des acteurs des structures situées sur le même territoire.

Les processus de communication et d'information sont soutenus par les TIC. L'organisation est ainsi constituée sans une véritable unicité de lieu et de temps

La mise en œuvre d'échanges d'informations sur les pratiques en matière de prévention, sur les types de défaillances rencontrées, sur les actions de corrections effectuées ou sur les avantages à mener une politique de gestion des risques par les différents acteurs des PME-PMI, ne peut s'effectuer de manière efficace qu'en laissant à la discrétion des protagonistes le soin de procéder à leur rythme et selon leur disponibilité. Par ailleurs, les démarches de prévention et de gestion des risques impliquent la coopération de différents intervenants engagés à d'autres tâches au sein de leur entreprise.

Cette analyse suffit à justifier à elle seule le recours au concept d'organisation virtuelle pour mettre en œuvre le système de gestion des risques. Désormais, les finalités d'une organisation virtuelle de gestion des risques à destination des PME-PMI doivent être identifiées. Pour ce faire, les besoins correspondant aux activités de gestion des risques sont analysés à l'aide des propriétés de l'organisation virtuelle qui sont l'émergence d'une activité, d'une culture et de traitements technologiques.

Une organisation virtuelle de gestion des risques comme support à l'émergence d'une activité

L'organisation virtuelle de gestion des risques doit permettre l'établissement des activités de gestion des risques. Il s'agit principalement des processus de diagnostic des situations pouvant engendrer des perturbations, des accidents du travail ou des maladies professionnelles, ainsi que de la mise en place de processus de supervision des processus internes et externes de l'entreprise (atelier de production, chaîne logistique, …).

Une organisation virtuelle de gestion des risques comme support à la co-construction d'une culture organisationnelle

Les attentes dans le domaine de la co-construction d'une culture organisationnelle dans le domaine de la gestion des risques sont importantes. Le déploiement d'un tel dispositif doit favoriser l'échange et la capitalisation d'informations relatives aux situations potentiellement dangereuses (mode de défaillances, conséquences d'un événement, …). Il doit également faciliter la mise en place de différentes stratégies de prévention et de gestion de ce type d'accident. Le dispositif doit contribuer à sensibiliser

progressivement les entrepreneurs de PME-PMI à la nécessité d'intégrer une politique de prévention des différents types de risques auxquels ils sont exposés.

Une organisation virtuelle de gestion des risques comme support à la mise à disposition et à la construction de services

La spécificité organisationnelle des PME-PMI entraîne une incapacité à pouvoir acquérir l'ensemble des produits et des logiciels permettant de réaliser les opérations de gestion des risques (information, diagnostic,…). L'organisation virtuelle a pour finalité de mettre à disposition des différentes entreprises connectées des services leur permettant d'effectuer ces opérations. Par ailleurs, des mécanismes supplémentaires pourront être élaborés à partir des programmes de diagnostic et de supervision et ce, dans l'optique de fournir des mécanismes d'auto-contrôle des pratiques de gestion des risques, mais aussi des bases informationnelles supplémentaires.

Au terme de cette démarche d'identification des objectifs attendus lors de la mise en œuvre de l'organisation virtuelle de gestion des risques au sein des PME-PMI, une définition de cette notion peut être désormais proposée.

Une organisation virtuelle de prévention des risques pour les PME-PMI désigne les interactions visant à mettre en œuvre des processus de coopération entre les dirigeants et les salariés de différentes PME-PMI et les acteurs institutionnels et privés de la gestion des risques afin de favoriser, dans un premier temps, l'émergence d'une culture de prévention des risques, dans un deuxième temps de permettre le diagnostic régulier des possibles dysfonctionnements et d'alerter lorsqu'une perturbation endogène ou exogène à l'entreprise survient. Enfin, elle doit proposer les outils nécessaires pour gérer la survenue d'une crise au sein de l'organisation.

De cette définition de l'organisation virtuelle de gestion des risques pour les PME-PMI, les acteurs, les systèmes technologiques et les interactions devant composer ce dispositif sont discutés.

2.2.2 Proposition d'une organisation virtuelle de gestion des risques

Le déploiement d'une organisation virtuelle de gestion des risques pour les PME-PMI vise à satisfaire trois objectifs : l'émergence d'une culture des risques, la gestion des risques internes à l'entreprise et la gestion des risques liés à son environnement. Par conséquent, la description du modèle d'organisation est effectué en trois étapes. Pour chacune d'elles, les acteurs impliqués ainsi que les traitements devant être mis en œuvre sont présentés.

2.1.1.1 La sensibilisation à la prévention des risques

Les interactions relatives à la sensibilisation des PME-PMI à la prévention des risques ont pour objectif de progressivement convaincre les entrepreneurs de la nécessité de mener des actions de prévention, de construire une culture des risques commune permettant une meilleure approche de la prévention et de la gestion des risques, mais aussi de les informer de changements pouvant survenir dans la politique de gestion des risques, comme par exemple une avancée majeure dans la réglementation (lois, décrets, circulaires).

L'interaction entre les acteurs et le système d'intermédiation électronique s'effectue par l'intermédiaire d'interfaces dépendant du type d'utilisateur. Pour désigner ces interfaces,

le concept d'environnement de travail est retenu. Celui-ci désigne l'espace au sein duquel l'utilisateur va pouvoir interagir avec les fonctionnalités et l'information de l'organisation virtuelle. L'environnement de travail est propre à chaque acteur de l'Organisation Virtuelle.

Les opérations de sensibilisation à la gestion des risques reposent sur deux types d'environnements de travail : l'environnement des acteurs des entreprises (entrepreneurs, salariés, intérimaires, stagiaires…) et celui des acteurs de la gestion des risques (inspecteurs du travail et de l'assurance maladie, assureurs, conseils …).

Le premier donne accès à un ensemble d'applications qui doivent permettre aux différents utilisateurs de dialoguer sur des thématiques communes, mais également mettre à la disposition de l'organisation des comptes-rendus concernant l'utilisation d'une méthode d'analyse de risque ou bien de perturbations rencontrées lors de l'utilisation d'une machine ou d'un produit.

Le second permet à ses utilisateurs d'échanger de l'information de prévention avec les entrepreneurs reliés au réseau mais aussi d'exercer leur rôle d'accompagnement et de contrôle en accédant notamment aux documents légaux devant être réalisés régulièrement par les entreprises (par exemple le document unique de prévention, le diagnostic sécurité …).

La mise en œuvre de ces traitements consiste à développer et à relier au système d'intermédiation électronique un ensemble de systèmes informatiques :

- L'échange d'informations et la constitution d'une culture des risques requiert le développement de fonctionnalités de gestion de dialogues avec notamment des formulaires d'affichage et d'acquisition des différents messages, une ou plusieurs bases de données permettant de sauvegarder cette information et de mettre en place des processus de recherche d'information.

- La conception et la mise à jour de listes de modes de défaillances nécessitent des dispositifs d'acquisition, d'affichage et de sauvegarde des différents types de données, de sorte qu'elles soient accessibles et utilisables rapidement.

- Les missions des différents inspecteurs en charge de la gestion des risques (inspecteurs du travail et inspecteurs assurance maladie) reposent sur des processus d'échange de messages avec les autres acteurs du système et des traitements permettant d'accéder aux données des entreprises concernant leur politique de prévention et de gestion des risques.

- Le processus de contrôle du fonctionnement de l'organisation virtuelle de sensibilisation à la prévention des risques utilise des traitements permettant de contrôler et valider la pertinence et la justesse de l'information manipulée dans le système. Ces opérations peuvent être réalisées par des experts des différents domaines concernés.

Les relations de sensibilisation à la prévention des risques offrent ainsi des mécanismes permettant de contribuer au changement dans la perception des risques par les PME-PMI et une volonté de mener des opérations de prévention et de contrôle de leur activité. Il s'agit désormais d'identifier les relations prenant en charge les opérations de diagnostic et de supervision des risques, issus des mécanismes internes de l'entreprise,

mais aussi ceux relevant des interactions de l'entreprise avec son environnement économique ou territorial.

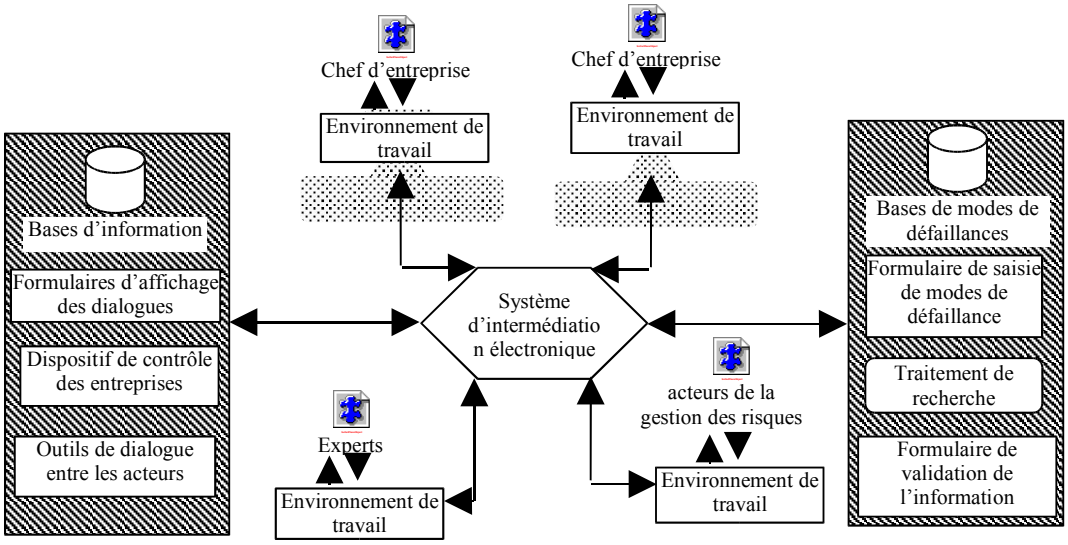


Figure 2.2 Les interactions de sensibilisation à la prévention des risques. Cette composante de l'organisation est constituée de trois types d'acteurs : les chefs d'entreprises, les experts et les acteurs de la gestion des risques. Ils interagissent par l'intermédiaire d'un environnement de travail qui leur offre des facilités de dialogues et d'échanges d'information dans le but de créer une culture de gestion des risques au sein des entreprises.

Ce modèle d'organisation virtuelle est une proposition de solution pour créer une culture des risques au sein des PME-PMI. Une reflexion identique est menée pour concevoir des modèles d'organisation virtuelle de gestion des risques internes et externes à l'entreprise.

2.1.1.2 La gestion des risques internes à l'entreprise

Les interactions relatives à la gestion des risques professionnels reposent sur un ensemble de systèmes technologiques permettant aux acteurs de l'entreprise de mener à bien des opérations de diagnostic et de surveillance des différentes composantes de cette dernière (cf. Figure 2.3).

L'interaction entre les acteurs et le système d'intermédiation électronique s'effectue par l'intermédiaire d'un environnement de travail. Par la suite, les fonctionnalités offertes aux utilisateurs puis les mécanismes devant être accomplis par les systèmes technologiques sont décrits. Deux types d'environnement de travail sont distingués : celui du chef d'entreprise et celui des responsables des fonctions majeures de l'entreprise.

L'environnement de travail de gestion des risques professionnels des chefs d'entreprise offre des fonctionnalités destinées à :

- échanger de l'information avec ses collaborateurs.
- saisir les paramètres qui caractérisent son entreprise et son activité. Ces informations servent notamment à étalonner les tâches de diagnostics et de supervision.
- coordonner les activités de diagnostic en fixant des objectifs quant à leur réalisation et en les supervisant.

- accéder à l'ensemble des résultats des différents diagnostics et hiérarchiser les actions à mener pour corriger les éventuels dysfonctionnements puis coordonner leur mise en œuvre.

- accéder aux données acquises lors de la supervision ainsi que l'état des alarmes chargées de signaler tout dysfonctionnement.

- définir, valider et coordonner les mesures de corrections prises lors de la survenue d'un dysfonctionnement.

- être informé des potentiels dysfonctionnements relatifs à une absence ou à une mauvaise utilisation des dispositifs de l'organisation virtuelle par un des acteurs.

Le chef d'entreprise détient une perception globale de son entreprise et des opérations de prévention ou de gestion des perturbations en cours. Les responsables de fonction (conception, production, marketing, …) sont concernés essentiellement par leur secteur d'activité. Leur environnement de travail leur permet d'accomplir les tâches suivantes :

- échanger de l'information avec le chef d'entreprise,

- procéder au diagnostic de leur domaine d'activité,

- contrôler les systèmes de supervision relatifs à ce dernier.

La mise en œuvre des traitements relatifs aux différentes fonctionnalités offertes aux acteurs de cette organisation virtuelle repose sur un ensemble de systèmes technologiques relier au système d'intermédiation électronique :

- Les opérations de diagnostic nécessitent le développement et la mise à disposition de formulaires de saisie de l'information nécessaire au diagnostic et d'un moteur d'analyse et de production de plans d'actions de correction. Par ailleurs, la gestion du suivi des opérations de correction requiert des formulaires de comptes-rendus des actions menées.

- Les traitements de supervision requièrent la mise en œuvre d'outils de récupération automatique ou de saisie d'informations relatives au fonctionnement des différents dispositifs supervisés (postes de travail, machine outils, etc.). De plus, un moteur de détection des dysfonctionnements et de leurs impacts sur l'entreprise doit également être proposé.

- Les mécanismes de contrôle du fonctionnement de l'organisation virtuelle de gestion des risques s'appuient sur le développement de mécanismes visant à déterminer si les différents acteurs remplissent correctement leurs rôles, c'est-à-dire si les opérations de diagnostics et de corrections sont effectuées dans les délais définis et si les processus de supervision sont régulièrement consultés et validés.

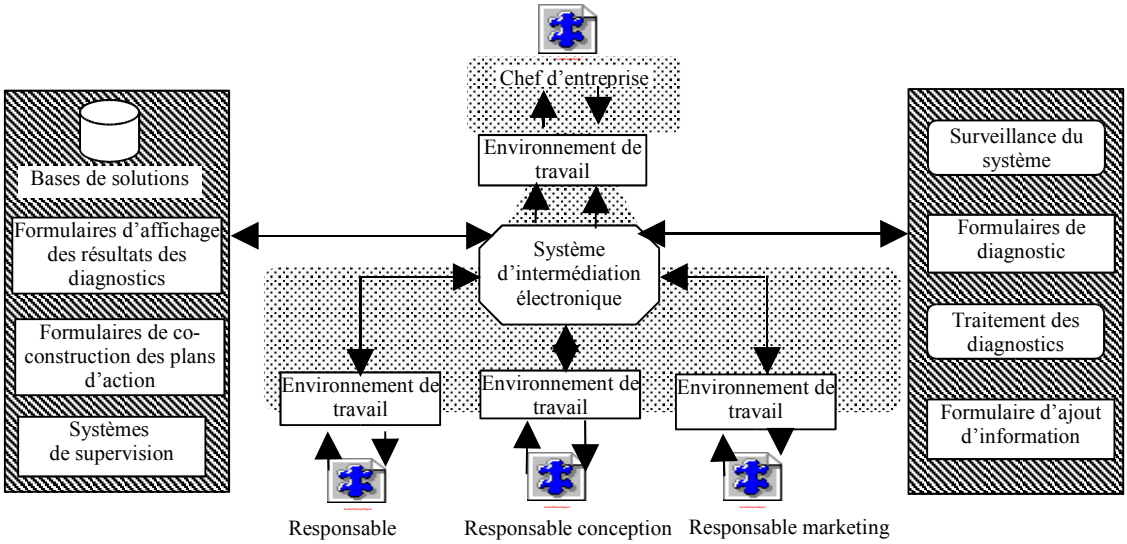


Figure 2.3 La gestion des risques internes à l'entreprise. Il s'agit des acteurs de l'entreprise : le chef d'entreprise et les responsables de fonctions (production, conception , marketing, ...). Ils interagissent avec un environnement de travail qui offre des fonctionnalités de diagnostics, de surveillance et de coordination des actions de gestion des risques.

Ces relations de l'organisation virtuelle permettent de gérer les risques professionnels relatifs à l'activité interne de l'entreprise. Il s'agit à présent d'identifier celles prenant en compte les perturbations pouvant provenir de l'environnement de l'entreprise.

2.1.1.3 La gestion des risques externes à l'entreprise

Les relations de gestion des risques externes à l'entreprise proposées permettent de diagnostiquer, d'anticiper et de gérer les perturbations pouvant survenir consécutivement à un événement issu de l'environnement de l'entreprise (territorial ou économique).

Ces interactions interviennent entre des entrepreneurs et des salariés de différentes entreprises interagissant pour remplir les multiples actions de gestion des risques (cf. Figure 2.4).

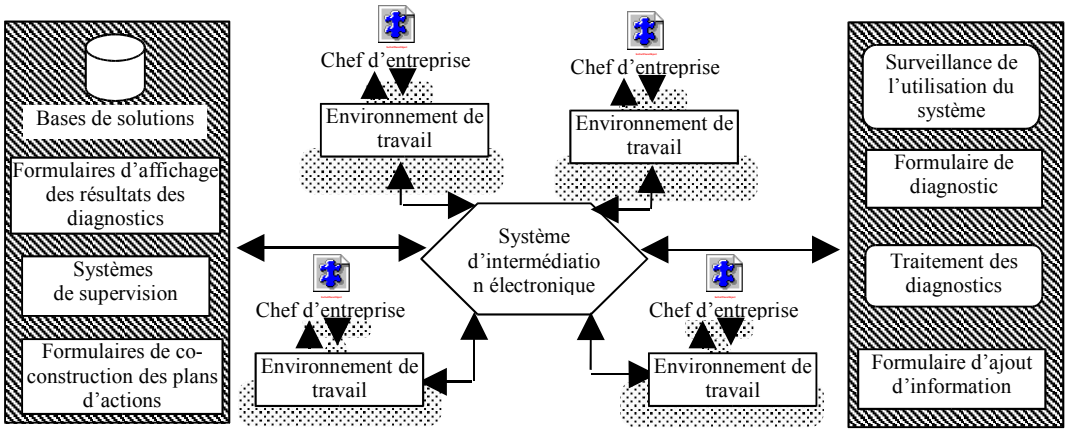


Figure 2.4 La gestion des risques externes à l'entreprise. elle est assurée par les relations entre des entrepreneurs dont les entreprises sont situées sur le même territoire ou appartiennent au même réseau économique. Ils interagissent par l'intermédiaire d'un environnement de travail qui leur permet d'accéder à des fonctionnalités de diagnostics, de supervision et de gestion de crises.

Les mécanismes relatifs à la mise en œuvre de l'organisation virtuelle se divisent en deux catégories : ceux relatifs aux risques ayant comme origine le territoire de l'entreprise et ceux liés à son environnement économique.

Le premier vise à fournir différents dispositifs :

- Savoir si l'entreprise est exposée à un risque (naturel ou technologique).
- Identifier et coordonner la mise en œuvre d'actions de prévention des risques liés au territoire par l'ensemble des acteurs (comment éviter la survenue d'un événement ou réduire son impact).
- Etre informé dès qu'une perturbation est détectée par un dispositif de supervision du territoire ou simplement alerter.
- Etudier les conséquences d'un événement survenant sur le territoire en général et sur l'entreprise en particulier (dommages potentiels liés à la crue d'une rivière, un incendie, une explosion, …).

Le second permet :

- D'identifier les informations caractérisant les interactions entre les entreprises du réseau.
- De diagnostiquer les situations pouvant être source de perturbations pour les entreprises du réseau.
- D'être informé lors de la survenue d'un événement au sein du réseau, susceptible de provoquer des perturbations.

La gestion et l'usage des environnements de travail offrant l'accès à ces fonctionnalité requièrent de concevoir et de mettre à disposition de l'organisation virtuelle un ensemble de systèmes technologiques :

- Des systèmes de saisie et de traitement de l'information concernant les risques d'un territoire et/ou d'un réseau économique prenant en considération le fait que les informations proviennent de différentes sources.
- Des systèmes de supervision des phénomènes pouvant provoquer un ou plusieurs dysfonctionnements.
- Des traitements de contrôle de l'utilisation des différents outils de prévention et de supervision par les différents acteurs des réseaux.

A partir des trois composantes de l'organisation virtuelle de gestion des risques présentées il est possible d'établir une synthèse visant à identifier le rôle des acteurs et les fonctionnalités des systèmes technologiques nécessaires pour déployer un tel dispositif. Celle-ci est présentée dans le tableau suivant (cf. tableau 2.3), il contient les objectifs de l'organisation virtuelle, les fonctions devant être effectuées par les différents acteurs et les fonctionnalités des systèmes technologiques décomposées en trois parties : les interfaces d'interactions homme/machine, les traitements et les bases de données.

Une organisation virtuelle de gestion des risques professionnels pour les PME-PMI		
Objectifs	◆ La sensibilisation des acteurs des PME-PMI à la nécessité de mener une politique de prévention et de gestion des risques professionnels. ◆ Le diagnostic et la supervision des risques internes à l'entreprise. ◆ Le diagnostic et la supervision des risques liés à l'environnement économique et territorial de l'entreprise.	
Les acteurs	Les entrepreneurs	◆ Partager les expériences ◆ Coordonner les processus de prévention ◆ Tenir à jour les informations générales de l'entreprise ◆ Coordonner les plans d'actions de réduction des risques ◆ Accéder à l'ensemble des résultats des diagnostics ◆ Réagir aux dysfonctionnements détectés
	Les responsables de fonction	◆ Partager les expériences ◆ Identifier les risques liés à l'activités ◆ Réaliser les actions de réduction des risques ◆ Réagir aux dysfonctionnements détectés
	Les acteurs de la gestion des risques	◆ Informer ◆ Partager les expériences ◆ Contrôler le respect de la réglementation
	Les experts	◆ Valider la justesse de l'information échangée ◆ Conseil et formation
Les systèmes technologiques	Interfaces homme / machine	◆ Forums de discussion ◆ Saisie de l'information nécessaire aux traitements de diagnostics ◆ Saisie et consultations de l'information relative aux modes de défaillances ◆ Affichage des résultats des diagnostics ◆ Affichage de l'évolution des résultats des diagnostics ◆ Construction des plans d'actions de réduction des risques ◆ Contrôle des processus supervisés ◆ Affichage des documents réglementaires ◆ Affichage des alertes
	Traitements	◆ Recherche d'information ◆ Surveillance du fonctionnement de l'organisation virtuelle ◆ Calcul des résultats des diagnostics ◆ Identification de la survenue de perturbations
	Bases de données	◆ Résultats des diagnostics ◆ Modes de défaillances ◆ Dialogues ◆ Plans d'actions de correction ◆ Méthodes et stratégies de gestion des risques

Tableau 2.3 Caractérisation d'une organisation virtuelle de gestion des risques professionnels. Ce tableau présente les objectifs attendus par le déploiement de l'organisation virtuelle de gestion des risques ainsi que les rôles des différents utilisateurs et les fonctionnalités devant être offertes par les systèmes technologiques qui la constituent.

Afin d'identifier plus précisément les caractéristiques des composantes logicielles constituant une organisation virtuelle de gestion des risques la démarche suivie est d'appliquer le modèle théorique élaboré à un exemple concret d'entreprise.

2.2 Identification des caractéristiques logicielles d'une organisation virtuelle de gestion des risques à l'aide d'un cas concret

La démarche d'identification des caractéristiques logicielles d'une organisation virtuelle de gestion des risque repose sur l'adaptation des modèles d'organisations virtuelles de gestion des risques à partir des informations concernant une entreprise de conception et de fabrication de pièces mécaniques nommée « Meca Plus ». Les caractéristiques de cette PMI correspondent à une entreprise étudiée lors d'une étude visant à concevoir une méthode d'analyse des risques [RIGAUD03].

L'analyse menée au sein de l'entreprise « Méca Plus » a consisté à expérimenter l'appropriation et l'usage d'une méthode d'auto-diagnostic des risques. Par ailleurs, elle a permis d'analyser la perception de la notion de risque de l'entrepreneur. Pour lui, le principal risque est « une mauvaise appréciation du coût de réalisation d'une pièce ». Il ne semble pas s'inquiéter de la possibilité que le fleuve voisin puisse un jour inonder son bâtiment. Par ailleurs, il ne connaît aucune méthode d'analyse des risques mais il est sensible à la qualité en production et vérifie régulièrement si les consignes de sécurité sont suivies lors de l'utilisation des machines-outils. Enfin, il considère que si un incident survient cela fait partie des aléas de la profession. Tout cela n'est pas sans rappeler les énoncés de Favaro (cf. §1.1.1).

Cette section est divisée en trois parties : la première vise à décrire l'entreprise qui sert de cas d'application. Ce processus est guidé par le modèle introduit précédemment (cf. §1.3.3). La deuxième est consacrée à la définition de l'organisation virtuelle de gestion des risques correspondant à ce cas d'application. Enfin, les caractéristiques technologiques du système d'intermédiation électronique et d'un logiciel d'analyse des risques sont étudiées.

2.2.1 Le cas d'étude, présentation

L'étude de la mise en œuvre concrète d'une organisation virtuelle de gestion des risques repose sur une entreprise de conception et de fabrication de pièces mécaniques. Afin de la décrire, le modèle de PME-PMI identifié précédemment est repris (cf. §1.3.3.).

Dans un premier temps, les caractéristiques internes de l'entreprise sont étudiées, c'est-à-dire sa structure sociale et physique, ses dispositifs technologiques et son niveau de culture des risques. Dans un second temps, les propriétés de l'environnement sont présentées, en particulier, l'environnement économique, l'environnement géographique et l'environnement de gestion des risques de l'entreprise.

2.2.1.1 Le modèle interne de l'entreprise

La structure sociale de l'entreprise est composée du chef d'entreprise qui est chargé de la supervision du fonctionnement global de l'entreprise et de la stratégie d'évolution de celle-ci. Un service de conception composé de dix ingénieurs assure la réalisation des spécifications des composants à produire ; un des ingénieurs est responsable de la conception et coordonne le fonctionnement de ce service. L'atelier de production constitué de huit techniciens procède à la réalisation concrète des différents composants. Il est supervisé par un responsable de production, rôle tenu par le technicien ayant le plus d'ancienneté au sein de l'entreprise. Un commercial chargé d'assister l'entrepreneur dans la recherche de nouveaux marchés et une secrétaire complètent l'effectif (cf. Figure 2.5).

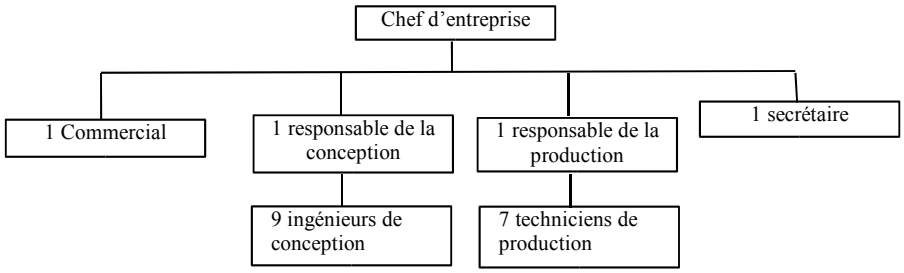


Figure 2.5 La structure sociale de la PME « Meca Plus ». Cet organigramme permet de distinguer les différents acteurs de la PME et leur lien de subordination.

La structure physique de l'entreprise est composée d'un unique bâtiment entouré d'un parking et d'un accès pour les camions de transport des composants produits. La structure interne du bâtiment est constituée de sept pièces : le bureau du chef d'entreprise, le bureau du commercial, le secrétariat avec une salle d'attente, le bureau de conception comporte un poste de travail pour chacun des salariés de ce service et un atelier de production regroupe les différentes chaînes de production ainsi qu'une « salle blanche » pour les composants sensibles (cf. Figure 2.6) et une salle de réunion.

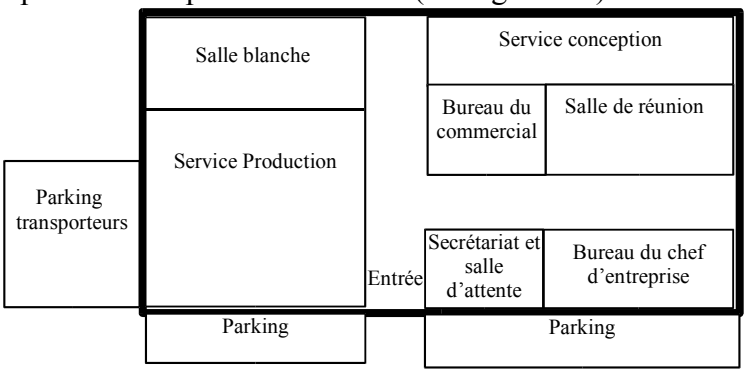


Figure 2.6 La structure physique de la PME. Elle permet de présenter l'agencement des différentes pièces du bâtiment dans lequel est située l'entreprise étudiée.

Pour la réalisation des différentes activités de l'entreprise, le chef d'entreprise et le commercial disposent chacun d'un ordinateur connecté au réseau Internet, d'un téléphone portable et d'un véhicule de service. Le secrétariat est équipé en matériel de bureautique, les ingénieurs de conception disposent de logiciels de Conception Assisté par Ordinateur (CAO). L'atelier de production est constitué d'un ensemble de machines modulables permettant de mettre en œuvre différentes chaînes de production. La chaîne de production actuellement en place est composée d'une machine à usiner numérique, d'un dispositif de traitement et d'un appareil de conditionnement. A l'entrée du dispositif, les pièces brutes sont stockées dans un récipient connecté à la machine numérique. Une fois usinées, elles sont acheminées par tapis roulant vers le dispositif de traitement au sortir duquel un second tapis les entraîne vers l'appareil de conditionnement. Trois opérateurs interviennent dans le cycle de production : un est chargé de la surveillance de la machine à usiner et du transfert des composants, un autre doit détecter et écarter les pièces non conformes, et le dernier assure la même opération au terme du processus de conditionnement. L'ensemble de la chaîne est surveillé par le responsable de l'atelier (cf. Figure 2.7.).

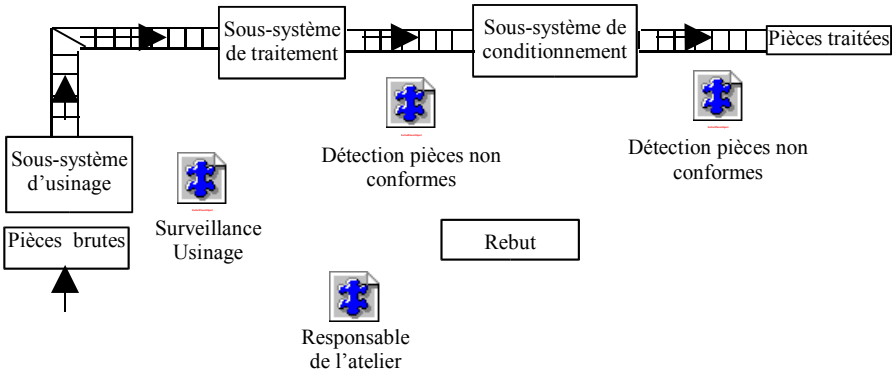


Figure 2.7 La chaîne de production de l'entreprise « Méca Plus ». Le parcours et les traitements subis par les pièces mécaniques est illustré, ainsi que le rôle et le positionnement des différents acteurs de gestion de cette chaîne de production.

Les caractéristiques des composantes internes nécessaires à la compréhension du fonctionnement de l'entreprise ont été identifiées. Il s'agit maintenant d'étudier les composantes constituant l'environnement proche de cette PME-PMI.

2.2.1.2 L'environnement de l'entreprise

Pour appréhender l'environnement de l'entreprise trois catégories sont identifiées : l'environnement économique, l'environnement territorial et l'environnement de gestion des risques.

L'environnement économique de l'entreprise est constitué de dix fournisseurs, vingt clients et trois concurrents. L'entreprise est membre d'une association locale d'entreprises dont le rôle est d'échanger sur un ensemble de sujets relatifs au fonctionnement et à la croissance des entreprises. Par ailleurs, elle est un des maillons d'une chaîne logistique visant à développer des composants pour l'automobile. Cette chaîne est composée de quinze entreprises réparties entre les fournisseurs, les entreprises de production, l'entreprise donneuse d'ordre et les distributeurs (cf. Figure 2.8.).

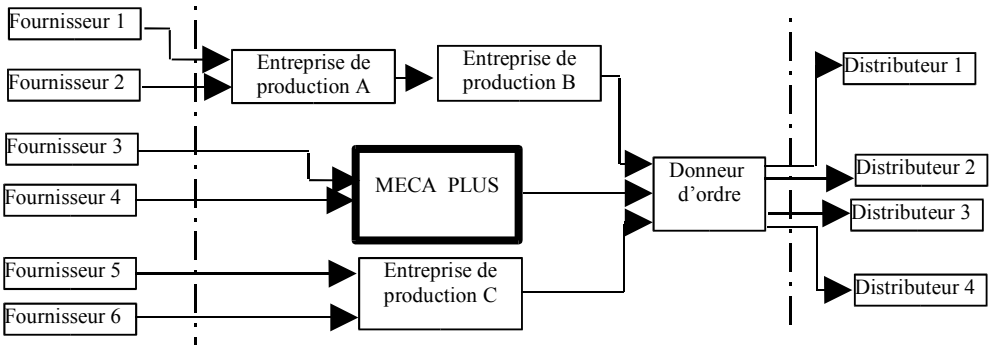


Figure 2.8 La chaîne logistique de l'entreprise « Meca Plus ». Cette figure permet d'identifier l'ensemble des entreprises impliquées dans la chaîne logistique et le positionnement de la PME en son sein.

L'environnement géographique de l'entreprise est une zone industrielle, située près d'une ville moyenne. Cette zone regroupe une cinquantaine d'entreprises appartenant à différentes filières et est située à cinq kilomètres d'un échangeur d'autoroute et d'un fleuve ayant provoqué une inondation trente ans plus tôt.

L'entreprise dépend d'une Direction Départementale du Travail, de l'Emploi et de la Formation Professionnelle ainsi que d'une Caisse Régionale d'Assurance Maladie mais

l'entrepreneur n'a connaissance d'aucune des actions menées par ces organismes en ce qui concerne la prévention des risques professionnels.

La suite de la réflexion consiste à identifier précisément les composantes de l'organisation virtuelle de gestion des risques correspondant aux caractéristiques de l'entreprise étudiée.

2.2.2 L'organisation virtuelle de gestion des risques du cas d'étude

La mise en œuvre de l'organisation virtuelle de gestion des risques correspondant à l'entreprise étudiée nécessite d'identifier les acteurs qui vont être chargés d'accomplir les différents rôles du dispositif mais aussi de caractériser la nature des systèmes technologiques et leur localisation géographique.

Pour définir ces différents facteurs, le découpage fonctionnel du modèle de gestion des risques identifié précédemment (§2.2) est effectué. Dans un premier temps les caractéristiques des traitements de sensibilisation aux risques sont décrits. Dans un deuxième temps, les mécanismes de traitements des risques internes à l'entreprise sont présentés et enfin le dispositif de gestion des risques issus de l'environnement de la PME-PMI est présenté.

2.2.2.1 Le dispositif de sensibilisation à la gestion des risques

Le déploiement de l'organisation virtuelle de sensibilisation à la gestion des risques nécessite le développement d'un dispositif permettant à des utilisateurs situés dans des lieux géographiquement différents de dialoguer et d'enrichir un ensemble de bases d'information concernant des modes de défaillances d'outils ou de matériels, sous réserve de validation par un réseau d'experts.

La réalisation de cette architecture à l'aide des technologies l'Internet permet de réaliser des applications accessibles par l'intermédiaire d'un navigateur web. Deux types de bases de données sont distinguées : celles contenant les différentes discussions et celles contenant les informations sur différents modes de défaillances. Ces bases sont reliées au système d'intermédiation électronique ainsi qu'au réseau Internet par l'intermédiaire duquel les utilisateurs peuvent consulter, valider et mettre à jour les différentes bases (cf. Figure 2.9).

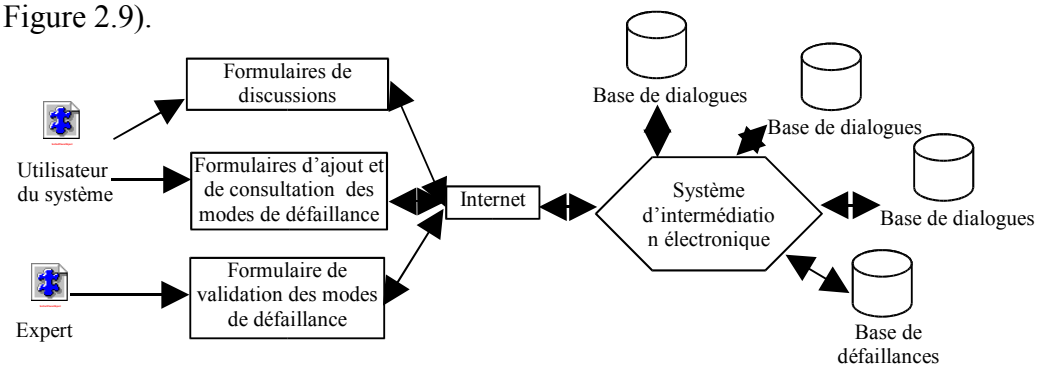


Figure 2.9 Architecture de l'organisation virtuelle de sensibilisation. La construction de l'organisation virtuelle de sensibilisation à la gestion des risques repose sur un ensemble de bases de données contenant les échanges entre les utilisateurs ainsi que les modes de défaillances des dispositifs technologiques. Les utilisateurs saisissent et accèdent à ces données à travers le réseau Internet.

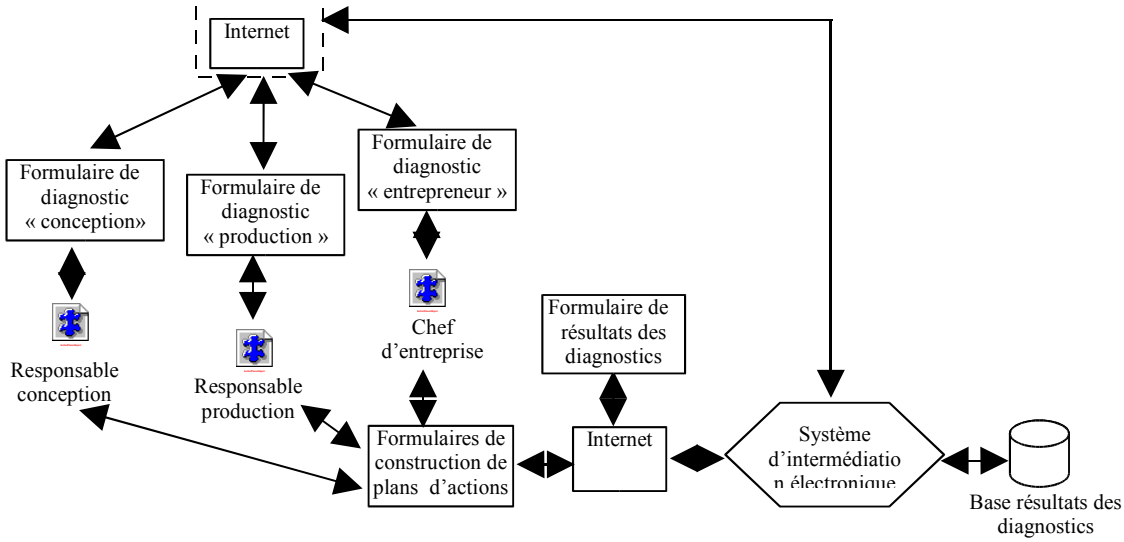
Les bases de données contenant les informations sur les différents modes de défaillances et les traitements d'échanges d'information peuvent être gérées par une association d'entreprises, par les services départementaux ou régionaux du travail et de l'emploi ou bien par un prestataire de services privé.

L'objectif de ce dispositif est de permettre la sensibilisation des acteurs des PME-PMI à la gestion des risques. Le dispositif suivant consiste à permettre l'accomplissement des pratiques de prévention et de gestion des risques au sein de l'entreprise.

2.2.2.2 Le dispositif de gestion des risques internes à l'entreprise

L'architecture de gestion des risques internes associée à l'entreprise « Meca Plus » doit fournir des fonctionnalités de diagnostic, de supervision et de gestion des risques. Ceux-ci dépendent d'une part, des risques issus des postes de travail (conformément à la législation) et d'autre part, de la prise en compte des risques liés à la conception, à la fabrication et à l'utilisation de produit et également à l'utilisation de moyens de conception de pièces mécaniques.

Le dispositif de diagnostic est constitué de formulaires d'acquisition d'information et de traitement permettant de déterminer les points faibles de l'entreprise et de générer des plans d'actions communs à différentes entreprises. Ils peuvent donc être localisés au sein d'un organisme extérieur à l'entreprise. En revanche, les résultats des évaluations et les traitements chargés d'analyser les informations propres à une entreprise doivent pour des raisons de sécurité et de facilité de réutilisation, être situés au sein de l'entreprise. En effet, seuls les acteurs de l'entreprise et les services de contrôle doivent pouvoir



accéder à ces informations (cf. Figure 2.10).

Figure 2.10 Architecture des traitements de supervision de l'organisation virtuelle de gestion des risques internes à l'entreprise. Elle est constituée d'un dispositif d'acquisition des données qui décrit le fonctionnement de la chaîne de production, d'un ensemble de mécanismes qui compare ces données avec les valeurs idéales attendues et d'interfaces qui permettent au chef d'entreprise et au responsable de la production de veiller au bon fonctionnement de la chaîne de production.

Le dispositif de supervision dépend de l'activité de l'entreprise. Dans le cas de l'entreprise « Meca Plus », il concerne le suivi des chaînes de production des pièces mécaniques. Les fonctionnalités de surveillance doivent vérifier si la fréquence de production est conforme aux attentes, si le taux de défaillance des pièces n'est pas trop important ou bien si les différents éléments de la chaîne de production fonctionnent

correctement. Les constituants du dispositif de supervision comprennent des capteurs (au sens large du terme) permettant d'acquérir de l'information sur l'activité de la chaîne de production, des processus d'identification des perturbations (écart avec les consignes, arrêt d'une machine, …) et des processus de communication avec les acteurs de l'entreprise concernés (essentiellement l'entrepreneur et le responsable de la production) (cf. Figure 2.11).

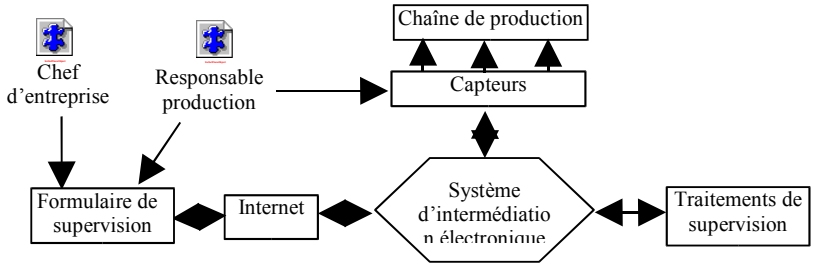


Figure 2.11 Architecture des traitements de diagnostic de l'organisation virtuelle de gestion des risques internes à l'entreprise. Elle est constituée d'interfaces permettant aux différents utilisateurs d'effectuer les diagnostics de leur secteur d'activité. Les résultats sont stockés dans une base de données et accessibles par l'intermédiaire d'interfaces qui s'adaptent selon le profil de l'utilisateur.

Le dispositif d'auto-contrôle a pour rôle de prévenir les dysfonctionnements qui pourraient survenir du fait de l'introduction du dispositif de gestion des risques au sein de l'entreprise. Dans le cadre de l'entreprise «Meca Plus », il doit veiller au respect des délais fixés pour les différentes étapes des processus de diagnostic en rappelant régulièrement aux utilisateurs concernés les actions qu'ils doivent mener. Il a également pour rôle de veiller à la justesse des informations saisies que ce soit pour le diagnostic ou la supervision de processus (cf. Figure 2.12).

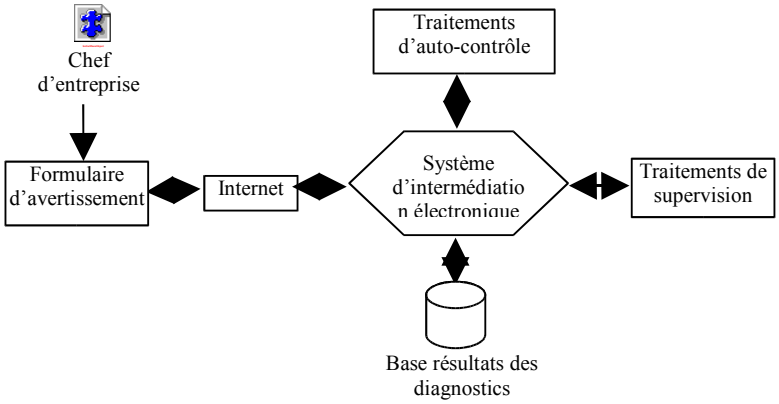


Figure 2.12 Architecture des traitements d'auto-contrôle de l'organisation virtuelle de gestion des risques internes à l'entreprise. Elle repose sur des traitements qui vérifient régulièrement la pertinence des informations présentes dans les bases de diagnostics et dans les traitements de supervision pour détecter un dysfonctionnement de l'utilisation de l'organisation virtuelle. Un ensemble de formulaires permet de renseigner le chef d'entreprise sur l'usage qui est fait de l'organisation virtuelle.

Ces trois architectures permettent de mettre en œuvre les fonctionnalités indispensables pour gérer les risques internes à l'entreprise. Il s'agit à présent d'étudier les architectures aptes à la mise en œuvre des traitements de gestion des risques liés à l'environnement de l'entreprise.

2.2.2.3 Le dispositif de gestion des risques liés à l'environnement de l'entreprise

L'entreprise étudiée est exposée à différents types de risques pouvant avoir pour origine l'environnement de l'entreprise. Il s'agit des perturbations dues à son appartenance à une chaîne logistique mais aussi celles liées à sa situation au sein d'une zone industrielle composée de différents types d'entreprises et enfin de sa localisation à proximité d'un fleuve. L'ensemble de ces considérations doit par conséquent être pris en compte pour spécifier l'architecture et les traitements de l'organisation virtuelle. Pour chacun des types de risques, une architecture est proposée permettant de mettre en œuvre les traitements de diagnostics, de supervision et d'auto-contrôle.

L'activité d'une chaîne logistique engendre des risques spécifiques pour les entreprises qui la constituent. Ceux-ci sont essentiellement la conséquence de la variation de la demande en aval de la chaîne ce qui peut perturber le fonctionnement de l'ensemble des entreprises, notamment dans leur stratégie de gestion des stocks. Par ailleurs, la défaillance d'une des entreprises influe sur l'ensemble de la chaîne. Les traitements de diagnostic ont pour objectifs d'identifier les conséquences sur l'entreprise que pourrait avoir une variation dans les échanges de flux, en fonction de la politique de gestion des stocks et de la capacité de production de l'entreprise. Les fonctionnalités de supervision consistent à surveiller le fonctionnement des différents maillons de la chaîne et à identifier la survenue de dérèglements ayant pour origine une variation, même anodine, du rendement de production ou de vente d'une des entreprises du réseau. Le système d'auto-contrôle vérifie si les informations manipulées dans le système correspondent à la situation réelle.

Les dangers de l'environnement territorial de l'entreprise proviennent essentiellement des conséquences d'un accident survenant au sein d'une entreprise et ayant des répercussions sur les autres (explosions, incendies, émission de substances polluantes, …). Les systèmes de diagnostic doivent permettre l'identification des conséquences de la survenue d'un événement émanant de l'environnement de l'entreprise. Les traitements de supervision visent à détecter la survenue du moindre incident au sein du territoire et à en informer l'ensemble des entreprises pour qu'elles puissent prendre les dispositions adéquates. Le système d'auto-contrôle a pour objectif de vérifier l'utilisation correcte des fonctionnalités par les différents utilisateurs.

La présence d'un fleuve à proximité de l'entreprise « Meca Plus » engendre la possibilité pour elle de subir une inondation pouvant avoir des conséquences directes (accidents, destruction de matériels, arrêt de la production, …) ou des conséquences indirectes (routes coupées, rupture des approvisionnements, indisponibilité des salariés, …). Le système de diagnostic du risque inondation doit permettre aux entrepreneurs d'évaluer les conséquences d'une inondation sur le fonctionnement de leur entreprise et de prendre les mesures permettant de minimiser leur gravité[5]. Les outils de supervision doivent détecter les conditions pouvant favoriser la survenue d'une inondation et alerter les entreprises susceptibles d'être affectées. Le système d'auto-contrôle a pour objectif de vérifier si l'ensemble des entreprises réalise les actions visant à minimiser l'impact d'une inondation et si les messages d'information pouvant être générés par le système de supervision sont correctement interprétés.

[5] La réalisation d'une méthode d'auto-diagnostic des conséquences d'une inondation au sein d'une PME-PMI fait l'objet de la thèse de Paul Mengual qui sera soutenu en 2004.

La mise en œuvre des traitements relatifs au diagnostic, à la supervision et à l'auto-contrôle de leur utilisation des trois types de risques liés à l'environnement d'une entreprise conduit à la conception d'une architecture permettant l'acquisition d'informations issues de sources situées dans des lieux géographiquement différents, puis d'analyser et d'informer l'ensemble des acteurs du système, concernés par les résultats. Une partie des traitements est centralisée par une des composantes du réseau et une autre partie est partagée au sein des différentes entreprises. L'ensemble des formulaires de saisie ou d'information est accessible par l'intermédiaire du réseau Internet et est régie par l'entreprise centralisatrice. En revanche, les bases de données contenant les résultats des diagnostics ainsi que les capteurs de supervision sont gérés de manière interne par chaque entreprise.

La réalisation de ces architectures qui composent les trois modèles d'organisation virtuelle de gestion des risques identifiés nécessite de mettre en œuvre un système d'intermédiation électronique permettant de relier des bases de données, des applications accessibles par l'intermédiaire du réseau Internet et des programmes de gestion des risques. La section suivante est consacrée à l'analyse fonctionnelle des mécanismes d'intermédiation électronique et d'un système d'analyse des risques destiné à fournir les traitements de prévention, de supervision et de gestion des risques.

2.2.3 Analyse fonctionnelle des traitements nécessaires à la mise en œuvre d'une organisation virtuelle de gestion des risques

Au sein des sections précédentes les caractéristiques inhérentes au cœur de l'organisation virtuelle ont été identifiées : le système d'intermédiation électronique (cf.§2.1.4) puis les traitements nécessaires pour réaliser une organisation virtuelle de gestion des risques appliquée à une entreprise de conception et de fabrication de pièces mécaniques (cf.§2.3.2) ont été définis. Dans cette section, une analyse permettant d'identifier les traitements à mettre en œuvre pour programmer un système d'intermédiation électronique est menée. Puis, la même démarche est conduite pour définir les traitements d'un logiciel d'analyse des risques destiné à servir de support aux mécanismes de production d'information et de supervision d'organisation.

2.2.3.1 Analyse fonctionnelle du système d'intermédiation électronique

Un système d'intermédiation électronique doit fournir un ensemble de fonctionnalités afin de permettre le développement d'organisations virtuelles. A partir du tableau de synthèse décrit précédemment (cf.§2.1.4), il est possible de déduire un modèle fonctionnel de système d'intermédiation électronique divisé en quatre niveaux relatifs à différents types de fonctionnalités : la gestion de la communication, la gestion des traitements, la gestion de la composition de services et la gestion des contraintes organisationnelles.

- Les fonctionnalités de gestion de la communication correspondent aux traitements permettant l'échange d'information entre différents dispositifs technologiques. En effet, le système d'intermédiation électronique doit assurer la transmission d'information entre des bases de données, le réseau Internet, des applications informatiques, des systèmes électroniques situés dans des lieux géographiquement différents.

- Les mécanismes de gestion des traitements correspondent aux fonctionnalités permettant l'extension de la visibilité des traitements fournis par les systèmes technologiques reliés au dispositif d'intermédiation. Il s'agit de mécanismes

d'ajout et de retrait de traitement, d'accès à leur liste et leur description mais aussi des fonctionnalités de gestion de leur exécution et des conflits de concurrence pouvant survenir.

- Les traitements de composition de services désignent les mécanismes de gestion de l'accomplissement des fonctionnalités qui nécessitent l'exécution de traitements offerts par différents systèmes technologiques. Il s'agit de mécanismes de recherche de traitements, d'identification, d'allocation de tâches et d'ordonnancement de leur exécution.

- Les traitements de gestion des contraintes organisationnelles désignent les mécanismes d'autorisation d'accès à une ressource du système, mais aussi d'extension des fonctionnalités de sauvegarde des traitements proposés par les systèmes technologiques.

La mise en œuvre d'une organisation virtuelle de gestion des risques requiert le développement de ces mécanismes. Par ailleurs, il est indispensable d'étudier les caractéristiques d'un logiciel d'analyse des risques destiné à fournir les mécanismes de diagnostic, de supervision et d'auto-contrôle du fonctionnement d'une organisation.

2.2.3.2 Analyse fonctionnelle d'un logiciel d'analyse des risques

La réalisation des fonctionnalités de diagnostic des risques ne soulève pas de problèmes majeurs sur le plan technologique. La problématique repose sur les données utilisées, le mode d'acquisition, les traitements d'analyse et surtout la nature des résultats. En effet, une fois l'entrepreneur sensibilisé à la conduite d'une politique de gestion des risques, il doit accéder à des outils adaptés aux caractéristiques de son entreprise, qui lui donnent des résultats pertinents et utilisables. L'effort consiste à concevoir des outils de diagnostic pertinents et fournissant des résultats utiles et efficaces à l'entrepreneur.

Les objectifs des services de supervision sont de contrôler si le déroulement d'un dispositif technologique ou organisationnel correspond aux attentes des entreprises et, dans la mesure où une perturbation est détectée, de prévenir les utilisateurs et de les informer sur la nature et les conséquences de cette dernière. Pour cela, le système doit être capable d'acquérir des données permettant de déduire le fonctionnement du système technologique et de les comparer avec le comportement attendu. Par ailleurs, si un écart est constaté, le système doit être apte à décrire le dysfonctionnement correspondant et à identifier les conséquences directes et indirectes sur le système. Ce dernier processus pose le problème de la simulation de systèmes qualifiés de « complexes » et la prédiction des conséquences de l'introduction d'une perturbation dans le système.

Afin de réaliser un tel dispositif, un découpage du système en trois couches fonctionnelles est proposé :

- Une couche de simulation qui fournit les mécanismes permettant de reproduire le fonctionnement d'un dispositif ;

- Une couche d'analyse des perturbations qui permet à l'utilisateur d'introduire des événements dans le système et d'analyser les conséquences directes et indirectes sur l'ensemble des éléments du système.

- Une couche de supervision qui correspond aux mécanismes permettant de comparer l'état réel d'un dispositif avec le dispositif de simulation et d'identifier d'éventuels dysfonctionnements.

Les analyses fonctionnelles du système d'intermédiation électronique et du logiciel d'analyse des risques vont être utilisées par la suite dans le processus de réalisation concrète de l'organisation virtuelle de gestion des risques à destination des PME-PMI.

2.3 Conclusion du chapitre 2

La démarche envisagée pour inciter les PME-PMI à mettre en œuvre une politique de prévention et de gestion des risques professionnels est de concevoir un dispositif technologique permettant de les sensibiliser en provoquant des échanges mais aussi de leur fournir des outils adaptés à la spécificité organisationnelle de leurs entreprises reposant notamment sur un processus de collaboration entre les acteurs.

L'objectif de ce chapitre a été d'étudier dans quelle mesure la gestion des risques peut être abordée à l'aide du concept d'organisation virtuelle. Celui-ci désigne de nouveaux modes de gestion reposant sur des processus de communication utilisant les Technologies de l'Information et de la Communication (T.I.C).

Dans la première section de ce chapitre, le concept d'organisation virtuelle a été présenté. Puis, les propriétés du concept de système d'intermédiation électronique ont été étudiées plus en détail à l'aide de quelques notions de la pensée complexe. Les propriétés et les contraintes de ce système ont pu être décrites.

Sur la base des résultats de la première section, l'analyse menée dans la deuxième section a eu pour ambition d'identifier les avantages à recourir à une organisation virtuelle pour réaliser un dispositif de gestion des risques à destination des PME-PMI. Dès lors, un modèle d'organisation virtuelle de gestion des risques a été proposé. Celui-ci est constitué de trois niveaux correspondant à des finalités différentes et complémentaires : la sensibilisation à la gestion des risques, la gestion des risques internes à l'entreprise et la gestion des risques externes.

Dans la troisième section, un cas concret d'entreprise a été traité, à partir duquel les caractéristiques technologiques des différents mécanismes de gestion des risques ont pu être déduits ainsi que les rôles des différents acteurs. Au terme de cette étude, une analyse fonctionnelle a été effectuée concernant un système d'intermédiation électronique et d'un logiciel d'analyse des risques destiné à fournir les fonctionnalités de diagnostic, d'identification des risques et de supervision.

A présent, il s'agit de s'interroger sur la conception et la programmation du système d'intermédiation électronique et des logiciels d'analyse des risques. La démarche proposée consiste à aborder la conception des deux types de systèmes à l'aide des modèles et des technologies développés dans le domaine de l'Intelligence Artificielle Distribuée et des Systèmes Multi-Agents et ainsi réaliser une organisation virtuelle de gestion des risques orientée agent ainsi qu'un logiciel d'analyse des risques orienté agent.

Chapitre 3
De l'apport des Systèmes Multi-Agents pour la mise en œuvre d'une organisation virtuelle de prévention des risques

« Agent Technology is a newly emerged, and as yet essentially untested software programming : it is only a matter of time before someone claims agents are a silver bullet. This would be a dangerous fallacy. […] There are good arguments in favour of the view that agent technology will lead to improvements in the development of complex distributed software systems. But, as yet, these arguments are largely untested in practice. »

M. Wooldridge & N.R. Jennings
Pitfalls of Agent-Oriented Development

Le recours au concept d'organisation virtuelle pour concevoir un dispositif de sensibilisation, de prévention et de gestion des risques au sein de PME-PMI soulève un ensemble de problématiques lié d'une part, au développement d'un système d'intermédiation électronique et d'autre part, à la réalisation d'outils d'analyse et d'aide à la gestion des risques.

Le développement de telles architectures logicielles nécessite le choix d'un paradigme de conception et des outils de programmation fournissant des concepts et des mécanismes correspondant aux besoins. Les approches classiques, comme la programmation orientée objet offrent les traitements nécessaires avec les technologies d'objets distribués pour assurer l'échange d'information entre entités distribuées. Néanmoins, la mise en place de processus d'échanges d'informations structurées et de gestion d'un ensemble d'entités en interaction requiert des mécanismes que le concept d'objet ne fournit pas.

La démarche suivie pour pallier ces insuffisances consiste à étudier l'apport de concepts issus des travaux menés en Intelligence Artificielle Distribuée pour la réalisation d'un système d'intermédiation électronique et d'un logiciel d'analyse des risques. En effet, les efforts réalisés pour concevoir des modèles et des mécanismes visant à étudier ou à reproduire la dynamique d'organisations sociales, ont débouché sur la définition de la notion d'agent logiciel et de systèmes multi-agents. La multiplication de travaux autour de ces concepts a provoqué l'émergence d'une démarche de conception et de programmation de logiciels fondée sur les propriétés des agents logiciels : la programmation orientée agent.

La démarche d'analyse du système de gestion des risques à l'aide du concept d'organisation virtuelle a induit la construction de modèles d'organisations virtuelles de

gestion des risques (cf. §2.2) et la réalisation d'une analyse fonctionnelle des fonctionnalités d'un système d'intermédiation électronique d'une part et d'un logiciel d'analyse des risques d'autre part. La programmation de ces deux systèmes soulève un ensemble d'interrogations en matière de choix conceptuels et technologiques. La démarche suivie consiste à aborder la réalisation de ces deux systèmes à l'aide d'une démarche agent.

L'objectif de ce chapitre est de présenter la démarche de réalisation d'un système d'intermédiation électronique et d'un logiciel d'analyse des risques à l'aide des concepts, modèles et outils développés autour des notions d'agents logiciels intelligents et de systèmes multi-agents. Pour cela, un tour d'horizon du domaine des agents logiciels intelligents et des systèmes multi-agents est réalisé, et plus particulièrement sur les approches de conception et de programmation orientées agent. Puis, l'étude de la réalisation des fonctionnalités d'intermédiation électronique est effectuée à l'aide de l'approche agents afin de définir un modèle d'agent logiciel d'intermédiation. Enfin, la même démarche est reconduite pour étudier la réalisation d'un logiciel d'analyse des risques d'une organisation.

3.1 Tour d'horizon du domaine des agents logiciels et des systèmes multi-agents

La prise en compte des propriétés du concept de complexité (interaction, auto-organisation, émergence, …) en informatique, et plus particulièrement en Intelligence Artificielle, conjointement avec les progrès liés aux réseaux de communication, a entraîné le besoin d'étudier la réalisation de systèmes informatiques dont les traitements seraient répartis entre différents éléments en interaction. Des réflexions et des travaux menés dans cette optique ont émergé avec les notions d'agent logiciel et de système multi-agents. De nombreuses définitions et typologies d'agents ont été avancées dans différents domaines d'application. Depuis peu, des approches visant à utiliser le concept d'agent comme paradigme de conception et de programmation de logiciel ont entraîné la réalisation de modèles et d'outils.

L'objectif de cette section est de dresser un tour d'horizon du domaine des agents logiciels et des systèmes multi-agents au regard de l'utilisation de ces concepts pour la création et la programmation de logiciels. Dans un premier temps, une synthèse des définitions et des typologies d'agents logiciels et de systèmes multi-agents est présentée. Dans un deuxième temps, un ensemble d'applications des systèmes multi-agents est décrit, celui-ci couvre des domaines proches des besoins identifiés pour réaliser un système d'intermédiation électronique et un logiciel d'analyse des risques. Dans la troisième partie, les idées de conception et de programmation orientées agent sont analysées. Ils découlent de celles-ci plusieurs modèles et outils permettant la réalisation de logiciels orientés agents applicables en vue de la mise en œuvre des systèmes étudiés.

3.1.1 Définitions et typologies d'agents logiciels et de systèmes multi-agents

Comme tout concept central d'un paradigme, il existe de nombreuses définitions pour caractériser la notion d'agent logiciel. De manière générale, l'agent est défini comme « ce qui agit, opère, force, corps, substance intervenant dans la production de certains phénomènes » (dictionnaire Petit Robert). Les différentes définitions produites dans le domaine des agents logiciels recouvrent des programmes informatiques dotés de fonctionnalités spécifiques.

Le tableau suivant (cf. tableau 3.1) propose un ensemble de définitions de la notion d'agent logiciel énoncées de manière chronologique.

Références	Définition du concept d'agent logiciel
[FERBER89]	« *On appelle agent une entité physique ou abstraite qui est capable d'agir sur elle-même et son environnement, qui dispose d'une représentation partielle de cet environnement, qui, dans un univers multi-agents, peut communiquer avec d'autres agents, et dont le comportement est la conséquence de ses observations, de sa connaissance et de ses interactions avec les autres agents. »*
[DEMAZEAU90]	*« Un agent est une entité intelligente, agissant rationnellement et intentionnellement, en fonction de ses buts propres et l'état actuel de sa connaissance »*
[FERBER95]	*« une entité physique ou virtuelle :* • *qui est capable d'agir dans un environnement,* • *qui peut communiquer directement avec d'autres agents,* • *qui est mue par un ensemble de tendances (objectifs, fonction de satisfaction ou de survie, ...) qu'elle cherche à optimiser,* • *qui possède des ressources propres,* • *qui est capable de percevoir (mais de manière limitée) son environnement,* • *qui ne dispose que d'une représentation partielle de cet environnement,* • *qui possède des compétences et offre des services,* • *qui peut éventuellement se reproduire,* *dont le comportement tend à satisfaire ses objectifs, en tenant compte des ressources et des compétences dont elle dispose, et en fonction de sa perception, de ses représentations et des communications qu'elle reçoit. »*
[LESPERANCE95]	« *Un agent est une entité active dont le comportement est utilement décrit à l'aide de notions mentales telles que les connaissances, les buts, les intentions, … »*
[EDWARDS97]	*« un agent logiciel intelligent est une application informatique dotée de la faculté d'apprentissage. »*
[LIEBERMAN97]	*« un agent logiciel intelligent est un programme qui peut être considéré par son utilisateur comme un assistant ou une aide, et pas seulement comme un outil du type d'une interface conventionnelle. »*
[JENNINGS98]	« *Un agent logiciel est une application informatique, située dans un environnement, qui est capable d'agir de manière autonome et flexible dans le but de résoudre les problèmes pour lesquels il a été conçu . »*

Tableau 3.1 Quelques définitions du concept d'agent logiciel.

Pour pouvoir être qualifié d'agent logiciel, un programme informatique doit recouvrir un ensemble de propriétés. Pour les présenter, la synthèse de [GANDON02] est reprise (cf. tableau 3.2), celle-ci étant construite à partir de [ETZIONI95] [WOOLDRIDGE95] [FRANKLIN96] [NWANA96] [SYCARA98] et [JENNINGS00].

Propriétés	Sous-Propriétés	Description
Réactif		L'agent doit réagir rapidement à une modification de son environnement.
Etat mental complexe		L'agent possède des connaissances, des croyances, des intentions et des obligations.
Passage en mode dégradé propre		Le passage en mode dégradé et la fin de vie de l'agent s'effectue de manière propre.
Continuité temporelle		Dès qu'il est créé l'agent est actif.
Situé		L'agent perçoit et peut modifier l'environnement dans lequel il évolue.
Autonomie		L'agent prend des initiatives et exerce un contrôle sur ses propres actions.
	Identifiable	L'agent, ses frontières et ses interfaces avec l'environnement peuvent être facilement identifiables.
	Auto-contrôle	L'agent n'obéit pas aveuglément à des commandes, il peut modifier une requête, demander des précisions, négocier ou refuser.
	Flexible	Les actions ne sont pas figées, l'agent peut choisir quels traitements effectuer et leurs séquences d'exécution.
	Guidé par ses objectifs	L'agent peut accepter une requête de la part d'un autre agent du système (logiciel ou humain) tout en décidant quand et où exécuter la requête.
	Proactif	L'agent a la possibilité de prendre des initiatives grâce à des mécanismes de raisonnement sur ses actions.
Personnalité		L'agent possède une personnalité crédible et des état émotionnels qui améliorent ses interactions avec les utilisateurs humains.
Communicant		L'agent est capable d'engager des conversations avec des acteurs humains ou artificiels afin d'obtenir de l'information ou de l'aide dans l'accomplissement de ses tâches.
Adaptable		L'agent s'adapte lui même aux préférences de ses utilisateurs et aux changements de son environnement.
	Paramétrable	L'agent est capable d'être configuré par un autre agent (généralement humain) pour être plus performant.
	Apprenant	L'agent peut automatiquement se configurer et s'adapter en fonction des changements survenant dans son environnement et modifier son comportement fondé sur ses précédentes expériences.
Migrant		L'agent peut se déplacer d'un environnement vers un autre, probablement à travers différentes architectures et plates-formes.
Mobile		L'agent peut évoluer dans une représentation du monde réel.
Représentation visuelle		L'agent peut posséder une représentation physique qui peut être une simple interface graphique ou bien une interface de réalité virtuelle.
Confiance		L'agent ne transmet aucune information qu'il considère incorrecte.
Bénévole		L'agent n'a pas d'objectif de conflit et tente de remplir au mieux les fonctions qui lui sont demandées.
Rationnel		L'agent agit pour remplir ses objectifs et n'effectuera aucune action qui pourrait aller à l'encontre de la satisfaction de ses plans.

Tableau 3.2 Propriétés des agents logiciels d'après [GANDON02].

Dans la majorité des cas il est inutile pour un agent logiciel de satisfaire à l'ensemble de ces propriétés. On constate, toutefois, que plusieurs catégories d'agents ont émergé. A l'aide du tableau suivant un ensemble d'exemples de typologies d'agents est présenté (cf. Tableau 3.2).

Type d'agent	Caractéristiques de l'agent
Agents coopératifs	Les principales qualités de cette classe d'agents sont les capacités d'autonomie, de coopération et de négociation avec d'autres agents et leur faculté de planification dans le but de résoudre les tâches qui leur sont associées [NWANA96].
Agents d'interface	Un agent d'interface est caractérisé par son autonomie et ses facultés d'apprentissage dans l'optique d'aider l'utilisateur. L'agent œuvre comme un assistant personnel qui collabore avec l'utilisateur [LASHKARI94].
Agents mobiles	Un agent mobile est une application logicielle capable de se déplacer au sein d'un réseau de communication pour aller effectuer un traitement auprès d'un fournisseur de service puis de revenir à son point de départ avec le résultat [NWANA96].
Agents d'information	L'agent d'information a pour objectif de rechercher, manipuler, gérer de l'information issue de différentes sources distribuées [NWANA96].
Agents réactifs	Le comportement des agents réactifs consiste à réagir aux messages reçus d'autres agents ou à des changements dans leur environnement sans aucune faculté de réflexion sur leurs actions [FERBER95].
Agents cognitifs	Les agents cognitifs ont la possibilité de raisonner sur leurs intentions et leurs croyances, de générer et de contrôler l'exécution de plans d'actions [FERBER95].

Tableau 3.3 Différentes typologies d'agents.

La compréhension des propriétés et des mécanismes sous-jacents au fonctionnement d'un agent logiciel permet d'aborder l'étude des phénomènes issus de la mise en relation de ces agents afin de constituer un système multi-agents. La suite de cet état de l'art est consacrée aux mécanismes sociaux induits par la mise en relation de différents agents logiciels.

La notion de Système Multi-Agents est décrite dans [DURFEE89] comme « *un réseau de systèmes de résolution de problèmes qui interagissent pour résoudre des problèmes qui nécessitent des ressources supérieures à celles fournies par chaque système* ». Ferber définit un système multi-agents comme un système constitué d'un environnement E, c'est-à-dire un espace disposant généralement d'une métrique, d'un ensemble d'objets O situés dans E, d'un groupe d'agents A, sous-ensemble de O, (pouvant percevoir, créer, détruire, modifier les objets du système), de relations unissant les objets de O, d'opérations permettant aux agents d'agir dans E et d'un ensemble de règles régissant ces opérations [FERBER95].

L'intérêt de la réalisation d'un système multi-agents réside dans le fait de résoudre un problème par la mise en relation d'agents qui, ne possédant chacun qu'une vision restreinte, des ressources et de connaissances insuffisantes, ne pourraient y parvenir individuellement [SYCARA98].

Les conséquences de la mise en œuvre d'un système multi-agents peuvent s'appréhender avec le concept de situation d'interaction défini dans [FERBER95] comme « *un ensemble de comportements résultant du regroupement d'agents qui doivent agir pour satisfaire leurs objectifs en tenant compte des contraintes provenant des ressources plus ou moins limitées dont ils disposent et de leurs compétences individuelles ».* Ainsi, les relations et les actions des agents dépendent de leurs objectifs et des ressources disponibles dans l'environnement. Elles peuvent être réparties en trois catégories : l'indépendance, la coopération et les conflits [FERBER95].

- Les situations d'indépendance correspondent aux cas où les différents agents possèdent des objectifs compatibles les uns avec les autres et que l'ensemble des ressources nécessaires à l'accomplissement de leurs activités est disponible.

- Les situations de coopération correspondent aux situations dans lesquelles les agents doivent mettre en commun leurs compétences et partager les ressources de

l'environnement. Les relations d'interactions correspondantes doivent permettre de gérer l'ordonnancement des différents traitements pour satisfaire les agents mais également de gérer l'allocation des ressources aux agents selon leurs besoins.

- Les situations de conflits surviennent quand des agents ont des objectifs antagonistes. Des processus de négociation, de création de coalition ou bien de lutte sont mis en œuvre entre les agents afin d'aboutir à une solution.

L'optique suivie est d'aborder la programmation d'un système d'intermédiation et d'un logiciel d'analyse des risques à l'aide d'une approche reposant sur les concepts d'agents et de systèmes multi-agents. Cela engendre des besoins dans le domaine de la représentation et du traitement de l'information, de l'interopérabilité de systèmes d'information, de la modélisation et la supervision de systèmes technologiques. Par la suite, un ensemble d'exemples illustre l'utilisation des systèmes multi-agents dans ces différents domaines.

3.1.2 Domaines d'application des agents logiciels et des systèmes multi-agents

Les systèmes multi-agents offrent des perspectives en matière de support à l'ingénierie de systèmes technologiques nécessitant la mise en relation d'entités autonomes dans le but de résoudre un problème donné. Ils permettent aussi de servir de support logiciel pour reproduire et analyser le fonctionnement d'organisations sociales modélisées à l'aide des notions d'organisation et d'interaction. La conception et la programmation d'un système d'intermédiation électronique et d'un logiciel d'analyse des risques requièrent la mise en œuvre de ces mécanismes. Dans cette section, un ensemble de domaines d'application ayant utilisé les systèmes multi-agents comme support méthodologique ou technologique est présenté. Elles correspondent à quatre préoccupations : « l'interopérabilité » entre systèmes, la simulation, le traitement de l'information et le contrôle de systèmes technologiques.

3.1.1.1 Les agents comme support de l'interopérabilité de systèmes d'information

« L'interopérabilité » de systèmes informatiques existants est un problème majeur pour de nombreux industriels. Dans [GENESERETH94], une des solutions à cette problématique repose sur l'idée « d'encapsuler » les programmes existants avec un composant doté de mécanismes de communication permettant un échange d'information entre les différents systèmes.

A partir de cette hypothèse, des modèles d'agents coopératifs ont été conçus. Parmi ces travaux on peut citer le projet ARCHON [WITTIG92] qui a consisté à la réalisation d'une architecture d'agent permettant la réutilisation de logiciels existant dans des systèmes plus complexes et coopératifs. Cette architecture a été utilisée dans le domaine industriel, notamment pour la distribution et la transmission de l'électricité, pour le contrôle d'accélérateur de particules ainsi que pour le contrôle d'application robotique [COCKURN96].

Dans un autre domaine, celui de la gestion des crises, des travaux similaires ont été menés pour réaliser « l'interopérabilité » et la coopération entre des systèmes d'informations (bases de données, systèmes d'information géographiques, etc.) et ce,

pour réaliser un dispositif d'aide à la gestion des crises [CARDON97] ou bien un système de soutien à la gestion de feux de forêts [JABER98].

Ces travaux illustrent le potentiel offert par les modèles et les technologies des systèmes multi-agents pour la mise en œuvre de l'interorpérabilité de systèmes d'information hétérogènes et géographiquement distribués. La mise en œuvre de ces mécanismes est un des préalables à la conception et la programmation d'un système d'intermédiation électronique puisque celui-ci doit assurer l'échange d'information entre différents types de systèmes technologiques.

3.1.1.2 Les agents comme support de simulation

La simulation est une des phases du processus de modélisation qui permet de vérifier la cohérence d'un modèle selon des hypothèses de fonctionnement. L'utilisation des systèmes multi-agents pour la simulation de système permet de représenter directement les acteurs du modèle, leurs comportements et leurs interactions [FERBER95]. Ainsi, de nombreux travaux de simulation à base d'agents sont et ont été conduits.

Dans [GUERRIN98], les SMA sont utilisés pour modéliser des échanges de matières organiques, des coûts de transfert et des négociations entre exploitants agricoles dans des régions rurales, avec pour objectif la détection des dysfonctionnements et le test des différentes alternatives d'organisation d'acteurs.

Les travaux présentés dans [FRANCHESQUIN00] décrivent un Système Multi-Agents dédié à la gestion hydraulique de la Camargue. Le modèle proposé est composé d'agents qui reproduisent le comportement des individus du système social de gestion de l'hydraulique. L'environnement du système est constitué de différents éléments du modèle hydrologique.

La plate-forme de réalité virtuelle présentée dans [QUERREC01] consiste à reproduire des situations d'exercices de gestion opérationnelles et de commandement d'une division de pompiers. Elle permet, à l'aide de modèles de dispositifs physiques, de phénomènes naturels et du comportements d'acteurs humain d'analyser les conséquences d'une décision et ainsi contribuer à la formation des pompiers à la gestion de situations de crise.

La première couche fonctionnelle du logiciel d'analyse des risques étudiée, doit permettre de reproduire le fonctionnement des différents éléments d'un dispositif technologique. L'utilisation d'un modèle d'agent peut être une solution pour reproduire le fonctionnement des différents constituants du dispositif et pour servir de support à la réalisation des fonctionnalités d'analyse des risques.

3.1.1.3 Les agents comme support de traitement de l'information

Certains traitements de manipulation d'information nécessitent la prise en compte de nombreuses contraintes. Les systèmes multi-agents peuvent servir de support de représentation ainsi qu'à la manipulation de l'information. Les travaux menés dans le domaine de la génération de carte IGN[6], à l'aide d'une approche agent, illustre ce domaine d'application.

La génération de cartes IGN à différentes échelles nécessite de considérer de nombreuses contraintes dues à la quantité d'informations manipulées mais aussi à la

[6] IGN : Institut Géographique National

variation de la représentation et de la précision de l'information selon l'échelle d'affichage et de la nécessité de respecter les caractéristiques topologiques d'un terrain. Les travaux proposés dans [BAEJIS00] consistent à représenter chaque élément d'une carte par un agent et de gérer la génération des cartes par différents processus d'interaction et de prise de décision. L'objectif de cette démarche est de réaliser un logiciel de génération et de gestion des changements d'échelles de cartes IGN [BAEJIS00].

La réalisation d'un système d'intermédiation électronique et d'un logiciel d'analyse des risques nécessite la définition de structures de données permettant, d'une part, de représenter les traitements gérés par le système d'intermédiation, et d'autre part, les composants du dispositif étudié par le logiciel d'analyse des risques. L'utilisation des mécanismes associés aux agents pourrait servir de support aux mécanismes associés aux deux types d'information.

3.1.1.4 Les agents pour le contrôle de systèmes industriels

Le contrôle des systèmes industriels requiert l'utilisation de dispositifs logiciels adéquats. Différents travaux traitent de l'utilisation des systèmes multi-agents pour superviser le fonctionnement de dispositifs constitués d'un nombre important de composants en interaction.

Les travaux présentés dans [TRANVOUEZ99] concernent l'utilisation d'un système multi-agent pour le contrôle et l'aide à la gestion des perturbations dans un atelier de production. Le système suit le fonctionnement des différentes machines de production : dès qu'une perturbation est détectée, un processus d'interaction est mis en œuvre pour générer un plan de réordonnancement de l'atelier.

Dans [BALBO01], un modèle de système multi-agents est présenté pour assurer le contrôle d'un réseau de bus. Ce modèle permet de générer les horaires théoriques, de les comparer avec les horaires réels afin de détecter les retards et gérer les conséquences des perturbations sur un réseau de transport.

Les fonctionnalités de supervision du logiciel d'analyse des risques peuvent par conséquent être abordées à l'aide d'une approche agent, dans la mesure où les fonctionnalités de simulation et de traitement de l'information reposent également sur ces concepts.

Les différents exemples présentés laissent envisager la possibilité d'aborder la conception et le développement d'un système d'intermédiation électronique et d'un logiciel d'analyse des risques à l'aide d'une approche agent. Pour justifier cette démarche, une présentation des idées de conception et de programmation orientées agents est, par la suite, effectuée avant une proposition de justification de leur utilisation pour aborder les deux systèmes technologiques nécessaires à la réalisation d'une organisation virtuelle de gestion des risques.

3.1.2 La Conception et la Programmation Orientées Agent

L'utilisation de la notion d'agent comme approche de conception et de programmation de systèmes technologiques requiert d'identifier les domaines d'application de cette approche. Il est donc nécessaire de définir un ensemble de concepts, de mécanismes et d'outils permettant de réaliser les différentes étapes de conception et programmation de

logiciels (expression des besoins, conception, programmation, tests unitaires, intégration, installation, exploitation et maintenance corrective).

Cette section est divisée en trois parties. Dans un premier temps une analyse des domaines d'application des approches agents est menée. Dans un deuxième temps, les approches de conception de logiciels orientés agent sont présentées, et enfin, les approches de programmation orientée agent sont décrites.

3.1.2.1 Les domaines d'application de la conception et de la programmation orientées agent

Les exemples présentés dans la section précédente (cf. §3.1.2), permettent de rapprocher les mécanismes des système multi-agents à ceux des systèmes complexes.

Un système est qualifié de complexe s'il est observé et décrit à l'aide des outils de la pensée complexe (éléments, interactions, organisations, émergences, contraintes, …) [MORIN84] (cf. §1.3.1). Ainsi, les caractéristiques de tels systèmes sont d'être constitués d'une hiérarchie d'éléments en interaction, éléments qui peuvent être également perçus à l'aide d'une structure hiérarchique [SIMON91]. Un modèle canonique de système complexe est proposé dans [JENNINGS01]. Celui-ci est composé d'une hiérarchie de sous-systèmes et de différents types d'interactions, les interactions fréquentes entre éléments d'un sous-système, les interactions peu fréquentes entre sous-systèmes et les relations de hiérarchie entre les sous-systèmes (cf. Figure 3.1).

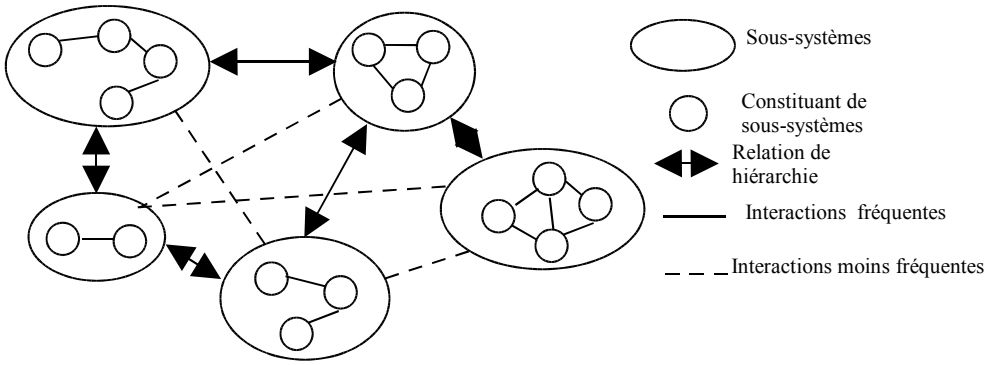


Figure 3.1 Modèle canonique de systèmes complexes d'après [JENNINGS01]. Un système qualifié de complexe est perçu comme un ensemble d'éléments hiérarchisés en interaction.

Les domaines d'applications de la conception et la programmation orientées agent concernent par conséquent la réalisation, la modélisation ou la supervision de logiciels ou de dispositifs décrits à l'aide des concepts de la pensée complexe. Il s'agit à présent d'étudier les offres du domaine des systèmes multi-agents en matière de méthodes de conception et d'outils de programmation.

3.1.2.2 L'approche agent pour la conception de logiciels

L'objectif de la démarche de présentation des méthodes de conception de systèmes multi-agents n'est pas d'effectuer un état de l'art exhaustif des méthodes, des modèles et des outils multi-agents, mais de présenter des méthodes qui font l'objet de nombreuses utilisations dans des domaines différents. Un état de l'art plus détaillé est disponible dans [GANDON02] ou bien [GARNEAU02].

Dans un premier temps, l'approche de conception de systèmes complexes à l'aide d'une approche agent « *Gaia* » est présentée [WOOLDRIDGE00]. Puis, les modèles de systèmes multi-agents « *voyelle »* [DEMAZAU95], « *Agent Groupe Rôle* » [GUTKNECHT01] et « *Message »* [CAIRE01] sont illustrés.

« Gaia » [WOOLDRIDGE00] est une méthodologie dont l'objectif est de permettre l'analyse et la conception de systèmes complexes à l'aide d'une approche orientée agents. Elle se décompose en cinq modèles permettant de formaliser les informations nécessaires au développement de systèmes multi-agents. Ces modèles sont classifiés en deux catégories : les modèles correspondant à l'étape d'analyse du système qui sont les modèles de rôles et d'interactions et les modèles de la phase de conception qui sont les modèles d'agents, de services et « d'acquaintances » (cf. Figure 3.2).

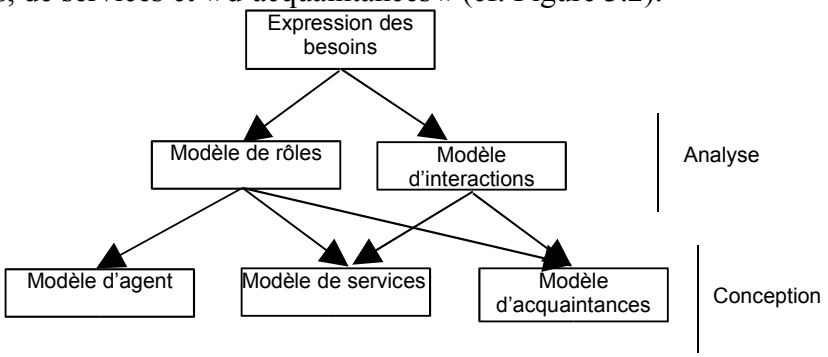


Figure 3.2 Relation entre les modèles de la méthode Gaia d'après [WOOLDRIDGE00]. L'information acquise lors de l'étape d'expression des besoins permet d'identifier les caractéristiques, nécessaires à la programmation des agents et du système multi-agents, qui vont répondre à ces besoins.

Les différents modèles sont décrits ci après :

- Le modèle de rôle vise à représenter les informations relatives aux différentes fonctions devant être accomplies dans le système. Un rôle est caractérisé par les notions de responsabilité, de permission, d'activité et de protocole. La notion de responsabilité désigne les fonctionnalités devant être accomplies par l'agent. Les permissions concernent les droits associés à un rôle, elle permettent d'identifier les ressources utilisables par l'agent pour l'accomplir. Les activités recouvrent les traitements associés à un rôle, que l'agent peut effectuer de manière autonome. Enfin, les protocoles désignent la manière dont l'agent peut interagir avec d'autres rôles.

- Le modèle d'interaction s'attache à représenter les dépendances et les relations entre les différents rôles du système. Il est constitué d'un ensemble de définitions de protocoles qui sont perçus comme un modèle d'interactions défini et formalisé permettant de spécifier l'ensemble des messages échangés.

- Le modèle d'agent a pour objectif de définir les différents types d'agents qui vont constituer le système ainsi que les différentes instances d'agents qui vont être créées durant le fonctionnement du système. Ce modèle permet d'associer un ou plusieurs rôles à un type d'agent.

- Le modèle de services vise à représenter les fonctions associées à un rôle d'agent : il s'agit d'un ensemble d'activités pour lesquelles l'agent s'engage. Il est caractérisé par un ensemble d'attributs décrivant les entrées, les sorties, les conditions d'exécution et les conséquences de son exécution. Ces caractéristiques sont définies à l'aide des informations décrivant les protocoles et les propriétés associées à un rôle.

- Le modèle d'acquaintance correspond aux approches permettant de formaliser les liens de communication existant entre les agents.

La méthode Gaia propose une démarche de définition des composantes d'un système multi-agents. Elle peut être utilisée, indépendamment de tout modèle d'agent. Il s'agit maintenant de présenter différentes approches de définition de systèmes multi-agents.

Parmi les différents modèles de systèmes multi-agents décrits dans la littérature agents, les modèles « *voyelle* », « *agent groupe rôle* » et « *message* » ont été étudiés car ils sont à la base de nombreux travaux théoriques et appliqués.

Le premier modèle est l'approche « *voyelle* » [DEMAZAU95]. Celui-ci caractérise un système multi-agent à l'aide de quatre composantes correspondants aux voyelles :

- **A** : désigne les agents qui constituent le système
- **E** : la notion d'Environnement au sein duquel sont situés les agents
- **I** : modélise les Interactions entre les agents
- **O** : correspond à l'ensemble des relations entre agents qui constituent l'Organisation.

Trois principes viennent compléter ce modèle :

- Le principe de déclaration : **SMA = Agents + Environnement + Interaction + Organisation.** Ce principe signifie qu'il est nécessaire de considérer les quatre composantes pour aborder un système multi-agents.
- Le principe fonctionnel : **Fonction(SMA) = Σ Fonction (Agents) + Fonctions collectives.** Ce principe énonce que les fonctionnalités globales du système sont supérieures à la somme des fonctionnalités des agents grâce aux processus issus des collaborations entre les différents agents.
- Le principe de récursivité : **MAS*=MAS.** Un système multi-agent peut, à un niveau d'abstraction supérieur, être perçu comme un agent interagissant au sein d'un autre système multi-agents.

Les travaux menés dans l'utilisation des systèmes multi-agents dans le domaine de la réalisation de dispositifs de simulation et de modélisation de systèmes complexes ont conduit à l'ajout au modèle de la voyelle **U** pour symboliser les interactions effectuées par un utilisateur [TISSEAU01][QUERREC02].

Le deuxième modèle étudié est l'approche « *Agent-Groupe-Rôle* » (AGR) [GUTKNECHT01]. Il permet la description du fonctionnement d'un système multi-agents à l'aide de trois concepts : l'agent, le groupe et le rôle (cf. Figure 3.3).

- L'**agent** est perçu comme une entité autonome communicante qui joue des **rôles** au sein de différents **groupes**.
- Le **groupe** qualifie une communauté d'**agents** en relation (par interaction, par partage d'un environnement, par un but, par une ontologie commune…).
- Le **rôle** est la représentation abstraite d'une fonction du groupe pouvant contraindre le comportement de l'**agent**, et incarnée dans un, ou des, comportements spécifiques de l'entité.

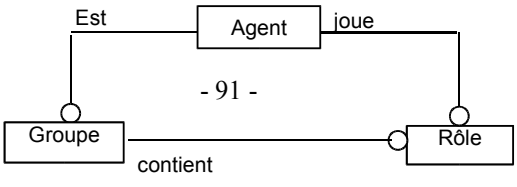


Figure 3.3 Le modèle Agent – Groupe – Rôle d'après [GUTKNECHT99]. Les composantes du modèle sont fortement inter-reliées et permettent d'identifier de manière simple les composantes d'un système multi-agents.

Le troisième modèle étudié est l'approche « *MESSAGE* » (Methodology for Engineering System of Software Agents) [CAIRE01]. Elle est tirée de l'extension du langage de modélisation orienté objet UML, avec un ensemble de concepts agents :

- **L'agent**, est une entité atomique autonome capable d'accomplir un ensemble de fonctions. Celles-ci sont caractérisées par le concept de service qui est considéré comme l'équivalent des méthodes d'un objet. La capacité d'autonomie signifie que l'agent peut déclencher l'exécution des services, non seulement lors d'un événement extérieur, mais aussi selon les intentions de l'agent.

- **L'organisation** désigne un groupe d'agents travaillant ensemble à l'accomplissement d'un objectif commun. Sa structure est caractérisée par des relations hiérarchiques et des interactions entre les composants.

- **Le rôle** caractérise les fonctionnalités offertes par un agent, comme une interface définit les fonctionnalités d'un objet. Il décrit les fonctionnalités externes d'un agent dans un contexte particulier. Un agent est capable de remplir différents rôles et différents agents peuvent remplir le même rôle.

- **Les ressources** représentent des entités non autonomes pouvant être utilisées par un agent. Il peut s'agir de bases de données ou bien des programmes externes.

- **Les tâches**, correspondent aux connaissances sur une unité d'action accomplie par un unique exécutant. Elles sont caractérisées par un ensemble de paires de conditions pré- et post-conditions qui permettent d'indiquer le fait que si une tâche est exécutée et qu'une des pré-conditions est valide, alors il est possible de prévoir que la post-condition correspondante sera remplie au terme de l'accomplissement de la tâche.

- **Les interactions** désignent les actes d'échanges de messages entre les différents éléments du système.

- **Les protocoles d'interactions** correspondent aux patrons d'échange de messages associés à une interaction.

- **Les objectifs** caractérisent les résultats pour lesquels l'agent va mettre en œuvre l'exécution d'actions.

- **Les entités informationnelles** caractérisent un ensemble d'information.

- **Les messages** correspondent à une entité transmise entre deux agents et qui nécessitent un comportement à la fois chez l'émetteur et chez le récepteur.

Les concepts des trois approches de modélisation offrent des possibilités d'utilisation différentes. Les concepts et les principes de la méthode *voyelle* sont directement issus de la méthode d'analyse de la complexité proposée par Edgar Morin [MORIN77]. Ainsi, *voyelle* peut être utilisée comme approche de conception d'outils de simulation visant à reproduire des dispositifs modélisés à l'aide de la démarche d'analyse de la complexité. Toutefois, il n'existe pas, à notre connaissance de plate-forme de programmation

permettant de concevoir des logiciels à partir du modèle *voyelle*. L'approche *Agent Groupe Rôle* offre une précision inférieure aux autres approches. Néanmoins elle est associée à un outil de conception de logiciel, ce qui permet de programmer aisément un système multi-agents reposant sur cette approche de conception. L'approche *Message* a pour avantage de reposer sur le langage de modélisation orienté objet UML, cela offre des perspectives d'interopérabilité avec les approches orientées objet, mais aussi des facilités de réalisation d'environnement de développement.

L'utilisation d'un modèle de conception de systèmes multi-agents présente un intérêt s'il est possible de programmer les différentes composantes du modèle. A cet effet, il est nécessaire d'étudier les possibilités offertes pour programmer un système multi-agents.

3.1.2.3 L'approche agent pour la programmation de logiciels

Une fois la conception du système multi-agents achevée, il s'agit de procéder à la programmation logicielle des différents éléments du système. Pour cela, différents outils et plates-formes de développement permettent la réalisation concrète de programmes informatiques qualifiés d'agents logiciels intelligents. Trois outils ont été étudiés dans cette thèse : les plates-formes *JADE*[7] [BELLIFEMINE99], *FIPA-OS*[8] et *MADKIT* [GUTKNECHT01].

Les plates-formes *JADE* et *FIPA-OS* reposent sur une action menée par un ensemble d'industriels et d'universitaires dont l'objectif est de permettre, par l'intermédiaire de la norme FIPA[9], la réalisation d'architectures multi-agents « interopérables ».

JADE est une plate-forme logicielle dédiée à la mise en œuvre d'applications reposant sur le concept d'agent en respectant les spécifications de la norme FIPA [BELLIFEMINE99]. Elle fournit les services nécessaires à toute application FIPA, c'est à dire un dispositif de management des services agents (AMS), un annuaire de compétences (DF) et un gestionnaire de communication avec des composants externes (ACC). JADE permet de diviser une plate-forme sur différentes machines, à condition qu'elles ne soient pas séparées par un firewall. L'échange d'information entre agents situés dans le même environnement d'exécution s'effectue directement à l'aide d'un échange d'objet Java, alors que la communication entre agents situés dans des environnements différents (et donc distribués) s'effectue selon les spécifications de la norme FIPA. Une interface graphique permet de gérer le cycle de vie d'un agent, mais aussi de superviser son fonctionnement en visualisant les différents échanges de messages, d'étudier ses comportements en simulant l'envoi de messages ….

FIPA-OS est une architecture permettant de développer des agents respectant les spécifications de la norme FIPA. Elle a été réalisée par les laboratoires de Nortel Networks. La programmation à l'aide de cette plate-forme repose sur la notion de tâche associée à des agents. Une interface graphique permet de contrôler le fonctionnement de ces agents, même si elle est moins ergonomique et fonctionnelle que celle de la plate-forme JADE.

MADKIT est une plate-forme multi-agents permettant de mettre en œuvre des systèmes multi-agents reposant sur le modèle de conception *Agent-Groupe-Rôle* (cf. §3.2.4.2). Les principales caractéristiques de cette architecture sont (cf. Figure 3.4) :

[7] JADE : Java Agent Development Environment
[8] FIPA-OS : FIPA Operating System
[9] FIPA : Foundation for Intelligent Physical Agent

- Un micro-noyau qui offre des fonctionnalités minimales de gestion de l'exécution des agents, c'est à dire les fonctionnalités de gestion des informations concernant les différents groupes et rôles du système, la gestion du cycle de vie des agents, le transfert de l'information entre les différents agents locaux ainsi que des mécanismes d'observation du fonctionnement du système.

- Une implémentation systématique des services et des fonctionnalités autres que celles proposées par le micro-noyau (mobilité, sécurité, …) est accomplie à l'aide d'agents issus du modèle *Agent Groupe Rôle*.

- Un découpage fonctionnel entre le noyau, les agents, et l'application d'accueil à l'aide de mécanismes componentiels, où chaque agent est responsable de son interface d'interaction homme-machine.

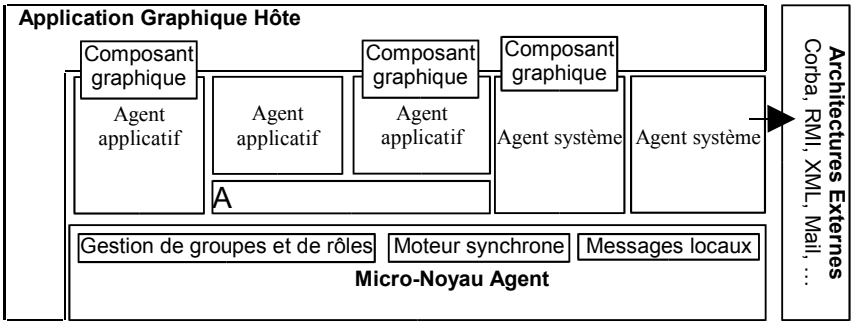


Figure 3.4 Structure générale de Madkit d'après [GUTKNECHT01]. Cette plate-forme repose sur un noyau qui offre les mécanismes de gestion d'agents construits à partir du modèle « Agent-Groupe-Rôle ». L'ensemble des autres fonctionnalités est rempli par un ensemble d'agents spécifiques (applicatif, système ou scheduler).

Les trois dispositifs étudiés correspondent à des domaines d'applications différents. Les plates-formes *JADE* et *FIPA-OS* sont destinées à la programmation de systèmes constitués de différentes entités, les agents, répartis sur un réseau. Par ailleurs, l'étude de l'utilisation de ces deux plates-formes pour mettre en œuvre un système permettant la réalisation d'une application, utilisant des bases de données et des codes de calcul distribués sur le réseau Internet, montre que la programmation à l'aide de la plate-forme *JADE* est plus aisée et conviviale qu'avec la *FIPA-OS* [RIGAUD01]. La plate-forme *MADKIT* propose un environnement convivial de programmation et d'utilisation de systèmes multi-agents interagissant dans le même environnement d'exécution. Elle offre par conséquent un support intéressant pour réaliser un logiciel de simulation orienté agent.

La conception et la programmation de systèmes qualifiés de « complexes » peuvent être abordées à l'aide de plusieurs méthodes et outils reposant sur les concepts des systèmes multi-agents. Une analyse de l'intérêt d'utiliser de telles démarches afin d'entreprendre la réalisation d'un système d'intermédiation et d'un logiciel d'analyse des risques est présentée.

3.1.3 De l'utilisation des systèmes multi-agents pour la mise en œuvre d'un système d'intermédiation électronique et d'un logiciel d'analyse des risques

Les domaines d'application des méthodes et outils de conception et de programmation orientées agents concernent la conception, la modélisation ou bien le contrôle de systèmes décrits à l'aide des concepts de la pensée complexe, le choix des méthodes et des outils dépendant de la finalité du système. L'objectif de cette section est d'étudier

l'intérêt d'utiliser les systèmes multi-agents afin d'aborder la réalisation d'un système d'intermédiation électronique et d'un logiciel d'analyse des risques.

3.1.3.1 De l'utilisation des systèmes multi-agents pour aborder la réalisation d'un système d'intermédiation électronique

La définition d'un système d'intermédiation électronique proposée précédemment (cf. §2.1.4) est la résultante d'une analyse qui a consisté à identifier les émergences et les contraintes dues à la mise en relation de systèmes technologiques et d'individus. Il paraît pertinent d'aborder la conception et la programmation d'un dispositif analysé à l'aide des concepts de la pensée complexe avec des approches technologiques reposant sur les mêmes fondements.

Une analyse dont l'objectif est d'identifier les avantages d'aborder la réalisation d'un système d'intermédiation électronique à l'aide d'une approche agent est proposée. Elle porte tout d'abord sur les besoins en matière de communication entre différents types de systèmes technologiques, puis sur les modèles de représentations et de gestion de l'information décrivant les systèmes technologiques et les utilisateurs du système d'intermédiation. Les résultats autorisent un choix méthodologique et technologique de conception et de programmation du système.

La mise en œuvre des fonctionnalités d'échange d'information entre différents types de systèmes technologiques requiert la réalisation de passerelles technologiques entre eux mais aussi des modèles de représentation de l'information permettant la définition de protocoles d'interactions. Les approches classiques de programmation qui reposent sur les notions d'objets et de composants offrent les mécanismes permettant d'échanger de l'information entre différents dispositifs réparties sur un réseau de communication mais présentent un support de représentation de cette information limité. Les outils du domaine des systèmes multi-agents comme JADE ou FIPA-OS reposent sur ces technologies et proposent des possibilités de représentation et de manipulation de l'information supérieures, avec notamment les concepts et les mécanismes associés à la notion de comportement.

Le fonctionnement du système d'intermédiation électronique repose sur de l'information caractérisant d'une part, les traitements fournis par les systèmes technologiques auquel il est relié, et d'autre part, les utilisateurs du système. Les structures de données et les mécanismes de gestion de ces informations doivent assurer l'ajout et le retrait dynamique d'instance, l'exécution des traitements, la composition de services ou bien la résolution des conflits d'accès. Les approches agents offrent des modèles permettant de représenter des traitements constitués de différentes actions à mener comme le modèle de « réseau hiérarchique de tâches » (HTN) [EROL94], mais aussi des protocoles de gestion d'allocation de tâches qui prennent en compte la dynamique des systèmes [SMITH80].

Les modèles et les outils offerts par les systèmes multi-agents procurent un support conceptuel et technologique supérieur aux approches classiques du génie logiciel. Ainsi, la décision a été prise d'utiliser une approche agent pour aborder la conception et la programmation du système d'intermédiation électronique. La mise en œuvre de cette approche nécessite une démarche « d'agentification », c'est à dire une analyse des fonctionnalités du système d'intermédiation à l'aide d'un modèle d'agent. La programmation du modèle ainsi obtenue a été effectuée à l'aide de la plate-forme JADE.

L'approche agent se révèle donc un support intéressant pour aborder la réalisation d'un système d'intermédiation électronique. Une étude similaire a été menée pour déterminer si elle présente un intérêt équivalent pour la réalisation d'un logiciel d'analyse des risques.

3.1.3.2 De l'utilisation des systèmes multi-agents pour la réalisation d'un logiciel d'analyse des risques

La réalisation d'un logiciel d'analyse des risques requiert une démarche de modélisation et d'analyse des risques. Un modèle est le résultat d'une démarche qui repose entre autre, sur les concepts utilisés pour organiser l'information recueillie sur le dispositif ou le phénomène modélisé (machine outil, chaîne de production, entreprise, territoire, etc.) [LEMOIGNE02]. L'approche de programmation utilisée pour réaliser le logiciel doit permettre de reproduire ces concepts de modélisation dans le but de ne pas perdre d'information entre le modèle et le logiciel et réaliser les traitements associés au modèle.

La solution retenue pour aborder la réalisation de ce logiciel est d'utiliser les concepts de la systémique et de la pensée complexe pour modéliser le dispositif étudié. La réalisation des fonctionnalités de simulation du logiciel d'analyse des risques à l'aide d'une approche agent permet d'utiliser des concepts très proches de ceux utilisés pour la modélisation.

Les fonctionnalités d'analyse des perturbations nécessitent des concepts de représentation de l'informations qui caractérise les perturbations relatives aux composants du système étudié. Mais aussi des traitements qui permettent de simuler le déclenchement d'une perturbation et sa propagation à l'ensemble des autres composants du système dans le but d'identifier les conséquences indirectes de la perturbation. L'utilisation de la notion d'interaction entre agents peut servir de support pour la réalisation de ces mécanismes.

Les mécanismes de supervision impliquent un processus d'acquisition des données caractérisant la dynamique du dispositif étudié et de comparaison de celles-ci avec les valeurs idéales attendues. Les mécanismes orientés agent de simulation du dispositif peuvent être utilisés et des interactions spécifiques peuvent être créées pour effectuer les traitements de comparaison et de détection de la survenue d'un dysfonctionnement.

La réalisation d'un premier dispositif réunissant les fonctionnalités identifiées peut être abordé à l'aide de la plate-forme Madkit qui repose sur le modèle « Agent-Groupe-Rôle ».

La réalisation d'un système d'intermédiation électronique et d'un logiciel d'analyse des risques peut être entreprise et menée à bien à l'aide d'une approche de conception et de programmation orientées agent. La suite de ce chapitre est consacrée à la présentation des démarches de conception des fonctionnalités de ces deux logiciels (3.2 et 3.3) à l'aide d'une approche agent.

3.2 Vers un système d'intermédiation électronique orienté agent

Le dispositif d'intermédiation électronique a pour finalité de mettre en œuvre des processus organisationnels entre des systèmes technologiques et des utilisateurs situés dans des lieux géographiquement différents, dans le but de créer une organisation

virtuelle. L'objectif de cette section est de présenter les résultats d'un processus d'analyse des fonctionnalités d'un système d'intermédiation électronique à l'aide d'une approche agent. Ce processus intitulé « agentification » est tout d'abord défini, puis les résultats de son application aux quatre couches fonctionnelles énoncées dans le chapitre précédent (cf. §2.3.3.1) sont présentés, et enfin une synthèse sous la forme d'un modèle d'agent et une organisation multi-agents est donnée.

3.2.1 « L'agentification » du système d'intermédiation électronique

Le processus « d'agentification » du système d'intermédiation électronique consiste à construire un modèle d'agent et de système multi-agents à partir des besoins fonctionnels du système d'intermédiation électronique. La première étape de cette démarche vise à identifier les concepts du modèle d'agent. Pour cela, une structure comprenant quatre composantes est proposée :

- Le *savoir de l'agent*, correspond à l'information que possède l'agent sur lui-même et son environnement. Deux familles sont distinguées : les connaissances et les croyances. La notion de connaissance désigne les informations dont la valeur est sûre. La notion de croyance qualifie les informations de l'environnement de l'agent et dont la valeur peut avoir été modifiée sans que celui-ci ne soit prévenu.

- Les *traitements de l'agent* concernent les mécanismes coordonnant le comportement de l'agent selon l'information qu'il manipule et les interactions avec les éléments de son environnement.

- L'*interaction avec l'environnement* traite des différents protocoles régissant les échanges d'information et de la coordination des actions entre les agents du système.

- Le *dispositif de communication* qui correspond aux mécanismes permettant à l'agent d'échanger de l'information avec les différentes entités qui composent le système.

La construction des modèles d'agents et de système multi-agents d'intermédiation consiste à identifier le savoir, les traitements, les interactions et les propriétés du dispositif de communication de l'agent, indispensables à la mise en œuvre des fonctionnalités de gestion de la communication, des traitements, de composition de services et des mécanismes de gestion de contraintes.

3.2.2 « Agentification » des fonctionnalités de gestion de la communication

Les fonctionnalités de gestion de la communication doivent assurer l'échange d'informations entre différents types de systèmes d'information géographiquement distribués. Pour arriver à cette fin, un maillage entre les systèmes technologiques est réalisé à l'aide d'un réseau d'agents. Le système multi-agent d'intermédiation est constitué d'agents localisés sur chaque site (exemple : serveur, nœud de réseau, entreprise,etc.). Les systèmes technologiques situés sur le site sont reliés à l'agent qui prend en charge les traitements qu'ils fournissent.

Le dispositif de communication de l'agent doit être constitué de mécanismes permettant l'échange d'information entre les différents agents mais aussi entre l'agent et les différents types de systèmes technologiques. L'agent possède un ensemble de connaissances permettant l'établissement des canaux de communication avec les autres

agents et les systèmes technologiques. Pour les agents, il s'agit d'un identifiant et des coordonnées permettant l'échange d'information (adresse IP, numéro de port, etc.). La communication avec une base de données nécessite de connaître l'adresse IP du serveur de gestion de la base, le nom de la base et son schéma relationnel. La communication avec un serveur HTTP requiert la connaissance de l'adresse HTTP du serveur et des programmes permettant l'échange d'information.

Les mécanismes et les protocoles nécessaires à l'établissement de la communication entre l'agent et son environnement concernent l'ajout et le retrait de l'agent du système ainsi que l'enregistrement ou le retrait d'un système technologique auprès de l'agent.

3.2.3 « Agentification » des fonctionnalités de gestion des traitements des systèmes technologiques

Les fonctionnalités de gestion des traitements correspondent aux mécanismes nécessaires à l'utilisation des traitements des systèmes technologiques à travers le système d'intermédiation électronique. La mise en place de ces mécanismes nécessite un modèle permettant de représenter et d'accéder à ces fonctionnalités.

Dans cette optique, la notion de *Service* est introduite. Un *Service* désigne un traitement (requête SQL, exécution d'un code de calcul, déclenchement d'un moteur d'inférences, etc.) fourni par un système technologique relié à un agent. Il est caractérisé par un identifiant permettant de le différencier des autres services, les variables nécessaires à son fonctionnement, les conditions pour lesquelles il doit être exécuté, ses caractéristiques (précision, temps de calcul, etc.) et les conséquences de son exécution sur l'environnement.

L'agent d'intermédiation est en charge de l'ensemble des *Services* offerts par les systèmes technologiques auxquels il est relié. Il doit informer les autres agents du système sur les services qu'il possède. Il doit permettre les sollicitations des autres agents pour exécuter le service, mais aussi veiller à déclencher automatiquement le service si les conditions devant entraîner son exécution sont réunies. Les informations, les mécanismes et les protocoles de gestion des services doivent permettre la mise en œuvre de ces fonctionnalités.

Les connaissances de l'agent sont l'ensemble des services correspondant aux systèmes technologiques auxquels il est relié et les croyances sont l'ensemble des services disponibles au sein du système.

L'agent possède quatre mécanismes nécessaires à la gestion des *Services* :

- Un mécanisme d'ajout d'un service propre à gérer la saisie de l'information nécessaire à l'utilisation du service mais également déclencher les protocoles correspondants.

- Un mécanisme de retrait d'un service qui doit mettre à jour les connaissances de l'agent et déclencher les protocoles chargés de la mise à jour du système.

- Un mécanisme d'exécution d'un service chargé d'envoyer au système technologique les informations nécessaires, puis de récupérer le résultat de l'exécution.

- Un mécanisme d'exécution automatique d'un service, qui correspond aux fonctionnalités chargées de surveiller l'environnement du système dans le but de déclencher l'exécution du service si la situation l'impose.

Les protocoles de gestion des services doivent permettre d'assurer l'accès au service par l'ensemble des acteurs connectés au système d'intermédiation. Trois protocoles sont requis :

- Un protocole de gestion de la mise à jour des connaissances des agents sur les services du système. Il consiste à informer l'ensemble des agents dès lors qu'un nouveau service est associé à un agent ou bien si un service devient indisponible.

- Un protocole de recherche d'un service particulier. Il s'agit d'un protocole visant à rechercher dans le système un service remplissant un ensemble de conditions.

- Un protocole de gestion de la demande d'exécution d'un service présent dans le système. Il s'agit d'un protocole permettant l'échange d'information nécessaire entre l'agent désirant exécuter un service et l'agent propriétaire du service.

L'ensemble de ces connaissances, mécanismes et protocoles doit permettre d'étendre la visibilité des services offerts par un système technologique à l'ensemble du réseau d'intermédiation. Il s'agit maintenant d'étudier les composantes nécessaires pour permettre la mise en place des mécanismes de composition de services.

3.2.4 « Agentification » des traitements de composition de services

Les mécanismes de composition dynamiques de services doivent autoriser « l'émergence » de nouveaux traitements reposant sur l'exécution de différents services du système. L'agent d'intermédiation doit être en mesure de prendre en charge l'exécution de ces traitements. Pour les représenter et les manipuler, la notion de *Plan* est introduite.

Un *Plan* est constitué d'un identifiant permettant de le différencier des autres plans, d'un réseau de *Tâches* correspondant à l'ensemble des traitements nécessaires à sa réalisation et des conditions devant entraîner son exécution. Une *Tâche* est composée d'un ensemble de paramètres permettant d'identifier un traitement correspondant à ses objectifs, d'un nœud de liaison qui détermine la séquence d'exécution des tâches.

Les connaissances de l'agent sont l'ensemble des plans dont il a la charge et les croyances sont les plans présents dans le système.

L'agent possède cinq mécanismes nécessaires à la gestion des *Plans* :

- Un mécanisme d'ajout d'un plan, qui doit gérer la saisie de l'information nécessaire à l'utilisation du plan mais aussi déclencher les protocoles correspondants.

- Un mécanisme de retrait d'un plan, qui doit mettre à jour les connaissances de l'agent et déclencher les protocoles chargés de la mise à jour du système.

- Un mécanisme d'exécution d'un plan qui est chargé d'associer à chaque tâche du plan un service présent dans le système et d'ordonnancer leur exécution.

- Un mécanisme d'exécution automatique d'un plan, qui correspond aux fonctionnalités chargées de surveiller l'environnement du système dans le but de déclencher l'exécution du plan si la situation le nécessite.

- Un mécanisme de transmission d'un plan à un autre agent dans la mesure ou l'agent n'est pas en mesure de le gérer.

Les protocoles de gestion des plans doivent coordonner les échanges entre les différents agents participant à l'exécution d'un plan :

- Un protocole de gestion de la mise à jour des connaissances des agents sur les plans du système. Il consiste à informer l'ensemble des agents dès lors qu'un plan est associé à un agent ou bien si un plan devient indisponible.

- Un protocole de recherche d'un plan particulier. Il s'agit d'un protocole visant à rechercher dans le système un plan remplissant un ensemble de conditions.

- Un protocole de gestion de la demande d'exécution d'un plan. Il s'agit d'un protocole permettant l'échange d'informations nécessaires entre l'agent désirant exécuter le plan et son propriétaire.

Les fonctionnalités de gestion des services et des plans permettent d'identifier les mécanismes et les protocoles d'un agent d'intermédiation électronique. L'étude des traitements de gestion des contraintes organisationnelles va permettre d'identifier un ensemble de traitements indispensables au fonctionnement global du système d'intermédiation électronique.

3.2.5 « Agentification » des traitements de gestion des contraintes organisationnelles

La gestion des contraintes liées à la mise en œuvre d'un système d'intermédiation électronique correspond aux fonctionnalités, de gestion de l'autorisation d'accès aux services et aux plans, des processus de sauvegarde des résultats de l'exécution des services et des plans en fonction de l'utilisateur et des traitements d'auto-surveillance du fonctionnement du système.

Pour mettre en œuvre ces mécanismes, la démarche retenue consiste à développer ces traitements sous la forme de services gérés par des agents spécifiques. Trois rôles d'agents sont identifiés : l'agent de gestion des autorisations d'accès à une ressource, l'agent de gestion de la sauvegarde des résultats des traitements et l'agent de contrôle du fonctionnement du système. Ces différents rôles peuvent être tenus par un seul ou par plusieurs agents.

L'agent de gestion des autorisations d'accès à une ressource est relié à une base de données permettant de stocker pour chaque traitement (service ou plan) une information permettant de déterminer les conditions liées à leur utilisation, et pour chaque entité susceptible de solliciter une ressource (utilisateur ou agent) une information permettant d'identifier ses droits au sein du système. L'agent offre des services permettant de visualiser et de modifier les informations manipulées mais aussi d'informer un agent souhaitant vérifier si un utilisateur a le droit de solliciter une des fonctionnalités dont il a la charge.

L'agent de gestion de la sauvegarde des résultats assure la persistance des résultats de l'exécution des traitements de l'organisation virtuelle. Il est relié à une base de données dont le contenu correspond aux résultats des traitements du système, hiérarchisés selon l'utilisateur ou du processus ayant demandé son exécution. Il propose des services permettant de récupérer et de sauvegarder les résultats de l'exécution d'un service ou d'un plan selon un utilisateur ou un processus.

L'agent de contrôle du fonctionnement du système vérifie périodiquement la cohérence entre ses croyances sur le système et la réalité. Pour cela il interroge régulièrement les agents du système à propos de leur état. S'il détecte un dysfonctionnement, c'est-à-dire un agent qui ne répond pas ou bien une croyance erronée, il informe l'ensemble des agents du système.

Ce processus « d'agentification » regroupe les éléments indispensables pour identifier les caractéristiques d'un agent et d'une organisation multi-agents pour mettre en œuvre les fonctionnalités d'intermédiation électronique.

3.2.6 Un modèle d'agent et de système multi-agents d'intermédiation

L'analyse des fonctionnalités d'un système d'intermédiation électronique à l'aide du modèle d'agent permet d'identifier les caractéristiques d'un modèle d'agent d'intermédiation électronique.

Les fonctionnalités d'intermédiation sont prises en charge par un réseau d'agents situés sur les différents lieux géographiques sur lesquels sont répartis les systèmes technologiques. Chaque agent est relié à différents types de systèmes (base de données, serveur HTTP, code de calcul, etc.) qui fournissent les services partagés par le système. Par ailleurs, les agents ont la charge d'un ensemble de plans qui correspond à des fonctionnalités dont l'exécution nécessite l'accomplissement de différents services potentiellement présents dans le système.

Pour gérer les services et les plans du système, l'agent possède un ensemble d'informations, de mécanismes et de protocoles. Le tableau suivant (cf. Tableau 3.4) est une synthèse des caractéristiques d'un agent d'intermédiation.

Caractéristiques de l'agent	Contenu
Connaissances	Caractéristiques des systèmes technologiques reliés à l'agent Caractéristiques des services gérés par l'agent Caractéristiques des plans gérés par l'agent
Croyances	Caractéristiques des agents du système multi-agents Caractéristiques des services de chaque agent Caractéristiques des plans de chaque agent Liste des variables de l'environnement
Mécanismes	Enregistrement et retrait de l'agent au sein du système Ajout et retrait d'un système technologique Ajout et retrait d'un service Exécution d'un service Déclenchement automatique de l'exécution d'un service Ajout et retrait d'un plan Exécution d'un plan Déclenchement automatique de l'exécution d'un plan Transmission d'un plan à un autre agent

Protocoles	Mise à jour des connaissances de l'agent Recherche d'un service Demande d'exécution d'un service Recherche d'un plan Demande d'exécution d'un plan

Tableau 3.4 Caractéristiques d'un agent d'intermédiation. L'agent d'intermédiation possède des connaissances, des croyances, des mécanismes internes et des protocoles spécifiques.

Le modèle d'agent proposé offre les composantes pour la satisfaction des traitements de gestion des fonctionnalités d'intermédiation exceptés les mécanismes de gestion des contraintes. En effet, ces mécanismes sont confiés à trois agents spécifiques qui possèdent des services correspondant aux mécanismes de gestion des autorisations d'accès, de sauvegarde des résultats et d'auto-contrôle du fonctionnement des mécanismes d'intermédiation.

La mise en place d'un système d'intermédiation électronique engendre, par conséquent la création d'un agent d'intermédiation et sa mise en relation avec l'ensemble des systèmes technologiques qui doivent être mis en relation. Mais aussi la définition des *Services* correspondant aux fonctionnalités des systèmes technologiques. Ces agents sont ensuite mis en relation entre eux et les agents de gestion des autorisations d'accès, de sauvegarde des résultats et d'auto-contrôle du fonctionnement des mécanismes d'intermédiation (cf. Figure 3.5).

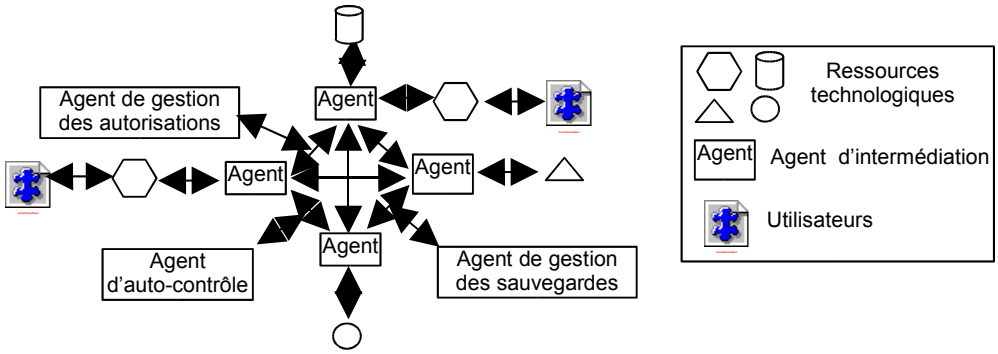


Figure 3.5 Maillage d'agents entre les systèmes technologiques. Les mécanismes d'intermédiation entre les différents dispositifs technologiques sont conçus en reliant chaque dispositif à un agent et en réalisant des processus d'interactions entre ces agents.

La programmation des modèles d'agents et de systèmes multi-agents d'intermédiation est nécessaire à la mise en œuvre d'une organisation virtuelle. Le déploiement d'une organisation virtuelle de gestion des risques implique également de concevoir des traitements d'analyse des risques.

3.3 Vers un outil d'analyse des risques orienté agent

La réalisation des traitements de l'organisation virtuelle de gestion des risques oblige, d'une part, à produire de la connaissance sur les risques relatifs à une entreprise ou un territoire, et d'autre part, à réaliser des mécanismes de surveillance d'un dispositif. L'objectif de cette section est d'aborder la réalisation des fonctionnalités du logiciel d'analyse des risques présenté précédemment (cf. §2.3.3.2) à l'aide d'une approche agents. Elle se compose de deux parties : dans la première partie, la démarche et les

concepts retenues pour réaliser l'outil sont présentés ; dans la seconde, une méthodologie de conception est décrite.

3.3.1 Un modèle d'outil de simulation et d'analyse des risques

L'outil d'analyse des risques étudié doit fournir des mécanismes permettant de reproduire le fonctionnement d'un dispositif technologique (poste de travail, chaîne de production, etc.) et de l'utiliser pour analyser les conséquences directes et indirectes de l'introduction d'une perturbation puis de pouvoir superviser le fonctionnement réel du système et de déclencher une alarme si un dysfonctionnement est détecté. Cet outil s'inscrit dans la problématique traitée dans [TRANVOUEZ01].

La réalisation de tels traitements impose une démarche de modélisation du dispositif étudié (moyen de production, chaîne de production, entreprise, etc.), d'identification des perturbations qui lui sont associées et la conception d'un système informatique prenant en compte l'ensemble de ces informations. La démarche proposée repose sur trois notions : le concept de système pour la modélisation du dispositif (cf. 1.3.1), l'Analyse des Modes de Défaillances ou bien de leurs Effets et de leurs Criticités (AMDEC) (cf. 1.2.3) pour la caractérisation des risques associés et dans un premier temps un modèle de système multi-agents générique et dans un second temps le modèle Agent-Groupe-Rôle (cf. §3.1.3.2) et la plate-forme Madkit (cf. 3.1.3.3) pour la programmation du logiciel.

La démarche de modélisation du dispositif technologique repose sur la notion de système. Ce concept permet de modéliser un phénomène, comme une succession d'entités ou de systèmes, dont le but est de transformer, le ou les flux d'information reçus en entrée, en un ou plusieurs flux de sortie. Un système est, par conséquent, caractérisé par ses flux d'entrées, flux de sorties et un ensemble d'informations caractérisant le processus de transformation qui sont : une fonction de transfert, des variables de flux et des variables d'états. Les différents systèmes sont reliés entre eux par les flux d'information. Ce modèle permet de relier un flux de sortie à un flux d'entrée du même système. Il s'agit du mécanisme de rétroaction (cf. Figure 3.6).

Figure 3.6 Concepts de modélisation adoptés. Le dispositif étudié sera décrit à l'aide d'un ensemble de systèmes caractérisé par un ensemble d'entrées et de sorties reliées par une fonction de transfert et des variables de flux et d'états.

La démarche d'analyse des perturbations relatives au dispositif étudié, repose sur la méthode d'Analyse des Modes de Défaillances ou bien de leurs Effets et de leurs Criticités (AMDEC) qui consiste à identifier, caractériser et hiérarchiser, pour chaque élément d'un système, les différents modes de défaillances, leurs causes potentielles, leurs conséquences et leur gravité (cf. Tableau 3.5).

Composant ou sous-ensemble	Fonction	Mode	DEFAILLANCE			Détection	Compensations existantes	Observations
Groupe Electrogène	Alimentation du site de la société en cas de panne du réseau EDF	ou arrêt intempestif	- Démarreur hors service - Armoire hors service - Groupe hors service		de perte du réseau EDF.	Alarmes locales et centralisées	Informatique sur onduleurs (autonomie 10mn)	Opérations de maintenance et d'entretien régulières prévues.

Tableau 3.5 Exemple de tableau AMDEC. La démarche d'identification des défaillances du dispositif consiste à remplir un tableau AMDEC pour chaque système identifié lors de la phase de modélisation. Un exemple tiré de [ISDFCETIM97] relatif à un groupe électrogène illustre l'utilisation de ce type de tableau.

La démarche de programmation du logiciel d'analyse des risques repose sur un modèle de système multi-agents reposant sur les notions d'agents, d'organisation, d'interactions et d'émergence, une spécialisation du modèle sera effectué à l'aide de la méthode de conception orientée agent *Agent-Groupe-Rôle* et sur la plate-forme associée Madkit. Celle-ci permet de concevoir aisément un système multi-agents et les interfaces graphiques permettant de contrôler son fonctionnement. L'objectif de l'approche de programmation consiste à développer un agent et son interface d'interaction en fonction des informations réunies lors des phases de modélisation et d'analyse des risques.

Cette approche oblige par conséquent à la définition d'un ensemble de règles permettant d'identifier les caractéristiques des différents agents selon des systèmes identifiés et des résultats de l'analyse AMDEC qui leur est associée.

3.3.2 Proposition d'une méthode d'identification des caractéristiques d'un agent en fonction d'une analyse systémique et d'une AMDEC

La réalisation du logiciel d'analyse des risques d'un dispositif technologique conduit à la définition d'une démarche permettant d'identifier un système multi-agents à partir d'un modèle réalisé avec la notion de système et des résultats de l'application de la méthode AMDEC sur chacun des systèmes identifiés.

La démarche d'identification des caractéristiques du système multi-agents se décompose en deux processus « d'agentification ». Le premier consiste à identifier les composantes du système multi-agent à partir des caractéristiques des systèmes identifiés lors de la phase de modélisation. Le second correspond à la démarche de caractérisation des composantes du système multi-agents à partir des informations contenues concrètement dans un tableau AMDEC (cf. figure 3.7.).

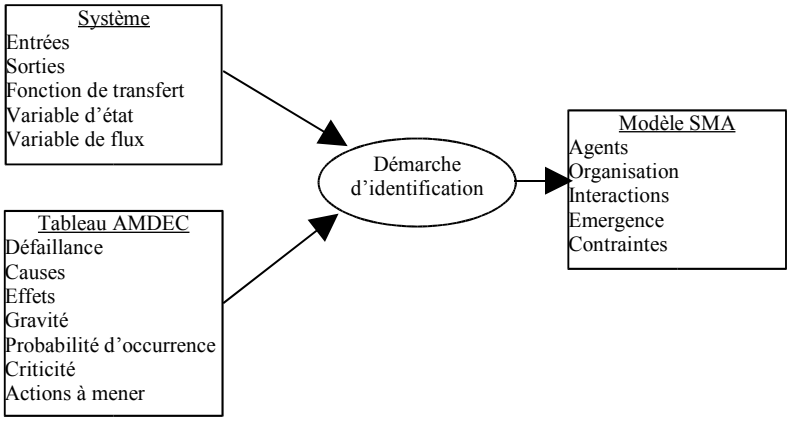


Figure 3.7 Objectifs de la fonction de transfert. La fonction de transfert doit permettre d'identifier les caractéristiques d'un modèle d'agent à partir des informations caractérisant un système, et les informations relatives aux défaillances associées décrites à l'aide d'un tableau AMDEC.

3.3.2.1 Du modèle systémique au système multi-agents

Le processus « d'agentification » d'un modèle systémique vers un modèle de système multi-agents, s'appuie sur un ensemble de règles de correspondance entre les différents concepts.

Le modèle de systèmes multi-agents est composé des notions d'agent, d'organisation, d'interaction, d'émergence et de contrainte. L'agent correspond à l'entité de base du

modèle, l'organisation désigne la résultante de la mise en relation entre les agents, les interactions correspondent aux échanges d'information entre les agents et les notions d'émergences et de contraintes sont les conséquences de la mise en œuvre d'interactions entre les agents. La démarche d'association repose sur un ensemble d'hypothèses. Tout d'abord un modèle systémique est constitué d'un ensemble de système en relations, il semble naturel d'associé un modèle à une organisation et un système à un agent. Par conséquent la finalité d'un agent est de reproduire le comportement du système associé. Les relations d'échange d'information entre les systèmes sont associées aux interactions entre agents. Par ailleurs les interactions entre les agents et les utilisateurs, par l'intermédiaire d'une interface graphique, vont permettre de visualiser les variables caractérisant un système mais également d'influer sur les variables globales et de flux.

De cette analyse, six règles dont la finalité est de transformer un modèle réalisé à l'aide du concepts de système en un modèle d'agent sont identifiées.

Règle un : un modèle = une organisation

Règle deux : un système = un agent

Règle trois : une fonction de transfert = un comportement d'un agent

Règle quatre : un flux d'information (sortie d'un système, entrée d'un système, variable de flux) = une interaction (émetteur, récepteur, contenu, protocole)

Règle cinq : une variable de flux = un composant graphique de visualisation

Règle six : une variable d'état = un composant graphique de visualisation et de modification

Ces différentes règles autorisent la construction d'un système multi-agents offrant la possibilité de visualiser le fonctionnement dynamique d'un modèle systémique. Cette démarche permet de satisfaire aux besoins en matière de simulation d'un dispositif technologique. La réalisation des mécanismes d'analyse des conséquences d'une perturbation et de supervision requiert de prendre en compte les informations déduites de l'application de l'AMDEC sur les systèmes du modèle de sorte d'associer à chaque agent les connaissances relatives aux défaillances du système qu'il représente.

3.3.2.2 Des résultats d'une AMDEC au système multi-agents

Les fonctionnalités de détection des défaillances du système nécessitent que chaque agent soit apte à identifier les situations correspondantes à un dysfonctionnement du système auquel il correspond. Pour cela, un agent doit posséder une liste contenant l'ensemble des défaillances correspondant au système qu'il représente. Il doit aussi être capable de comparer les valeurs et l'évolution des variables d'état et de flux de l'agent avec les causes et les conséquences des dysfonctionnements de manière à les détecter et à en informer les utilisateurs à l'aide d'une interface détaillant les caractéristiques de la défaillance.

Les mécanismes de prédiction des conséquences directes et indirectes requièrent des fonctionnalités permettant à l'utilisateur du système d'introduire un dysfonctionnement, afin d'analyser les conséquences sur la globalité du système. Dans cet objectif, un

nouvel agent chargé des perturbations est introduit. Son rôle est d'envoyer à chaque agent un message contenant la description de son nouvel état. Pour contrôler cet agent, une interface graphique, permettant d'accéder et de sélectionner l'ensemble des dysfonctionnements associés à chaque agent du système, est requise.

A partir de ces deux analyses, un ensemble de règles et de caractéristiques a été identifié. La transposition de ces règles à l'aide du formalisme Agent-Groupe-Rôle permet d'aborder la mise en œuvre concrète d'applications reposant sur la plate-forme MADKIT à partir d'un modèle systémique et des résultats d'une analyse AMDEC. Cette méthode sera ultérieurement appliquée (cf. 5.2.4) pour concevoir un outil d'analyse d'un système de contrôle de pièces mécaniques.

3.4 Conclusion du chapitre 3

L'objectif de ce chapitre était de présenter les choix méthodologiques et technologiques pour concevoir et programmer un système d'intermédiation électronique d'une part, et un logiciel d'analyse des risques d'autre part. En effet, les modèles et les technologies issus du domaine des systèmes multi-agents offrent un support permettant de concevoir et de programmer de manière pertinente les deux dispositifs étudiés.

La première partie a été consacrée à la présentation d'un état de l'art des travaux menés autour des concepts d'agents logiciels et de systèmes multi-agents. La notion de conception et de programmation orientées agents a été étudiée en présentant notamment les outils de conception et de programmation pouvant être retenus pour aborder la réalisation de logiciels.

La deuxième partie a été consacrée à l'analyse de la réalisation d'un système d'intermédiation à l'aide d'une approche orientée agent. L'étude des différentes couches fonctionnelles a eu pour résultat la construction d'un modèle d'agent dont les connaissances et le savoir-faire fournissent les mécanismes d'intermédiation.

La troisième partie a consisté à présenter un modèle d'outils d'analyse de risques reposant sur la notion de système comme concept de modélisation, sur la méthode AMDEC comme méthode d'analyse de risque et sur la plate-forme Madkit comme support logiciel. Une méthode de conception et des règles de construction des agents du système ont été proposées.

Ce chapitre clôt la première partie de notre thèse. Celle-ci a consisté à déduire les propriétés d'un dispositif de sensibilisation, de prévention et de gestion des risques professionnels à destination des PME-PMI, selon une analyse des composantes organisationnelles, juridiques, institutionnelles et méthodologiques de la gestion des risques professionnels. Puis, il s'est agit d'aborder ces fonctionnalités à l'aide du concept d'organisation virtuelle, celui-ci offrant des solutions organisationnelles reposant sur les technologies de l'information et de la communication. Enfin, la réalisation concrète d'un dispositif d'intermédiation électronique, composant central d'une organisation virtuelle, et d'un logiciel d'analyse des risques a été présentée. Elle

repose sur des approches de conception et de programmation issues du domaine des Systèmes Multi-Agent.

La seconde partie de cette thèse va être consacrée à la présentation de la programmation du modèle d'agent d'intermédiation à l'aide de la plate-forme agents JADE et à la présentation d'un prototype d'organisation virtuelle de gestion des risques dédié aux PME-PMI.

Deuxième Partie

Des modèles aux systèmes :
Opérationalisation d'un agent logiciel d'intermédiation et d'un prototype d'une organisation virtuelle de gestion des risques dédiée aux PME-PMI

Chapitre 4
Un modèle d'agent d'intermédiation électronique

> *« On a toujours cherché des explications quand c'était des représentations qu'il fallait s'efforcer d'établir, des modèles sur lesquels on puisse travailler, comme on travaille sur une carte, ou l'ingénieur sur une épure, et qui puisse servir à faire »*
>
> *Paul Valéry, 1942, « Cahiers », 1, p 854*

L'objectif de la seconde partie de la thèse consiste à présenter les éléments réalisés pour concevoir un prototype d'organisation virtuelle à base d'agents dédiée à la prévention des risques dans les PME-PMI. Le préalable à la réalisation de ce système est de concevoir un modèle d'agent dont la finalité est de fournir les traitements d'intermédiation nécessaires à la mise en œuvre d'une organisation virtuelle.

L'analyse des fonctionnalités d'intermédiation électronique à l'aide d'une approche orientée agent a permis l'identification des caractéristiques d'un agent d'intermédiation électronique (cf. 3.2). Il s'agit ensuite de procéder à la programmation de cet agent. A cet effet, il a été décidé d'utiliser comme support de développement la plate-forme multi-agents JADE. Celle-ci a été développée selon la norme FIPA et permet la réalisation de systèmes multi-agents où les agents peuvent être répartis sur des machines différentes.

Ce chapitre a pour objet de présenter l'architecture informatique d'un agent d'intermédiation électronique reposant sur la plate-forme JADE. En ce sens la décomposition fonctionnelle identifiée précédemment est reprise (cf. §2.3.3.1 et §3.2). Dans un premier temps, les mécanismes de traitement de la communication entre l'agent et son environnement (agents et systèmes technologiques) sont présentés, dans un deuxième temps, les traitements de gestion des services et les fonctionnalités de gestion des plans sont étudiés, enfin le fonctionnement des agents de gestion des contraintes est décrit.

4.1 La communication entre l'agent et son environnement

Un agent d'intermédiation électronique doit être en mesure d'échanger de l'information avec les autres agents du système mais aussi avec différents types de systèmes technologiques comme des bases de données, des serveurs HTTP ou bien des codes de calculs qui constituent les dispositifs logiciels de gestion des risques qui vont servir à la construction de l'organisation virtuelle.

La plate-forme JADE propose des traitements de mise en œuvre de mécanismes d'interaction entre agents. La démarche suivie consiste à étendre ces fonctionnalités pour assurer des traitements analogues avec différents types de systèmes technologiques. Dans cet objectif, les formats de données correspondant aux différents types de systèmes technologiques (langage SQL pour les bases de données, formulaire HTML pour le serveur HTTP, fichiers textes pour les codes de calculs, …) sont pris en

considération pour réaliser des mécanismes d'échanges d'information indépendants de la nature des systèmes technologiques.

Dans cette section sont décrits les mécanismes développés autour de la plate-forme JADE pour assurer la communication entre agents mais aussi entre un agent et trois types de systèmes technologiques : une base de données, un serveur HTTP et un code informatique de calcul. Les mécanismes de communication de JADE sont d'abord présentés, puis les traitements conçus pour permettre la communication entre l'agent et les différents types de systèmes technologiques sont développés. Enfin, les structures de données et les comportements correspondant aux mécanismes de gestion de l'environnement de l'agent sont discutés.

4.1 Le fonctionnement d'un agent JADE

La plate-forme JADE [BELLIFEMINE99][JADE03] offre les mécanismes permettant la gestion de l'échange d'information entre plusieurs agents composant un système multi-agents et le déclenchement de traitements lors de la réception d'un message. Par la suite, le fonctionnement d'un agent JADE sera décrit et plus particulièrement les fonctionnalités d'échanges de messages et d'implémentation des comportements constituant le savoir-faire de l'agent.

Les mécanismes de gestion d'agents JADE sont essentiellement fournis par la classe de base *Agent*. Celle-ci est constituée de mécanismes généraux nécessaires au fonctionnement d'un agent indépendamment des comportements qui lui sont associés. Il s'agit des fonctionnalités de gestion du cycle de vie de l'agent et des traitements d'émission et de réception de messages.

Le cycle de vie d'un agent est composé, selon la norme FIPA de cinq états (Active, Waiting, Transit, Initiated et Suspended). La classe Agent fournit les méthodes permettant d'accéder à l'état de l'agent (*getState()*) ainsi que les méthodes permettant de passer d'un état à un autre (*doWait(), doSuspend(), doActivate()*…). Un agent sera autorisé à accomplir des traitements seulement s'il est actif.

La création d'un agent au sein de la plate-forme JADE induit son enregistrement au sein du gestionnaire d'agent (AMS) avec un identifiant unique qui lui est alloué. Par ailleurs, son état est positionné à la valeur correspondant à un état Actif et la méthode *Setup()* est automatiquement exécutée. Ainsi, la surcharge de celle-ci permet de définir les traitements devant être exécutés au démarrage de l'agent.

La classe *Agent* offre également des fonctionnalités permettant à l'agent d'émettre et de recevoir des messages au format spécifié par la FIPA. Ainsi la méthode *send()* permet d'envoyer un message et les méthodes *receive()* et *blokingReceive()* gèrent la récupération des messages au sein de la file d'attente de message associée à l'agent ; la méthode *blokingReceive()* permet de bloquer le fonctionnement de l'agent jusqu'à ce qu'il reçoive un message.

La gestion des messages échangés entre les agents repose sur la classe ACLMessage, celle-ci propose les paramètres définis par la norme FIPA (performative, sender, receiver, reply-to, content, language, encoding, ontology, protocol, conversation_id, reply-with, in-reply-to et reply-by) ; les valeurs de ces paramètres étant accessibles par des méthodes au format *get/set<nom de l'attribut>()*. Un ensemble de constantes permet de fixer, à la création du message, l'ensemble des attributs correspondant à une

performative FIPA (Request, Inform, …). Enfin, la méthode *createReply()* génère automatiquement le patron du corps du message à envoyer en guise de réponse.

La définition des traitements devant être accomplis par un agent JADE est possible grâce au concept de comportement. JADE offre, pour modéliser le comportement de l'agent, une hiérarchie de classes reposant sur la classe *Behaviour (cf. Figure 4.1)*. Les opérations devant être exécutées par le comportement sont réalisées par la surcharge de la méthode *action()*.

La classe *Agent* contient des méthodes permettant d'associer et de retirer un comportement à un agent (*addBehaviour(Behaviour)* et *removeBehaviour(Behaviour)*). Un mécanisme de la classe *Agent* parcourt continuellement la liste des comportements des agents et les déclenche en effectuant un appel à leur méthode *action()*. La méthode *done()* de la classe *Behaviour* indique si l'ensemble des traitements associés au comportement ont été exécutés.

JADE possède différents types de comportements qui se distinguent essentiellement par l'implémentation de leur méthode *done()*. En effet, la classe *OneShotBehaviour* correspond à des traitements devant être exécutés une seule fois, donc la méthode *done ()* renvoie systématiquement *true*, la classe *CyclicBehaviour* permet de représenter des comportements devant être exécutés en boucle, dans cette classe la méthode *done()* renvoie systématiquement *false*. La classe *CompositeBehaviour* permet de réaliser des comportements constitués de différentes instances de comportement. Il peut s'agir de l'exécution séquentielle de différents comportements, avec la classe *SequentialBeahviour* ou bien une exécution en simultanée avec la classe *ParallelBehaviour*. De plus, la classe *FSMBehaviour* permet de représenter des comportements relevant d'un automate à états finis. Le déclenchement d'un comportement peut être conditionné par la réception d'un message, par la fin d'un délai d'attente ou bien par l'appel à la méthode *restart()*. Les méthodes *onStart()* et *onEnd()* permettent de définir un ensemble de traitements devant être conduit avant et après l'exécution d'un traitement.

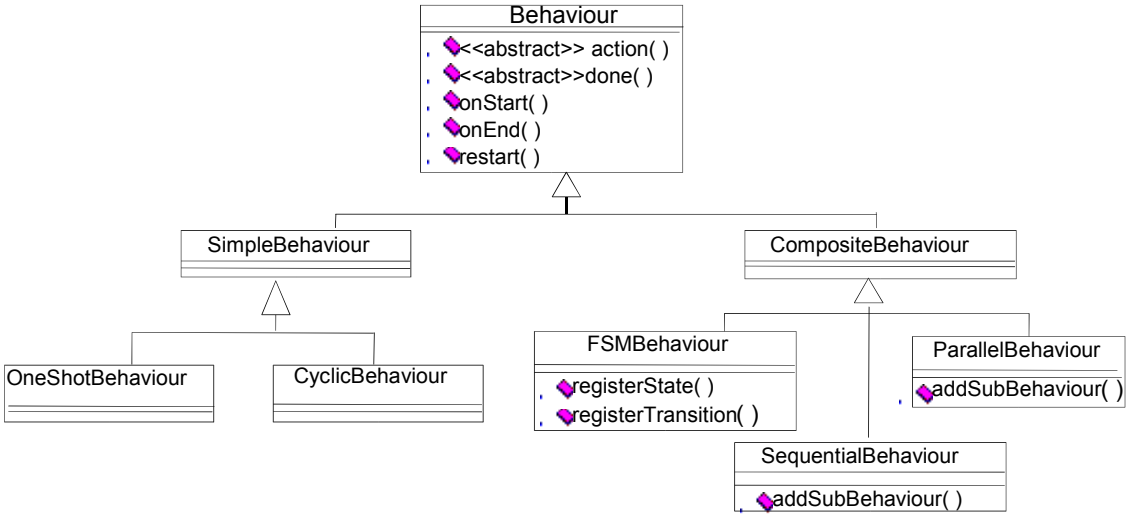


Figure 4.1 Hiérarchie de classes de définition du comportement d'un agent JADE d'après [JADE03]. Ce schéma présente la hiérarchie des classes utilisées pour réaliser un agent à l'aide de la plate-forme JADE.

Le processus de conception d'un système multi-agents à l'aide de la plate-forme JADE consiste donc à identifier et à programmer pour chaque traitements de l'agent, les structures de données nécessaires, les comportements correspondants et les messages échangés entre les agents. Par conséquent, les mécanismes de communication entre un agent JADE et les trois types de systèmes technologiques (base de données, serveur HTTP et code de calcul) seront étudiés en identifiant les éléments nécessaires à leur mise en œuvre.

4.2 La communication entre l'agent et les systèmes technologiques

Les fonctionnalités de communication de l'agent d'intermédiation doivent permettre l'établissement d'interactions entre l'agent et les systèmes technologiques dont il doit gérer les services. A cet effet, une architecture est présentée, elle contient un dispositif d'échange d'information générique, indépendant de la nature de l'information et des dispositifs technologiques. Un ensemble d'entités chargé de gérer les mécanismes de communication spécifiques aux différents types de systèmes technologiques est ainsi associé.

4.1.1.1 Le dispositif général d'échange d'information

Le dispositif général d'échange d'information vise à gérer les différents mécanismes pour l'émission et la réception de messages entre un agent et un ensemble de dispositifs technologiques et ceux indépendamment de la nature du dispositif. Son fonctionnement repose principalement sur deux entités : la classe *AgentCommunicationCenter* (ACC) et la classe *FournisseurDeService.*

La classe *AgentCommunicationCenter* (ACC) a pour rôle de servir d'interface entre les comportements de l'agent et les systèmes technologiques, la liaison est assurée par autant d'instance de *FournisseurDeService* que de systèmes. Le fonctionnement de l'ACC repose sur un ensemble d'attributs : la liste des *FournisseurDeServices* qui correspond à l'ensemble des systèmes technologiques reliés à l'agent et la liste des *ObservateursDACC* qui est l'ensemble des objets dont le comportement dépend des événements survenant au sein de l'ACC. L'envoi de messages vers un dispositif technologique s'effectue par l'intermédiaire de la méthode *newMessage(Message)* et l'ACC hérite de l'interface *ObservateurDeFournisseur* en surchargeant la méthode *newMessageFromFournisseur(Message)* pour pouvoir être informé de l'émission d'un message d'un des dispositifs technologiques à l'agent.

La classe *FournisseurDeService* est une classe abstraite permettant de définir les mécanismes de transmission de message entre l'ACC et un dispositif technologique. Pour chaque type de dispositif, une spécialisation de la classe *FournisseurDeService* devra être effectuée. La classe abstraite possède une liste d'*ObservateurDeProvideurs* et une liste de messages supportés par le dispositif technologique. La méthode *newMessage(Message)* permet de déclencher le processus d'envoi de message au système technologique. La méthode *newMessageFromFournisseur(Message)* déclenche le mécanisme Observer/Observable et tous les observateurs enregistrés sont informés de l'arrivée d'un message depuis un système technologique. La méthode *analyseMessage (Message)* est une méthode abstraite qui devra être implémentée par les classes filles dont le rôle consiste à transmettre le message au dispositif technologique.

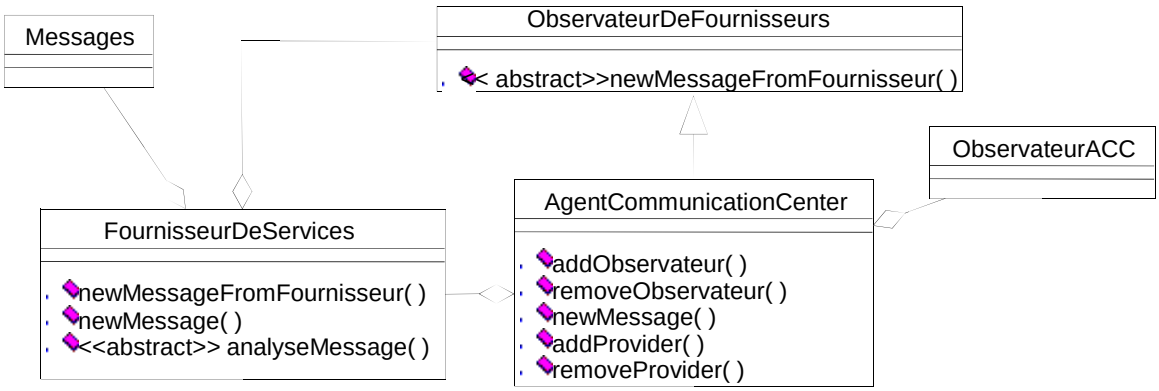


Figure 4.2 Diagramme de classe du dispositif d'échange de messages entre l'agent et les systèmes technologiques. Cette hiérarchie de classe fournit les mécanismes généraux de gestion de la communication entre un agent JADE et un dispositif technologique.

Le fonctionnement dynamique du dispositif d'échange de messages fonctionne selon le principe suivant :

- Lorsqu'un comportement de l'agent requiert l'émission d'un message vers un système technologique, la méthode *newMessage(Message)* de l'ACC est invoquée avec le message à transmettre en paramètre. Celle-ci parcourt l'ensemble des *FournisseursDeServices* enregistrés auprès de l'ACC et déclenche la méthode *newMessageFromACC(Message)*. Celle-ci va comparer le message transmis en paramètre avec la liste des messages gérés par le *FournisseurDeService* et s'il y a similitude va déclencher la méthode *analyseMessage(Message)* pour que le message soit traité et transmis au dispositif technologique (cf. Figure 4.3).

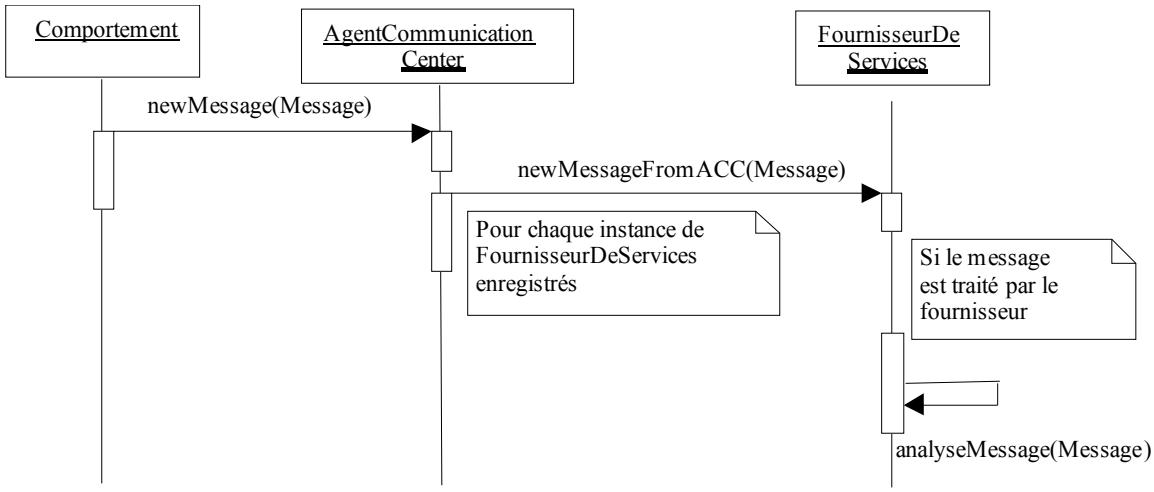


Figure 4.3 Scénario de transmission de message de l'agent vers un dispositif technologique. Ce scénario illustre les échanges de messages induit lors de la transmission d'un message de l'agent vers un dispositif technologique à l'aide du pattern de constructeur virtuel.

- Lorsqu'un message est généré par le dispositif technologique pour être transmis à l'agent, la méthode *newMessageFromFournisseur(Message)* de la classe *FournisseurDeServices* est déclenchée. Celle-ci va parcourir l'ensemble des *ObservateurDeFournisseurs* en déclenchant la méthode *newMessageFromFournisseur(Message)* et notamment l'ACC qui va aussitôt répercuter ce message en déclenchant la méthode *newMessageFromACC(Message)* de l'ensemble des *observateursdACC* enregistrés et notamment les structures de données de gestion des comportements de l'agent (cf. Figure 4.4).

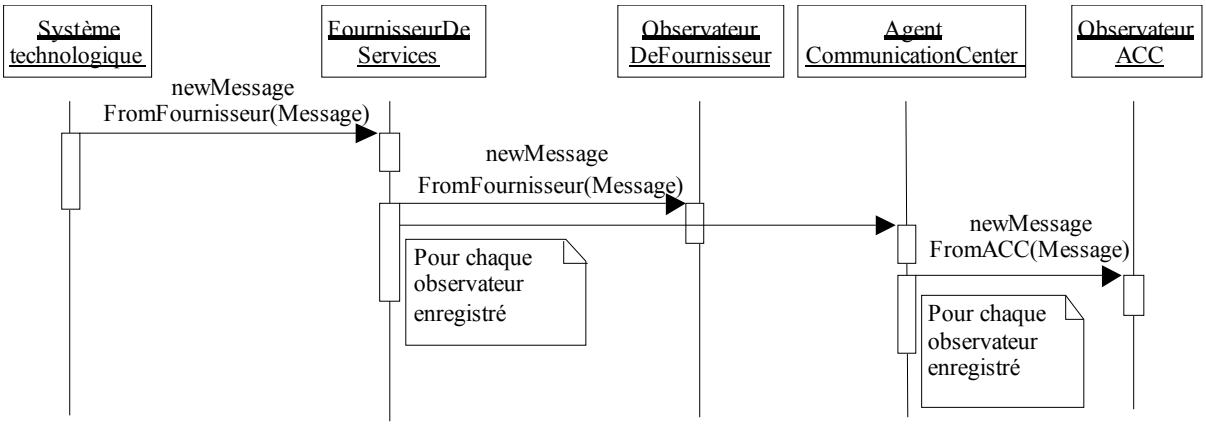


Figure 4.4 Scénario de transmission de message d'un dispositif technologique vers un agent. Ce scénario illustre les échanges de messages entre les différents objets impliqués dans le processus de transmission d'information entre un dispositif technologique et un agent JADE.

Le dispositif général d'échange d'information présenté offre des mécanismes généraux de communication permettant de gérer de manière identique la communication entre l'agent et les différents types de systèmes technologiques étudiés. A présent, les dispositifs spécifiques nécessaires à l'établissement de canaux de communication entre l'agent et une base de données, un serveur HTTP et un code de calcul sont décrits.

4.1.1.2 La communication entre l'agent d'intermédiation et une base de données

La communication entre un agent et une base de données s'établit à l'aide de la classe *DatabaseServiceProvider* qui est une spécialisation de la classe abstraite *FournisseurDeServices*. Elle permet de gérer les messages contenant des requêtes au format SQL. La liaison avec la base de données s'effectue à l'aide de l'interface JDBC (Java DataBase Connectivity) offerte par le langage Java (cf. Figure 4.5).

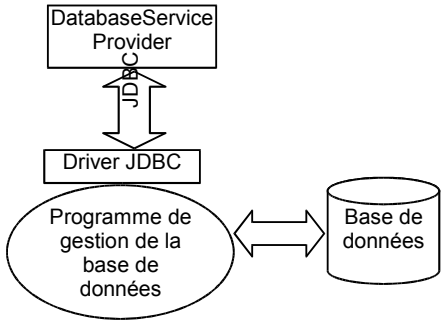


Figure 4.5 Communication Agent – Base de données. Ce schéma illustre les composantes de l'architecture de communication entre un agent d'intermédiation et une base de donnée.

Les messages gérés par ce dispositif sont des messages porteurs de requêtes ou des messages de modification des bases de données. Les informations concernant les paramètres pour l'établissement de la connexion avec la base sont contenus dans le message. En retour, le dispositif génère une réponse contenant, soit les informations concernant la réponse à la requête, soit une valeur indiquant si la mise à jour de la base s'est correctement passée.

4.1.1.3 La communication entre l'agent d'intermédiation et un serveur HTTP

Les processus de communication entre l'agent et un serveur HTTP sont gérés par la classe *WebIHMServiceProvider*, les fonctionnalités offertes par cette classe sont

décomposées en deux parties : la transmission de l'information de l'agent vers le serveur HTTP et du serveur HTTP vers l'agent.

La transmission de l'agent vers le serveur HTTP consiste à transmettre un document consultable par l'intermédiaire d'un navigateur Internet, et de provoquer son affichage sur le navigateur du ou des destinataires du message. Pour cela la technologie des *Pushlets* est utilisée [BROECKE02]. Celle-ci vise à permettre l'envoi d'information depuis un serveur HTTP vers un navigateur Internet. Ce mécanisme repose sur les technologies *Java Servlets* et *javascript* et permet d'établir un canal de communication entre un serveur d'information et un ensemble de clients. Les informations sont envoyées depuis la *servlet* vers une *frame* dédiée à la communication sur le navigateur internet, celle-ci mettant à jour les différentes *frames* constituant l'application web (cf. Figure 4.6).

Figure 4.6 Principe de fonctionnement des pushelts. Cette technologie permet la transmission d'information entre un serveur HTTP et une application reposant sur les technologies de l'Internet.

Ainsi, lorsqu'un message doit être transmis de l'agent vers une ou plusieurs applications Internet, un document au format HTML est généré et un message est transmis à la *servlets « serveur d'information »* pour afficher ce document sur les navigateurs destinataires du message.

La transmission d'information d'un serveur HTTP vers un agent s'effectue par l'intermédiaire d'une *servlet* qui récupère les informations saisies depuis l'interface web puis les transmet à un serveur d'information géré par la classe *WebIHMServiceProvider* qui génère le message correspondant aux informations reçues (cf. Figure 4.7).

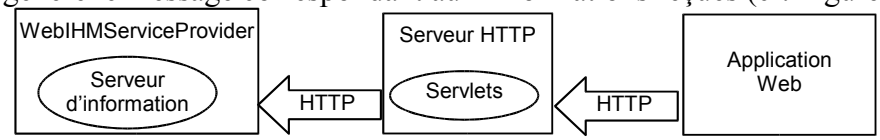


Figure 4.7 Communication du Serveur HTTP vers un agent. Ce schéma illustre l'architecture permettant l'échange d'information entre une application reposant sur les technologies de l'Internet et un agent d'intermédiation.

4.1.1.4 La communication entre l'agent d'intermédiation et un code de calcul

L'échange d'information entre l'agent et un code de calcul s'effectue par l'intermédiaire de la classe *CalculServiceProvider*. Celle-ci exécute le code de calcul en transmettant les paramètres d'entrées du code soit directement en paramètres lors de l'exécution ou bien par l'intermédiaire d'un fichier. A l'issue de l'exécution du code de calcul, les résultats sont récupérés dans le fichier généré lors du traitement (cf. Figure 4.8).

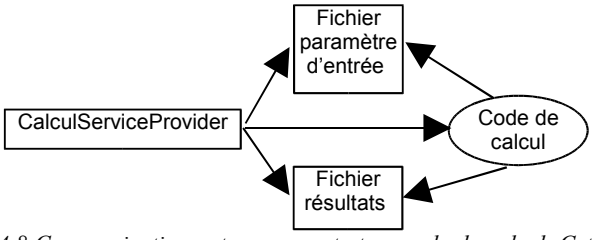


Figure 4.8 Communication entre un agent et un code de calcul. Cette figure présente l'architecture de communication entre un agent d'intermédiation et un code de calcul.

4.1.2 Utilisation de la plate-forme de communication

La réalisation des mécanismes de communication entre l'agent et son environnement (agents, base de données, serveur HTTP, code de calculs, …) est le préalable au développement des mécanismes du système d'intermédiation (gestion des services, gestion des plans, gestion des contraintes).

L'architecture proposée offre le support technologique pour assurer l'établissement de ces mécanismes. Les fonctionnalités de la plate-forme JADE autorisent l'échange de messages entre agents et la programmation de protocoles à l'aide des différents types de comportements. Pour assurer l'échange d'information entre l'agent et les systèmes technologiques, un dispositif de communication propose des traitements génériques d'envoi et de réception de messages. Des modules de communications spécifiques aux systèmes technologiques viennent se greffer à ce dispositif pour permettre l'établissement des mécanismes d'échanges de messages (cf. Figure 4.9) [RIGAUD02].

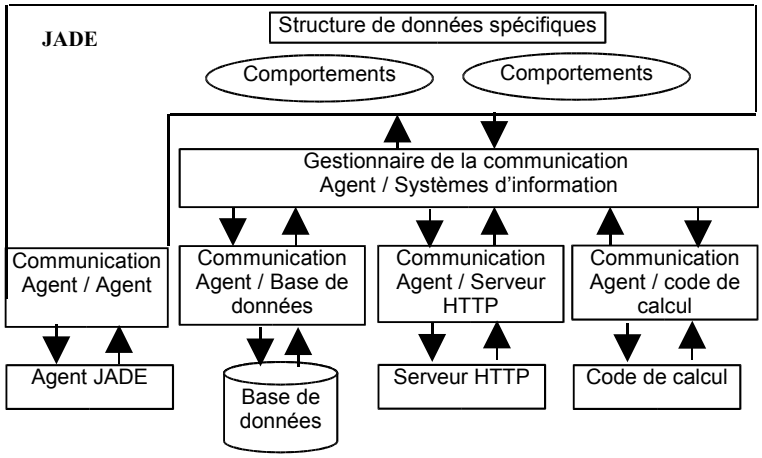


Figure 4.9 Architecture générale du dispositif de communication. Elle est constituée d'un agent JADE et d'un gestionnaire de communication permettant l'échange d'information entre les traitements de l'agent et une base de donnée, un serveur HTTP ou bien un code de calcul.

La gestion de la communication de l'agent avec son environnement nécessite, par ailleurs, la définition de structures de données et de comportements permettant de gérer les informations possédées par l'agent sur son environnement.

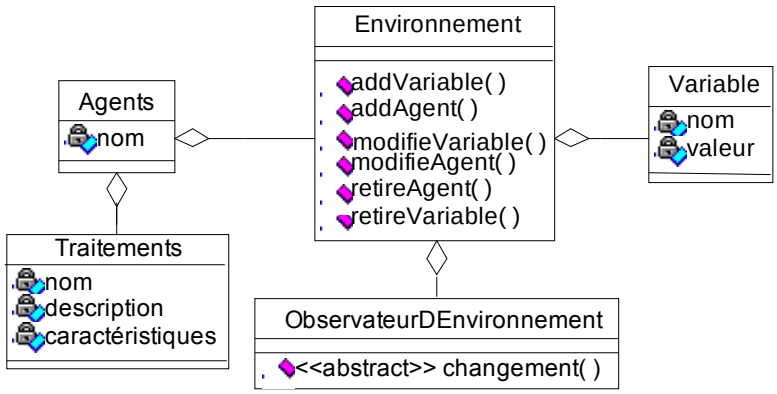
4.1.3 La gestion de l'environnement de l'agent

L'information possédée par l'agent sur son environnement concerne les autres agents du système mais aussi un ensemble de variables communes aux différents agents sur lesquelles reposent les mécanismes de déclenchement automatique des fonctionnalités de l'agent. La gestion de cet ensemble de données nécessite des mécanismes de gestion de l'ajout et de retrait d'un agent au sein du système, mais aussi le maintien de la cohérence des variables d'environnement au sein du système. Par la suite, les structures de données, les protocoles d'interactions, les messages et les comportements JADE correspondant à ces mécanismes seront présentés.

4.1.3.1 Les structures de données de représentation de l'environnement de l'agent

La structure de donnée associée aux mécanismes de gestion de l'environnement peut être décomposée en deux parties. Les classes de représentation de l'information constituent l'environnement de l'agent et les classes fournissent les mécanismes de manipulation et les interfaces avec les comportements de l'agent JADE.

Les informations caractérisant l'environnement de l'agent sont modélisées par une structure de données centrée autour de la classe *Environnement*. Celle-ci contient des attributs et des méthodes permettant de représenter, d'accéder et de modifier les valeurs des informations concernant les variables communes à l'ensemble du système et sur les différents agents qui le compose. Un mécanisme reposant sur le pattern



Observer/Observable présente une interface permettant de déclencher des actions lors de la modification d'une des données (cf. Figure 4.10).

Figure 4.10 La structure de données de définition de l'environnement de l'agent. Cette hiérarchie de classe permet de représenter l'information concernant le contexte d'exécution de l'agent et les compétences des autre agents du système.

Les fonctionnalités utilisées par les différents comportements des agents sont gérées par la classe *GestionnaireDEnvironnement*. Celle-ci est reliée à la structure de données caractérisant l'environnement de l'agent et possède des méthodes correspondant aux différentes actions utilisées par les protocoles de gestion de l'environnement (Figure 4.11).

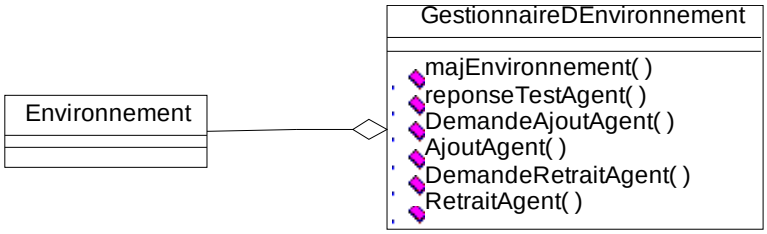


Figure 4.11 La structure de données gestionnaire d'environnement. Cette classe fournit les méthodes qui permettent l'interaction entre un comportement JADE et les informations qui caractérisent l'environnement de l'agent d'intermédiation.

Ces structures de données permettent de représenter les informations caractérisant l'environnement de l'agent. Il s'agit désormais de définir les protocoles régissant l'utilisation de ces structures de données.

4.1.3.2 Les protocoles de gestion de l'environnement de l'agent

La gestion de l'environnement de l'agent implique la définition de protocoles d'ajout et du retrait d'un agent au sein du système et de la modification d'une variable par l'un des agents.

Le protocole d'ajout d'un agent est déclenché lorsqu'un nouvel agent est rajouté au système. Pour cela, il adresse un message d'ajout à l'agent servant d'entrée au système. Le protocole se décompose en trois étapes :

1. Enregistrement du nouvel agent

2. Envoi au nouvel d'agent des informations concernant l'ensemble des agents et des variables d'environnement du système

3. Envoi à chaque agent du système des informations concernant le nouvel agent

Le protocole de retrait d'un agent est déclenché lorsqu'un agent adresse un message de demande de retrait ou bien si le processus de surveillance de la réactivité des agents détecte un agent qui ne répond plus. Ce protocole se décompose en deux étapes :

1. Retrait des informations concernant l'agent à retirer
2. Envoi à chaque agent du système de l'identité de l'agent à supprimer

La mise en œuvre de ces protocoles avec l'architecture d'agent développée s'effectue par la programmation de messages et de comportements utilisant les mécanismes fournis par la plate-forme JADE.

4.1.3.3 Les messages de gestion de l'environnement

La mise en œuvre des protocoles de gestion de l'environnement conduit à la définition de messages qui vont être échangés entre les différents agents du système. Un message est constitué d'informations qui vont être utilisées par l'agent pour effectuer les traitements associés.

Le protocole de gestion d'ajout d'un agent dans le système repose sur trois messages :

- **DemandeEnregistrement** (nom de l'agent, services proposés, variables d'environnement). Ce message est envoyé par un agent pour être ajouté au système. Il reçoit en réponse une confirmation de son enregistrement.
- **InformationsSysteme (**liste des agents et de leurs services, liste des variables d'environnement). Ce message est envoyé par l'agent de gestion de l'inscription des agents pour informer le nouvel agent des informations caractérisant le système. Un accusé de réception est attendu à l'émission de ce message.
- **InformationNouvelAgent (**nom de l'agent, services proposés, variables d'environnement). Ce message est envoyé à chaque agent du système par l'agent de gestion de l'inscription des agents pour les informer de la présence d'un nouvel agent dans le système. Aucune réponse n'est attendue pour ce message.

Le protocole de gestion du retrait d'un agent du système repose sur deux messages :

- **DemandeRetraitAgent**() est envoyé au moment où un agent veut être retiré du système. Il envoie ce message à l'agent qui à la charge du fonctionnement du système.
- **RetraitAgent(**nom de l'agent) est envoyé par l'agent de gestion du système à l'ensemble des agents pour qu'ils retirent l'agent de leur base de connaissances.

La gestion de l'environnement repose sur le message **MiseAJourEnvironnement (**variable). Ce message est envoyé lorsqu'une variable de l'environnement a été modifiée par l'exécution d'un service ou par un événement survenant dans le système.

La réception de ces messages par un agent JADE doit déclencher un comportement contenant les opérations nécessaires à la réalisation du protocole correspondant.

4.1.3.4 Les comportements de gestion de l'environnement

La gestion de l'ajout d'un nouvel agent dans le système repose sur trois comportements :

- Le comportement **EnregistrementAgent** contient les différentes actions à réaliser lors d'une demande d'un agent à intégrer le système. Celui-ci est déclenché lors de la réception du message *DemandeEnregistrement*. Il met à jour la base de connaissances de l'agent avec les informations sur le nouvel agent (savoir faire et variables d'environnement) puis il adresse au nouvel agent un message *InformationSystème* contenant l'ensemble des informations caractérisant le système et à l'ensemble des agents un message *InformationNouvelAgent* pour qu'ils mettent à jour leur base de connaissances.

- Le comportement **EnregistreNouvelAgent** correspond aux différentes actions déclenchées lors de la réception du message *InformationNouvelAgent,* C'est-à-dire la mise à jour de la base de connaissances (agents et environnements) avec les informations sur le nouvel agent du système.

- Le comportement **EnregistreInfoSysteme** est déclenché lors de la réception du message *InformationSystème* et permet le remplissage de la base de connaissances de l'agent avec l'ensemble des informations caractérisant le système (agents et environnement).

La gestion de la dynamique de l'environnement est effectuée par le comportement **ChangementEnvironnement** qui est déclenché lors de la réception d'un *MiseAJourEnvironnement*. Ce comportement interagit avec le gestionnaire de l'environnement pour mettre à jour la structure de données de l'environnement.

La gestion du retrait de l'agent repose sur deux comportements :

- Le comportement **DemandeRetrait** est déclenché lors de la réception d'un message *DemandeRetrait* ou bien si un agent ne répond pas au processus de surveillance du fonctionnement du système. Ce comportement gère les interactions de suppression des informations de l'agent à retirer avec l'ensemble des agents du système.

- Le comportement **RetireAgent** est déclenché lors de la réception d'un message *RetraitAgent.* Celui-ci met à jour les connaissances de l'agent en supprimant les informations caractérisant l'agent à retirer.

La programmation des structures de données, des messages et des comportements permet de mettre en œuvre les mécanismes de gestion de l'environnement de l'agent. Par la suite, un exemple permettant de comprendre le fonctionnement de ces traitements est présenté.

4.1.3.5 Illustration du fonctionnement des mécanismes de gestion des agents

Pour illustrer le fonctionnement des processus de gestion des agents, un ensemble d'exemples est présenté. Ceux-ci permettent d'aborder la succession des différentes actions de gestion des agents. Ces exemples reposent sur un système constitué de trois agents (A1, A2, A3), chaque agent possède des traitements (T1et T2 pour A1, T3 et T4 pour A2 et T5, T6 et T7 pour A3) . L'agent A1 est de plus responsable de la gestion du

système. L'environnement du système est composé des variables V1 et V2 gérées par l'agent A1, V3 gérée par l'agent A2 et V4 gérée par l'agent A3.

Pour illustrer le fonctionnement du système, les échanges de messages entre les différents agents et le comportement déclenché à la réception d'un message par une adaptation des diagrammes de séquences UML sont dans un premier temps présentés. En effet, la représentation d'un appel de méthode est utilisée pour symboliser l'envoi d'un message, le nom de la méthode étant remplacé par le message transmis et le déclenchement interne de méthode pour représenter le déclenchement d'un comportement. Dans un second temps, les interactions entre les différentes structures de données à l'aide des schémas UML sont décrites.

Le premier scénario vise à illustrer les mécanismes d'ajout d'un agent dans le système. Les schémas suivants illustrent les interactions entre les agents et les conséquences sur le fonctionnement interne de chaque agent. Il débute dès que l'agent A3 sollicite l'agent A1 pour être enregistré : celui-ci procède à l'enregistrement et transmet l'information aux autres agents du système puis adresse l'ensemble des information caractérisant le système à l'agent A3 (cf. figure 4.12).

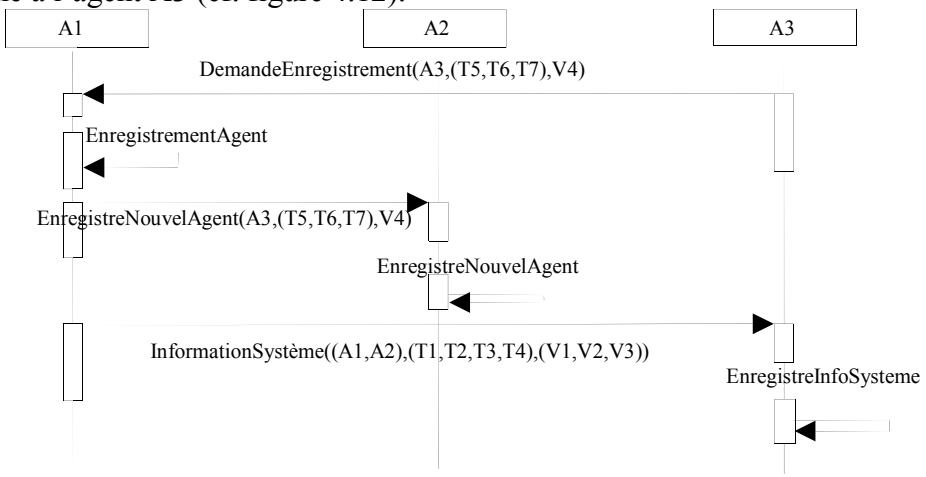


Figure 4.12 Interactions d'ajout d'un agent. Ce scénario illustre les échanges de messages entre les agents du système d'intermédiation lorsqu'un nouvel agent est ajouté. Il s'agit essentiellement de messages de transmission des fonctionnalités de chaque agent.

Les comportements impliqués dans le fonctionnement entraînent des interactions avec les structures de données de gestion de l'environnement. Le comportement *EnregistrementAgent* agit sur l'environnement de l'agent en ajoutant les nouvelles informations par l'intermédiaire du *GestionnaireDEnvironnement* puis génère les messages à destination des autres agents (cf. figure 4.13).

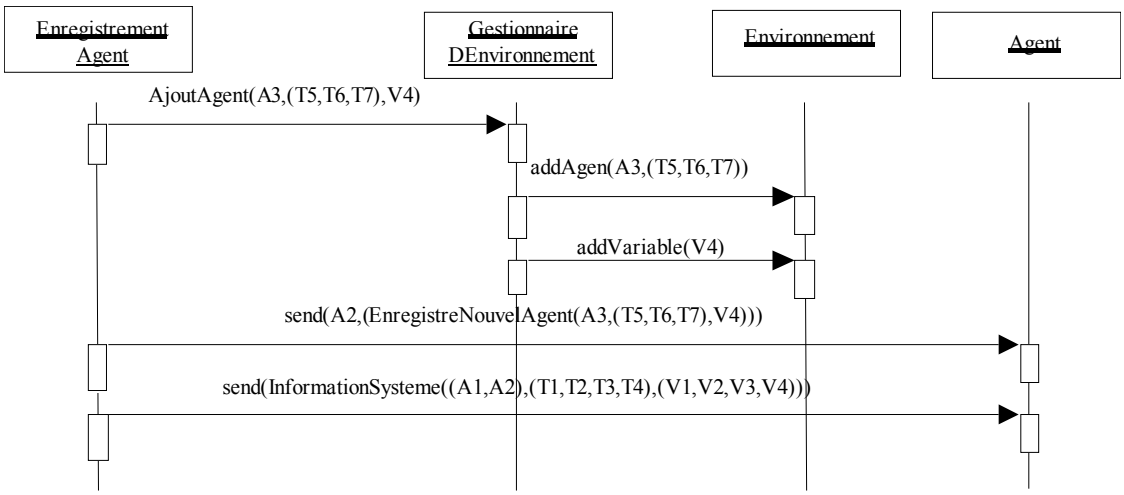


Figure 4.13 Diagramme de séquence du comportement EnregistreAgent. Ce scénario correspond aux échanges de messages entre les objets de la structure de données de gestion de l'environnement de l'agent qui visent à enregistrer les informations caractérisant le nouvel agent du système.

Les comportements *EnregistrementNouvelAgent* et *EnregistreInfoSystème* reposent sur les mêmes mécanismes d'interactions avec les classes *GestionnaireDEnvironnement et Environnement.*

Le processus de retrait d'un agent, utilisé dans le comportement *VerificationFontionnement*, si un agent ne répond pas au terme du délai de réponse et par le comportement *RetireAgent* consiste à retirer des informations manipulées par l'agent, celles correspondant à l'agent, à son savoir-faire et à ses variables d'environnement (cf. figure 4.14).

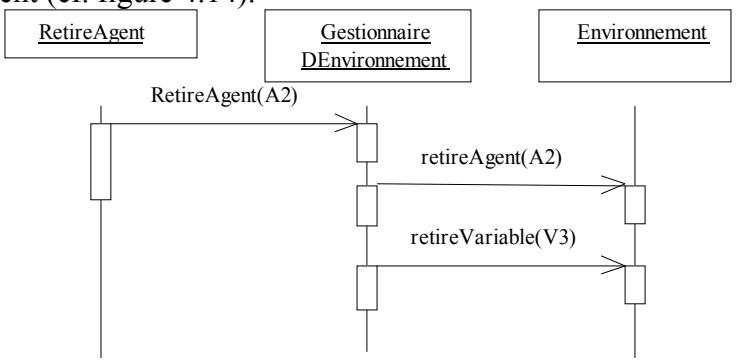


Figure 4.14 Processus de retrait d'un agent. Ce scénario illustre les interactions entre les objets de la structure de données de gestion de l'environnement de l'agent dans le but de supprimer les informations relatives à l'agent qui est retiré du système.

Les fonctionnalités de gestion des interactions entre l'agent et son environnement présentées dans cette section offrent le support nécessaire à la réalisation des mécanismes de gestion des services, correspondant aux traitements du système d'intermédiation.

4.2 Les traitements de gestion des services

Le concept de service, introduit dans le chapitre précédent (cf. 3.2) est la représentation au sein du système multi-agent d'intermédiation, des traitements fournis par les systèmes technologiques reliés aux agents. Ainsi, les agents sont responsables d'un ensemble de services et doivent posséder les mécanismes permettant aux autres agents du système de les solliciter pour déclencher l'exécution du traitement associé au service. De plus,

l'agent doit être apte à déclencher automatiquement l'exécution d'un service en fonction des événements survenant dans son environnement.

La mise en œuvre de ces fonctionnalités oblige à définir une structure de données offrant les concepts nécessaires ainsi que les protocoles régissant les échanges entre les agents. Puis, il s'agira de déduire les messages et les comportements permettant de les programmer avec les outils de la plate-forme JADE. Dans cette section, sont dans un premier temps présentées les différentes classes constituant la structure de données représentant les services. Dans un deuxième temps, les protocoles régissant les interactions entre les agents sont décrits. Enfin, les messages et les comportements JADE correspondants sont identifiés et un exemple du fonctionnement de ces différentes composantes est présenté.

4.3 La structure de données de représentation des services

Les mécanismes de gestion des services reposent sur la classe *Service*. Celle-ci est constituée d'un ensemble d'attributs permettant de caractériser un traitement et de gérer son exécution. Un identifiant unique et un champ de description permettent d'identifier le service. Une liste d'instances de la classe *Variable,* qui est constituée d'un couple (nom, valeur), permet de définir l'ensemble des *paramètres* nécessaires à l'exécution du service, mais aussi les *caractéristiques d'exécution* comme la précision, le temps de traitement… Pour caractériser les conditions pour lesquelles l'exécution du service doit être mis en œuvre la hiérarchie des classes des *nœuds* permet de représenter des expressions reposant sur des opérateurs de comparaisons (<, >, =) et booléen (ET, OU, NON). Un attribut permet d'indiquer si l'exécution du service est possible. Une liste *d'observateurs* permet d'associer au service une liste d'objets devant être sollicités lors du déclenchement d'un processus d'exécution. Enfin les informations devant être envoyées au système technologique sont décrites à l'aide d'une classe héritant de la classe *Message.*

Les méthodes de la classe *Service* permettent de gérer l'exécution des traitements correspondant à ces instances. La méthode *execute()* déclenche le processus d'exécution du service en vérifiant tout d'abord si cela est possible et le cas échéant en informant l'ensemble des *observateurs,* parmi lesquels les objets chargés de cette exécution. Par ailleurs elle hérite de la classe *ObservateurDEnvironnement* qui déclenche la méthode *changement()* lorsqu'une variable de l'environnement a été modifiée. La surcharge de cette méthode consiste à vérifier si les nouvelles valeurs de l'environnement ne correspondent pas à une des conditions nécessitant l'exécution du service. Si c'est le cas la méthode *execute()* est déclenchée.

Le fonctionnement des différents traitements de l'agent requiert des connaissances sur son environnement, c'est-à-dire sur les autres agents constituant le système mais aussi sur un ensemble de variables décrivant l'état du système vis-à-vis des différents traitements dont il est en charge. La classe *Environnement* permet d'accéder et de modifier les valeurs des informations manipulées par l'agent. De plus, dès qu'une modification est effectuée sur une donnée, la méthode *changement()* est déclenchée sur tous les objets héritant de la classe *ObservarteurDEnvironnement* enregistrés (cf. figure 4.15).

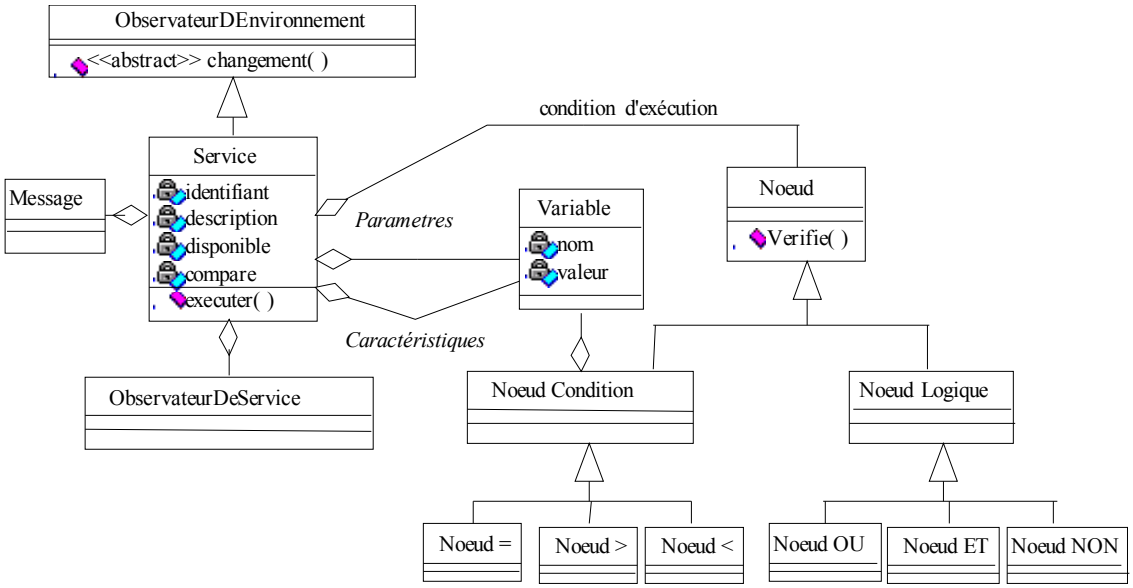


Figure 4.15 La structure de données de définition des services. Cette hiérarchie de classe permet de décrire les traitements fournis par les systèmes technologiques reliés à l'agent d'intermédiation.

Les différentes fonctionnalités sur lesquelles vont reposer les comportements de gestion de services sont fournies par la structure de donnée **GestionnaireDeServices**. Celle-ci est connectée à la liste des services et à l'environnement de l'agent, ainsi qu'à l'*AgentCommunicationCenter* pour la gestion de l'interaction avec les systèmes d'information, notamment en héritant de l'interface *ObservateurACC*. Elle propose une interface permettant de gérer l'ordonnancement des différents traitements en fonction de la réception des différents messages échangés entre les agents (cf. figure 4.16).

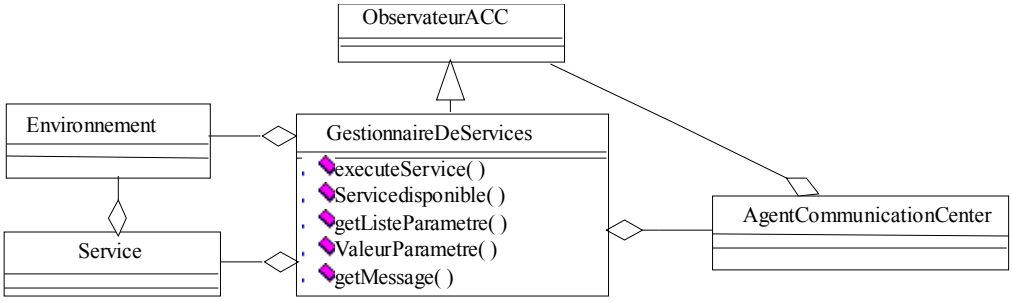


Figure 4.16 Structure de données de gestion des services. Cette hiérarchie de classe fournit les méthodes qui vont permettre la manipulation de services par les comportements JADE.

Les structures de données de représentation des services et du dispositif de gestion servent de support à la mise en œuvre des traitements de gestion des services. Il s'agit maintenant de définir les protocoles régissant les échanges entre les agents relatifs aux services.

4.4 Les protocoles de gestion des services

La mise en place des différents mécanismes de gestion des services oblige à la définition de protocoles visant à ordonnancer les échanges de messages et le déclenchement de traitements. Deux protocoles sont nécessaires : un protocole de gestion de la demande d'exécution d'un service par un agent du système et la gestion du déclenchement automatique d'un service.

Le protocole de gestion de l'exécution d'un service est activé lors de la réception d'un message de demande d'exécution d'un service. Le processus correspondant est composé de cinq étapes :

1. Test de la disponibilité du service. Si le service n'est pas disponible un message est transmis à l'émetteur de la requête l'informant de l'impossibilité temporaire d'exécuter le service sinon le protocole continue.

2. Récupération de la valeur des paramètres. Des messages sont transmis à l'émetteur de la requête pour lui demander les valeurs des paramètres nécessaires à l'exécution du service.

3. Un message est envoyé au système d'information en charge de l'exécution du service pour déclencher le traitement.

4. A la réception des résultats de l'exécution du service ceux-ci sont envoyés à l'agent ayant demandé l'exécution du service.

5. Si l'exécution du service modifie une variable de l'environnement un message est transmis à l'ensemble des agents pour qu'ils mettent leurs connaissances à jour.

Les changements survenant dans l'environnement de l'agent peuvent nécessiter le déclenchement de l'exécution d'un service géré par l'agent et ce, de manière autonome. Le protocole de gestion du déclenchement automatique d'un service d'un agent permet de gérer ces mécanismes. Il est déclenché à la réception d'un message informant d'un changement dans l'environnement et il est composé de trois étapes :

1. Recherche des services dont les conditions d'exécution correspondent avec les nouvelles valeurs de l'environnement.

2. Exécution de ces services

3. Transmission d'un message de mise à jour de l'environnement à l'ensemble des agents.

La réalisation de ces protocoles s'effectue en programmant les messages qui vont être échangés et les comportements associés.

4.5 Les messages de gestion des services

Le fonctionnement des différents protocoles de gestion des services repose sur un ensemble de messages regroupés selon les protocoles qui les utilisent :

Le protocole de gestion de l'exécution d'un service repose sur quatre messages :

- **DemandeExecutionService(**nom du service). Ce message est envoyé pour demander à un agent l'exécution d'un service. Ce message peut entraîner trois types de réponses : une réponse positive si le service est disponible, un message temporaire de refus si le service est en cours d'utilisation et un message d'erreur si le service est inconnu ou que son exécution est impossible.

- **ValeurParametres(**service, liste des paramètre). Ce message est envoyé pour demander la valeur des différents paramètres nécessaires à l'exécution d'un service. Ce message attend en retour une valeur pour l'ensemble des paramètres.

- **ResultatsExecutionService(**résultats). Ce message transmet les résultats de l'exécution du service à l'agent qui en a fait la demande.

- Un message spécifique, lié à la nature du service (requête SQL, formulaire, exécution de code…), envoyé au système de communication avec les systèmes d'information.

Le fonctionnement d'un agent JADE repose sur un ensemble de comportements qui sont déclenchés à la réception d'un message. Il est donc nécessaire de définir les comportements de gestion des services.

4.6 Les comportements de gestion des services

Les traitements liés à la gestion des services reposent sur quatre comportements :

- Le comportement **RequeteService** est déclenché à la réception d'un message *DemandeExecutionService*. Celui-ci vérifie si le service dont l'exécution est demandé est effectivement disponible. Un message de réponse est généré avec en contenu l'information sur la disponibilité du service. Si le service est disponible, les paramètres de celui-ci sont récupérés et un message *ValeurParametres* est envoyé à l'agent émetteur de la requête.

- Le comportement **ValeurParametres** est déclenché lors de la réception d'un message *ValeurParametres,* il consiste à générer un message de réponse contenant les valeurs des paramètres pour l'exécution du service attendu.

- Le comportement **ExecuteService** est déclenché à la réception du message de réponse au message *ValeurParametres*, il transmet l'ensemble des informations nécessaires à l'exécution du service au *GestionnaireDeService*.

- Le comportement **ResultatExecutionService** est déclenché à l'issu de la réception du message *ResultatsExecutionService,* il permet de récupérer les valeurs issues de l'exécution du service demandé. Si nécessaire, les valeurs de l'environnement de l'agent sont mises à jour et un message *MiseAJourEnvironnement* est envoyé à l'ensemble des agents.

Dans la suite de cette section, un ensemble d'exemples est présenté pour permettre d'appréhender la succession des actions effectuées lors des processus de gestion des services.

4.7 Illustration du fonctionnement des mécanismes de gestion des services

Pour illustrer le fonctionnement des processus de gestion des services d'un agent un ensemble d'exemples est proposé. Ceux-ci reposent sur un système constitué de trois agents (A1, A2, A3), chaque agent possède des services (S1 et S2 pour A1, S3 pour A2 et S4 et S5 pour A3). L'environnement du système est composé des variables V1, V2, V3 et V4. Le service S1 lance un code de calcul qui nécessite les variables V1, V2 et les paramètres P1 et P2. De plus, il doit être exécuté si l'expression V1=5 et V2 <10 est vérifiée. Le service S4 est une requête à une base de données qui requiert les valeurs des variables V1, V3 et des paramètres P1 et P3.

Le premier exemple montre la succession des événements après la demande de l'agent A2 à l'agent A3 pour qu'il exécute le service S4. Le premier diagramme de séquence présente les échanges de messages liés à la requête d'exécution du service, à la récupération des paramètres nécessaires à l'exécution et à la mise à jour de l'environnement des différents agents du système (cf. figure 4.17).

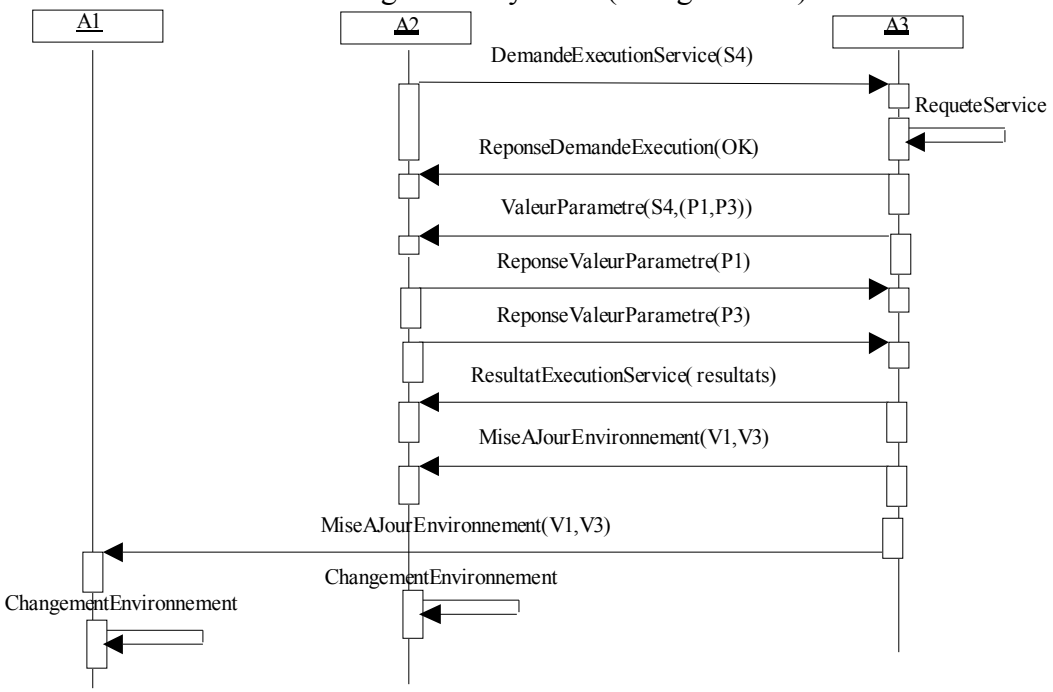


Figure 4.17 Interactions d'exécution de services. Ce scénario décrit les échanges de messages entre les agents d'un système d'intermédiation lors d'une demande d'exécution d'un service.

Le comportement dédié à l'exécution de services repose sur des échanges d'information entre les structures de données de gestion des services et de communication avec les systèmes d'information (cf. figure 4.18).

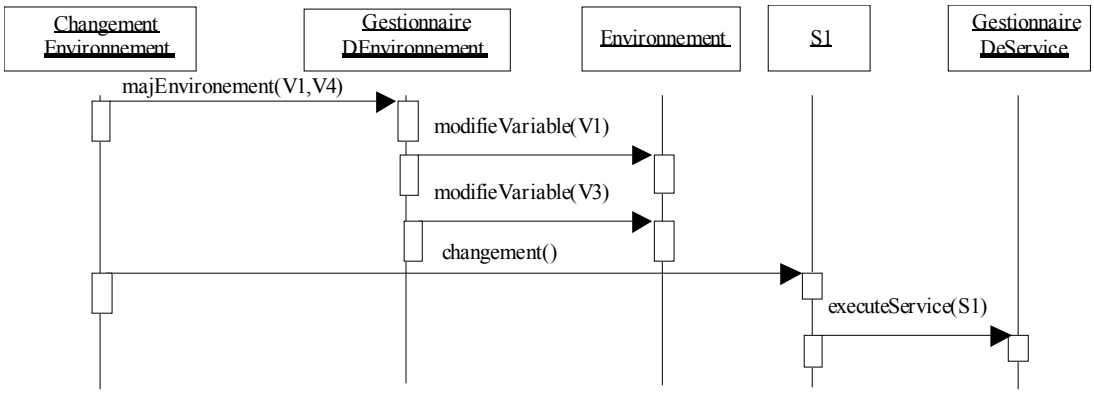


Figure 4.18 Scénario de gestion de l'exécution d'un service. Ce scénario illustre les appels de méthodes entre les objets de gestion de l'exécution des services.

Le second exemple illustre le mécanisme de gestion de l'exécution automatique de services, il débute à l'issu de la réception d'un message de mise à jour de l'environnement et consiste pour chaque agent à parcourir l'ensemble des services pour vérifier si les nouvelles valeurs de l'environnement ne nécessitent pas son exécution (cf. figure 4.19).

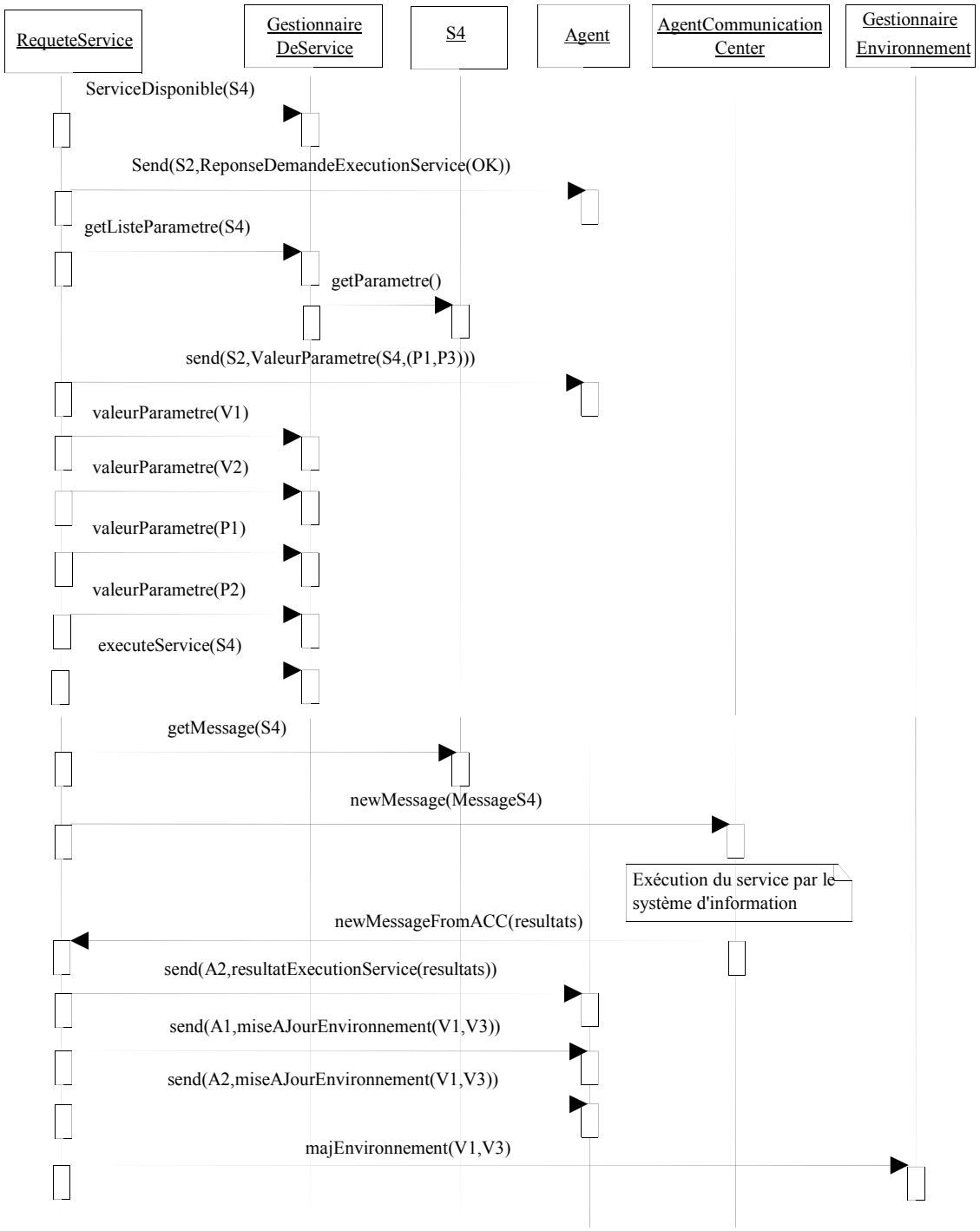


Figure 4.19 Scénario de gestion de l'exécution automatique des services. Ce scénario illustre les interactions survenant lors de la détection d'une situation qui nécessite l'exécution d'un service.

La programmation des structures de données, des messages et des comportements de gestion des services permettent de satisfaire une partie des traitements d'intermédiation. Ils fournissent également les mécanismes de base afin de développer les fonctionnalités de composition de services dont l'objectif est de concevoir des traitements issus de l'exécution de différents services présents dans le système par l'intermédiaire du concept de plan.

4.3 Les traitements de gestion des plans

Le concept de plan a pour objectif de représenter des fonctionnalités, dont l'accomplissement requiert l'exécution de différents services disponibles dans le système (cf. §3.2). Les agents doivent être aptes à exécuter les services garantissant les objectifs du plan, mais aussi si la situation le nécessite, de transférer la gestion d'un plan à un autre agent.

Dans cette section, les différentes classes constituant la structure de données représentant les plans sont dans un premier temps présentées. Dans un deuxième temps, les protocoles régissant les interactions entre les agents sont décrits. Puis, les messages et les comportements JADE correspondant sont identifiés. Enfin, un exemple est proposé.

4.8 Les structures de données de représentation des plans

Pour construire la structure de données visant à représenter les plans, une approche inspirée des modèles de réseaux de tâches hiérarchiques [EROL94] et des Grafcets [MORENO99] est menée.

Le modèle des réseaux hiérarchiques de tâches permet de représenter un ensemble de fonctionnalités à l'aide :

- D'un « **réseau de tâches** » initial représentant le problème à résoudre. Ce réseau est constitué par un ensemble de tâches désignant les actions à mettre en œuvre. Une tâche est caractérisée par un nom et une liste d'arguments, qui peuvent être des variables ou des constantes. Certaines tâches sont « primitives », elles peuvent être directement accomplies et d'autres sont « non-primitives », le planificateur doit trouver comment les mettre en œuvre. Par ailleurs des contraintes peuvent être associées aux tâches comme des limites sur les variables ou bien des restrictions sur l'ordonnancement des tâches.

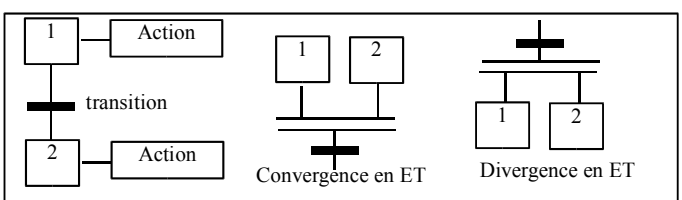
- D'un ensemble d'**opérateurs** décrivant les effets sur l'environnement de l'exécution de chaque tâche primitive.

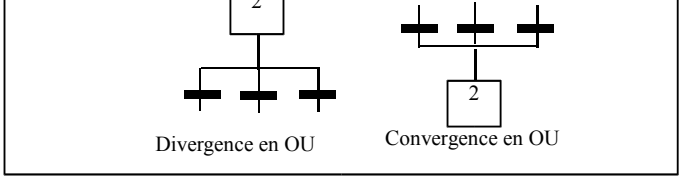
Le modèle grafcet permet de représenter différentes étapes d'un processus de commande de système industriel selon un graphe cyclique composé :

- D'**étapes** qui symbolisent les différentes phases pendant lesquelles une action est effectuée. Une étape peut être active si l'action correspondante est en cours d'exécution ou inactive.

- De **transitions** qui fixent les conditions de passages d'une étape à une autre. Une condition de transition (ou réceptivité) fixe les conditions pour lesquelles l'action associée à l'étape située juste en amont de la transition prendra fin et là où les étapes situées après la transition seront activées.

- Des **liaisons** qui relient les étapes et les transitions. Si plusieurs étapes doivent être reliées à la même transition il s'agit d'une « convergence en ET ». Si plusieurs étapes suivent une transition, il s'agit d'une « divergence en ET ». Si plusieurs transitions succèdent à une même étape il s'agit d'une « divergence en OU » et si





plusieurs transitions sont reliées à la même étape il s'agit d'une « convergence en OU » (cf. figure 4.20).

Figure 4.20 Eléments d'un grafcet. Ce schéma présente les différents types de liaison entre les actions d'un Grafcet qui vont servir de support à la définition de la structure de données de représentation d'un Plan.

La classe *Plan* hérite de la classe Service et de l'ensemble de ses attributs (identifiant, description, condition d'exécution, disponibilité, observateurDeService). Une liste de *tâches* permet de caractériser les différentes actions à réaliser, les liaisons entre les différentes tâches sont représentées à l'aide de la classe *Nœud de liaison* et la hiérarchie correspondante (*nœud ET, nœud OU, fin nœud ET)*. Le lien entre les plans et les structures de données dédiées à la gestion de l'exécution des plan est assuré par les mécanismes hérités de la classe Service (ObservateursDEnvironnement, méthode execute(), …) (cf. Figure 4.21).

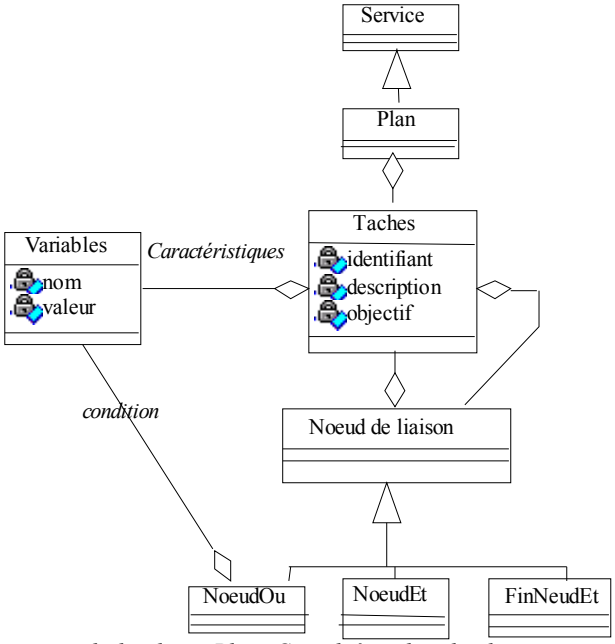


Figure 4.21 La structure de la classe Plan. Cette hiérarchie de classes permet de représenter les informations caractérisant un plan.

Les fonctionnalités permettant les interactions entre la structure de données de représentation des plans et les comportements sont fournies par la classe **GestionaireDePlan.** Celle-ci est connectée à la liste des plans et à l'environnement de l'agent. Elle offre une interface permettant de gérer l'ordonnancement des différents traitements en fonction de la réception des différents messages échangés entre les agents. Le lien avec le *gestionnaire de Service* permet de gérer les échanges d'information liés à l'exécution des services (cf. figure 4.22).

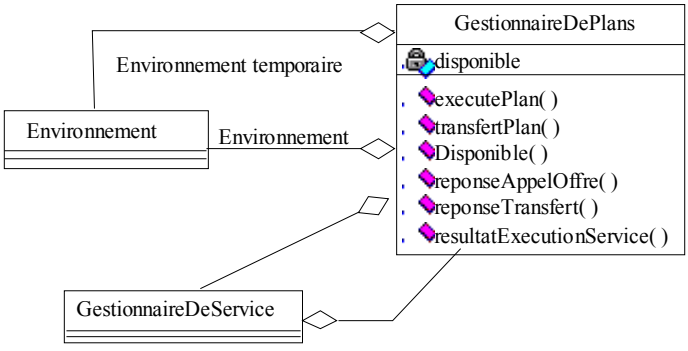


Figure 4.22 Structure de données GestionnaireDePlan. Cette hiérarchie de classe fournit les méthodes permettant à un comportement JADE de manipuler les différentes instances de Plan dont il a la gestion.

Les structures de données de représentation des plans et du dispositif de gestion des plans servent de support à la mise en œuvre des traitements de gestion des plans. A présent, il s'agit de définir les protocoles régissant les échanges entre les agents relatifs aux plans.

4.9 Les protocoles de gestion des plans

Les mécanismes de gestion de l'exécution des plans nécessitent des traitements permettant d'associer à chaque tâche un service potentiellement géré par un agent du système, mais également des fonctionnalités dédiées à la gestion de potentiels conflits pouvant survenir lors de cette recherche, notamment les situations de concurrence entre deux agents pour utiliser un service ou bien entre deux services pour répondre à une demande d'un agent.

Les mécanismes de gestion des plans programmés reposent sur le Contract Net protocol (CNP) [SMITH80] est un des modèles d'allocation de tâches les plus utilisés dans les travaux sur les systèmes multi-agents. Il reprend sur le principe d'appel d'offre dans les marchés publics avec des responsables des enchères (manager) et des prestataires d'offres (bidders).

Le processus d'allocation de tâches peut se décomposer en quatre étapes :

- Lorsqu'un agent est dans l'incapacité de réaliser une tâche, il adresse un message aux autres agents du système afin d'en trouver un apte à la réaliser.
- Lors de la réception d'un appel d'offre, l'agent construit une proposition selon ses capacités.
- Après réception de l'ensemble des réponses, l'agent émetteur de la requête évalue celle correspondant le mieux à ses besoins et adresse un message à l'agent concerné pour l'informer de sa sélection.
- A la réception d'un message d'acceptation d'une offre, l'agent émetteur de celle-ci confirme ou non son aptitude à la réaliser. Puis, un ensemble d'interactions sont mises en œuvre pour gérer l'exécution de la tâche.

Le protocole de gestion de l'exécution d'un plan se déclenche à la réception par l'agent d'un message sollicitant l'exécution d'un plan. Celui-ci se décompose en quatre étapes :

1. La première opération effectuée par l'agent est de vérifier s'il est apte à exécuter le plan. S'il s'avère qu'il est dans l'indisponibilité d'effectuer ces traitements, il déclenche un processus visant à trouver un agent pouvant le suppléer.
2. La deuxième étape a pour objectif d'associer un service du système à chaque tâche du plan à l'aide du Contract Net Protocol.
3. Une fois les services identifiés l'agent procède à l'ordonnancement de leur exécution en fonction des différentes relations de liaisons et des valeurs des variables de l'environnement.

4. Les résultats sont envoyés à l'agent ayant sollicité l'exécution du plan au terme de l'exécution de l'ensemble des actions du plan.

Dans la mesure où l'agent n'est pas en mesure de procéder aux opérations d'exécution, le protocole de transmission de plan vise à chercher un agent pouvant le suppléer. Ce protocole se décompose en trois étapes :

- La première étape du processus vise à rechercher un agent disponible pour exécuter le plan. Celle-ci s'effectue à l'aide du protocole CNP.
- Si un agent disponible est trouvé, le plan et les informations caractérisant l'agent ayant effectué la requête lui sont transmis.
- Sinon un message d'inaptitude est transmis à l'agent émetteur de la requête.

La réalisation de ces protocoles s'effectue en programmant les messages qui vont être échangés et les comportements associés.

4.10 Les messages de gestion des plans

Le fonctionnement des différents protocoles de gestion des plans repose sur un ensemble de messages regroupés selon les protocoles qui les utilisent.

Le protocole de gestion de l'exécution des plans repose sur les messages de gestion de services et sur les cinq messages suivant :

- **DemandeExecutionPlan(Plan).** Ce message est envoyé pour solliciter l'exécution d'un plan. Ce message peut entraîner trois types de réponses : une réponse positive si l'agent est en mesure d'exécuter le plan, les coordonnées de l'agent qui a accepté de prendre en charge l'exécution du plan ou bien un message d'incapacité à procéder à l'exécution du plan.
- **RequeteService(Tâche).** Ce message est émis pour solliciter les agents du système pour qu'ils proposent un service correspondant à la tâche demandée.
- **PropositionOffre(Service).** En réponse à un message de requête de service, l'agent répond avec une proposition d'offre contenant les informations caractérisant le service proposé ou bien avec une réponse nulle s'il ne possède pas de services correspondant.
- **OffreAccepte().** En réponse à une proposition d'offre l'agent peut répondre avec une acceptation suivant l'adéquation de l'offre avec la demande et les propositions des autres agents.
- **ResultatsExecutionPlan(résultats).** Au terme de l'exécution de l'ensemble des tâches du plan, la valeur de l'ensemble des variables résultats du plan est envoyée à l'agent ayant effectué la requête.

Le protocole de transmission d'un plan repose sur deux messages :

- **PropositionPriseEnChargePlan(Plan).** Ce message est envoyé si un agent désire déléguer l'exécution d'un plan à un autre agent. La réponse à ce message est soit positive, si l'agent est disponible, soit négative si l'agent ne peut prendre en charge l'exécution du plan.

- **TransfertPlan(Plan,Agent).** Ce message contient les informations caractérisant le plan à exécuter et l'agent ayant sollicité sa mise en œuvre.

Le fonctionnement d'un agent JADE repose sur un ensemble de comportements qui sont déclenchés à la réception d'un message. Il est donc nécessaire de définir les comportements de gestion des plans.

4.11 Les comportements de gestion des plans

Les différents traitements nécessaires à l'exécution des plans gérés par les agents sont réalisés à l'aide d'un ensemble de comportements reposant sur les modèles offerts par la plate-forme JADE.

Les comportements permettant les mécanismes de la gestion des plans sont au nombre de sept :

- Le comportement **ExecutionPlan** est déclenché lors de la réception d'un message *DemandeExecutionPlan*. Ce comportement interagit avec le *gestionnaireDePlan* pour déterminer si l'agent est apte à exécuter le plan. Si l'exécution est possible, la demande d'exécution est effectuée au près du gestionnaire de services qui déclenche le processus de recherche des services.

- Le comportement **RequeteService** est déclenché lors de la réception d'un message *RequeteService*. Ce comportement compare les caractéristiques de la tâche avec les différents services dont l'agent a la charge. Un message de *PropositionOffre* est généré, avec soit les caractéristiques d'un service correspondant, soit une réponse vide si aucun service ne correspond.

- Le comportement **PropositionOffre** est déclenché lors de la réception d'un message *PropositionOffre*. Ce comportement transmet l'offre au gestionnaire de plans.

- Le comportement **OffreAccepte** est déclenché lors de la réception du message *OffreAccepte*. L'agent réserve l'exécution du service jusqu'à la réception d'un message de demande d'exécution.

- Le comportement **PropositionPlan** est déclenché lors de la réception du message *PropositionPriseEnChargePlan,* l'agent teste et envoi comme réponse l'information de sa disponibilité.

- Le comportement **ReceptionPlan** est déclenché lors de la réception du message *TransfertPlan,* il enregistre le plan dans sa base de plans et déclenche le processus d'exécution du plan.

- Le comportement **ResultatExecutionPlan** est déclenché lors de la réception du message *ResultatExecutionPlan,* l'agent met à jour sa base de connaissances.

Dans la suite de cette section, un ensemble d'exemples est présenté pour permettre d'appréhender la succession des actions effectuées lors des processus de gestion des plans.

4.12 Illustration du fonctionnement des mécanismes de gestion des plans

Pour illustrer le fonctionnement des processus de gestion des plans, un exemple d'exécution d'un plan est proposé. Celui-ci repose sur un système constitué de trois agents (A1, A2, A3), chaque agent possède des services (S1et S2 pour A1, S3 pour A2 et S4 et S5 pour A3). A1 gère un plan P1 qui est constitué de cinq taches (T1, T2, T3, T4 et T5). Le processus de mise en œuvre du plan requiert l'exécution séquentielle de T1, T2, T4 et T5, la tâche T3 pouvant être réalisée en parallèle avec les tâches T4 et T5.

Le premier diagramme de séquences présente les échanges de messages liés au processus de recherche des services correspondant aux différentes tâches du plan. Au terme de ce scénario, un service a été associé à chaque tâche du plan (Figure 4.23).

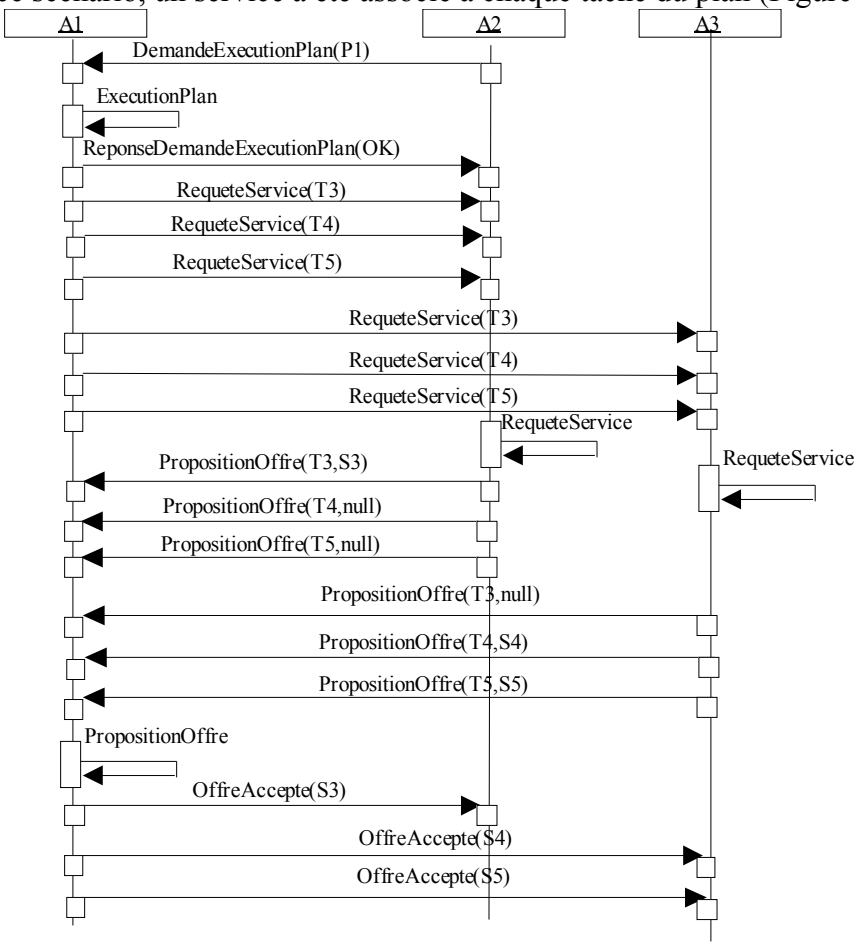


Figure 4.23 Interactions liées à l'exécution de l'association d'un service à chaque tâche du plan. Ce scénario présente les échanges de messages entre agents relatifs au processus de recherche des Services présent au sein du système d'intermédiation correspondant aux Tâches du plan.

Le second diagramme illustre les interactions entre les agents liés à l'ordonnancement de l'exécution des différents services correspondant aux tâches du plan en fonction des valeurs des nœuds de transition reliant les tâches les unes aux autres (Figure 4.24).

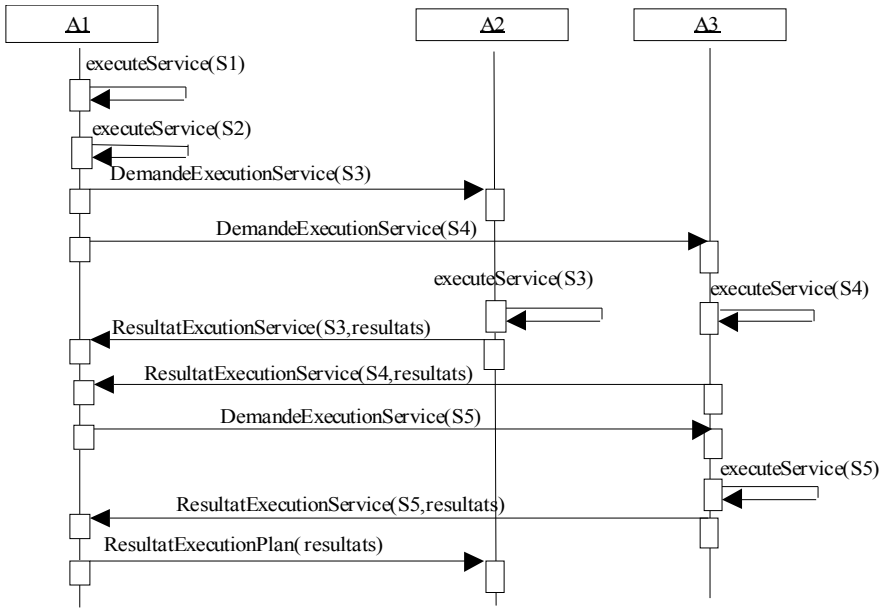


Figure 4.24 Interactions liées à l'exécution des services associés à un plan. Ce scénario illustre les échanges de messages entre les agents à propos de l'exécution des services sélectionnés pour remplir les objectifs d'un plan.

Le comportement de recherche d'un service correspondant à une tâche entraîne des interactions entre les différentes structures de données de gestion des services. La comparaison entre les caractéristiques d'un service et les attentes d'une tâche s'effectue à l'aide de la méthode de comparaison de la classe service.

Les mécanismes de gestion des services et des plans correspondent aux besoins d'intermédiation de systèmes technologiques. Néanmoins, des traitements de gestion de contraintes doivent être mis en œuvre pour assurer un fonctionnement correct du système d'intermédiation électronique.

4.4 Les agents de gestion des contraintes

La mise en relation de systèmes technologiques et d'individus à l'aide du système d'intermédiation électronique nécessite le développement de mécanismes de gestion de l'autorisation d'accès aux services et aux plans présents dans le système, de sauvegarde des résultats des traitements en fonction des utilisateurs mais aussi de contrôle du bon fonctionnement des différents éléments du système.

La stratégie choisie pour mettre en œuvre ces traitements (cf. 3.2.4) est de les concevoir comme des services gérés par un ou plusieurs agents du système. L'objectif de cette section est de présenter le rôle de ces agents et les dispositifs technologiques qui leurs sont associés. Dans un premier temps, l'agent de gestion des autorisations d'accès est présenté ; dans un deuxième temps les caractéristiques de l'agent de gestion des sauvegardes sont décrites et enfin les particularités de l'agent de gestion de contrôle du système sont abordées.

4.4.1 L'agent de gestion des autorisations d'accès aux traitements

Le rôle de l'agent de gestion des autorisations d'accès aux traitements est de fournir des mécanismes permettant de filtrer l'utilisation des services et des plans selon des caractéristiques de l'individu (fonction de l'utilisateur, domaine de compétence, …) ou

de l'agent émetteur de la requête (*Services* de l'agent, priorité, …). Pour décrire le fonctionnement de cet agent, l'information qu'il manipule est tout d'abord présentée puis les services qu'il met à disposition de l'ensemble du système sont illustrés.

L'agent est relié à une base de données contenant deux types d'information.

Le premier concerne la hiérarchie des acteurs et des agents au sein de l'organisation virtuelle. La structure de données correspondante autorise l'association à un utilisateur ou à un agent du système, un profil permettant de définir son rôle au sein de l'organisation virtuelle, mais aussi un ensemble de paramètres destinés à adapter le fonctionnement des services et des plans. Elle est constituée d'une classe *Profil* qui désigne l'ensemble des informations caractérisant un utilisateur ou un agent au sein du système. Pour cela, elle contient un ensemble d'instances de la classe *Variable* définie précédemment (cf. 4.1.4.1). Les relations hiérarchiques entre les utilisateurs ou les agents sont définies à l'aide d'une hiérarchie de classes centrée sur les classes *Organisation* et *Entité*. La classe *Organisation* permet de caractériser le profil commun d'un ensemble d'individus ou d'agents, cette classe est récursive pour permettre de représenter différents niveaux de hiérarchie. Le classe *Entité* permet de définir un profil spécifique à une entité, qui peut être soit un individu, soit un agent (cf. Figure 4.25).

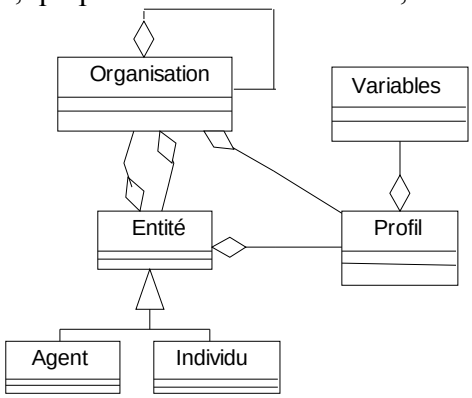


Figure 4.25 Hiérarchie de classes de représentation du profil des utilisateurs. Cette structure de données permet de représenter l'ensemble des informations qui vont permettre de gérer les mécanismes d'accès aux services et aux plans du système d'intermédiation en fonction des utilisateurs.

Le second type d'information correspond aux caractéristiques des traitements (plans ou services) du système. La structure de données correspondante permet d'associer à un traitement du système un ensemble de critères. Ceux-ci ont pour finalité de définir les caractéristiques devant être remplies par les entités ayant la permission d'accéder au traitement. Elle repose sur la classe *Traitement* qui permet de caractériser le traitement concerné et sur le réseau de classes permettant de définir une expression conditionnelle (cf. Figure 4.26).

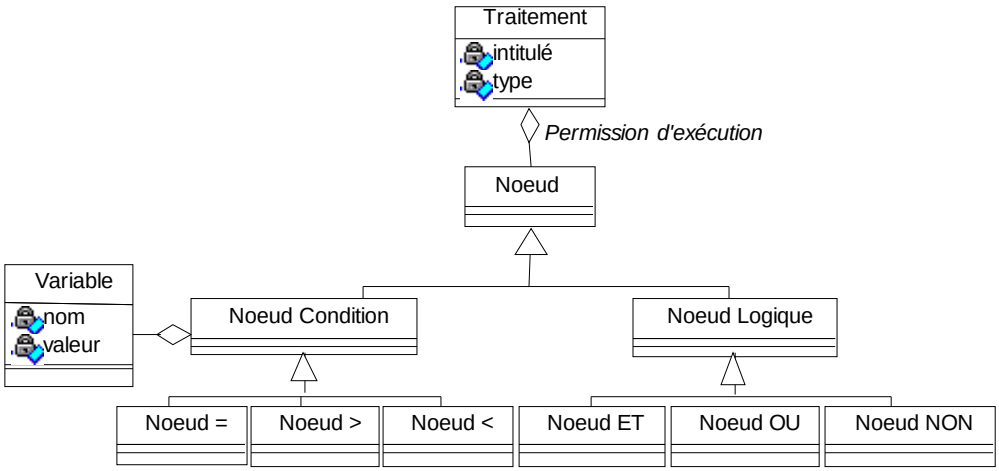


Figure 4.26 Hiérarchie de classes de représentation des caractéristiques d'un traitement. Cette structure de données permet de représenter l'information caractérisant les conditions devant être remplies pour autoriser un utilisateur à accéder au service ou au plan.

Les structures de données de représentation des profils des utilisateurs, des agents et de définition des propriétés permettent le développement d'un ensemble de Services qui autorisent la mise en œuvre les fonctionnalités d'autorisation d'accès aux traitements du système.

Le principal service indique si une entité (utilisateur ou agent) a l'autorisation ou non d'exécuter un traitement (service ou plan). Le traitement correspondant identifie l'ensemble des variables caractérisant l'entité, c'est-à-dire celles qui lui sont directement associées mais aussi celles de l'ensemble des organisations auxquelles elle appartient. Puis, un traitement vérifie si cette liste satisfait ou non les expressions de permission d'exécution du traitement et transmet la réponse au traitement ayant sollicité le service.

D'autres services permettent d'éditer et de modifier les profils des entités et des organisations ainsi que les permissions d'exécution d'un traitement.

4.4.2 L'agent de gestion des sauvegardes

L'objectif de l'agent de gestion des sauvegardes est de permettre l'enregistrement et le suivi des résultats de l'exécution des traitements effectués par un utilisateur (diagnostic, émission d'une requête, …). En effet, un service ou un plan peut être utilisé, sous réserve d'autorisation, par l'ensemble des utilisateurs du système. La sauvegarde des résultats des traitements nécessite de prendre en compte l'identité de l'utilisateur, mécanisme qui est rarement prévu nativement par les systèmes technologiques reliés au système d'intermédiation.

Le fonctionnement des services de l'agent repose sur une structure de données composée des éléments suivants :

- L'entité ayant effectuée le traitement. Il peut s'agir de l'identifiant d'un utilisateur, d'une organisation ou d'un agent.
- Le traitement effectué. Il s'agit de l'identifiant du service ou du plan dont les résultats sont sauvegardés.
- Les conditions d'exécution. Il s'agit des valeurs des paramètres transmis au traitement pour l'exécution.

- La date de l'exécution. Il s'agit des informations permettant de dater l'exécution du traitement.

- Les résultats. Il s'agit de la valeur des résultats de l'exécution du traitement.

A partir de ces informations, l'agent propose trois services :

- Service de Sauvegarde. Ce service sauvegarde une instance de résultat de l'exécution d'un traitement. Les valeurs des différentes caractéristiques définissant l'enregistrement sont transmises en paramètres du service.

- Service d'accès à un résultat. Ce service permet d'accéder au résultat de l'exécution d'un traitement. Les valeurs des informations concernant l'entité, le traitement et la date d'enregistrement doivent être transmises au service.

- Service d'accès à l'ensemble des résultats d'un traitement. Ce service récupère l'ensemble des résultats de l'exécution d'un traitement par la même entité, ordonnés chronologiquement.

4.4.3 L'agent de supervision du système

L'objectif de l'agent de gestion de la supervision du système est d'assurer une surveillance du système et de détecter la survenue d'une perturbation pouvant altérer le fonctionnement des mécanismes d'intermédiation (défaillance d'un agent, rupture d'une liaison avec un système technologique, dysfonctionnement d'un système technologique, …).

Les processus de vérification portent sur trois types facteurs :

- L'activité des agents. Le processus de contrôle vérifie si les agents du système sont tous actifs afin de détecter une défaillance d'un des agents du système.

- La cohérence des croyances. Le processus de contrôle interroge les agents sur leurs croyances concernant l'environnement du système pour détecter d'éventuelles incohérences.

- La disponibilité des services et des plans d'un agent. Le processus de contrôle récupère les informations sur la disponibilité des traitements présents dans le système afin d'identifier les dysfonctionnements potentiels des systèmes technologiques.

L'agent de supervision du système possède un service pour les trois processus de surveillance. Par ailleurs, il offre un plan permettant de construire une interface de contrôle du système d'intermédiation, accessible à partir d'un serveur HTTP, qui permet de surveiller le fonctionnement du système et d'être informé d'un dysfonctionnement.

L'interface de contrôle du système d'intermédiation procure une information sur l'état d'activité des agents du système (actif ou inactif) et sur la disponibilité de leurs services et plans (disponible, indisponible). Par ailleurs, elle permet de visualiser les variables composant l'environnement des agents (cf. Figure 4.27).

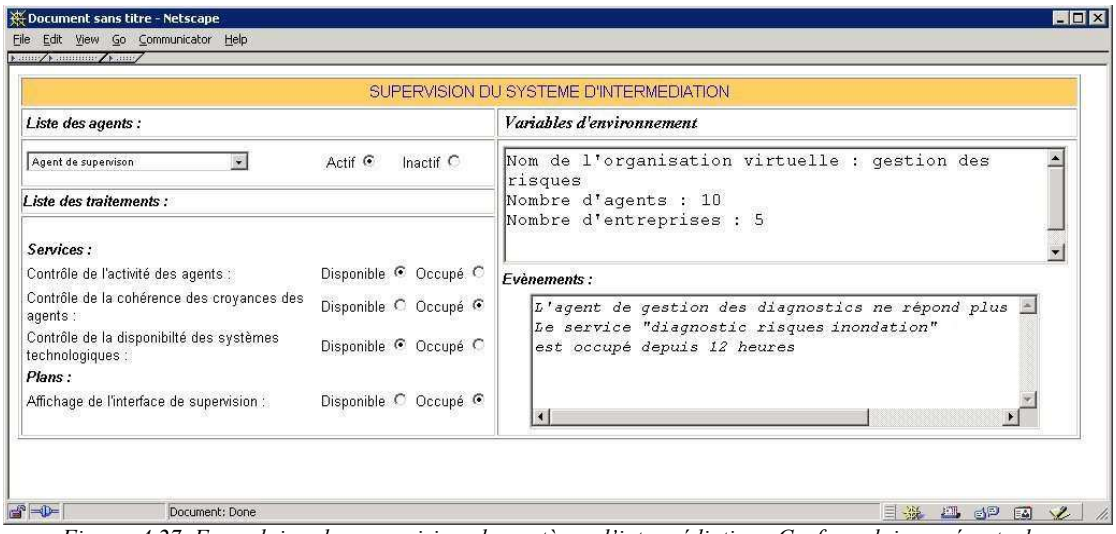


Figure 4.27 Formulaire de supervision du système d'intermédiation. Ce formulaire présente le tableau de bord de gestion du système d'intermédiation associé à l'agent de supervision qui permet de visualiser les informations relatives au fonctionnement du système d'intermédiation.

4.5 Conclusion du chapitre 4

L'objectif de ce chapitre était de présenter l'architecture informatique d'un système d'intermédiation électronique dont le développement repose sur la plate-forme multi-agents JADE. Cette architecture étant nécessaire pour mettre en œuvre un prototype d'organisation virtuelle de gestion des risques dans les PME-PMI.

Dans un premier temps, l'architecture réalisée pour étendre les fonctionnalités de la plate-forme JADE a été présentée. Elle permet l'échange d'information entre un agent JADE et des bases de données, des serveurs HTTP et des codes de calculs. Le dispositif obtenu sert de support pour le développement des mécanismes d'intermédiation. Dans un deuxième temps, les structures de données et les mécanismes permettant de mettre en œuvre les mécanismes d'intermédiation ont été décrites, c'est-à-dire les traitements de gestion des services et des plans. Dans un troisième temps, les agents chargés de mener à bien les fonctions de gestion des contraintes ont été détaillés, c'est-à-dire la gestion des autorisations d'accès à des services, la gestion de la sauvegarde des résultats des traitements effectués et la supervision du système.

Ce modèle d'agent complète les fonctionnalités offertes par la plate-forme JADE en fournissant un dispositif de communication entre un agent et une base de donnée, un serveur HTTP ou bien un code de calcul. Il offre également avec la notion de *Service*, des moyens de gestion de traitements associés aux logiciels avec qui il peut communiquer et avec la notion de *Plan* des mécanismes d'exécution de fonctionnalités nécessitant l'exécution de plusieurs *Services* présents dans le système multi-agents.

La réalisation et la mise en relation de ce système d'intermédiation électronique avec des systèmes technologiques fournissant des traitements dédiés à la gestion des risques va permettre de déployer l'organisation virtuelle de gestion des risques.

Chapitre 5
Un prototype d'organisation virtuelle de prévention des risques dédiée aux PME-PMI

«Le problème est désormais de transformer la découverte de la complexité en méthode de la complexité »

Edgar Morin, 1977, La Méthode tome 1

La finalité de la thèse est de proposer une organisation virtuelle pour résoudre la problématique de la gestion des risques professionnels au sein des PME-PMI. La conception d'un système d'intermédiation à l'aide d'une approche orientée agent constitue la première étape du processus de construction d'un prototype d'organisation virtuelle. La seconde étape consiste à identifier les acteurs et les systèmes technologiques qui vont fournir les interactions de gestion des risques attendues.

L'objectif de ce chapitre est de présenter les caractéristiques d'un prototype d'organisation virtuelle de gestion des risques reposant sur les besoins identifiés lors de l'étape d'analyse des connaissances concernant le domaine de la gestion des risques professionnels et le fonctionnement des PME-PMI (cf. chapitre 1) et sur les modèles d'organisations virtuelles identifiés précédemment (cf. §2.2 et §2.3).

La première partie du chapitre présente les objectifs du prototype d'organisation virtuelle de gestion des risques proposés. La deuxième partie décrit les différents systèmes technologiques qui vont être reliés au système d'intermédiation électronique et la troisième partie illustre, à l'aide d'un exemple d'application le fonctionnement de ce système et son apport à la problématique de la gestion des risques au sein des PME-PMI.

5.1 Un modèle d'organisation virtuelle de gestion des risques à destination des PME-PMI

L'analyse effectuée précédemment (cf. §2) a permis de caractériser les acteurs et les systèmes technologiques nécessaires pour mettre en œuvre une organisation virtuelle dont la finalité serait de sensibiliser les PME-PMI aux pratiques de prévention et de gestion des risques professionnels. L'objectif de cette section est de détailler les caractéristiques d'un prototype d'organisation virtuelle. Après avoir présenté ces objectifs, une démarche d'identification du rôle des acteurs et des traitements devant être fournis par les systèmes technologiques est décrite.

5.1.1 Les objectifs du prototype d'organisation virtuelle de gestion des risques

L'ensemble des finalités d'une organisation virtuelle de gestion des risques à destination des PME-PMI a été identifié précédemment (cf. §2.2.2.3) elles sont rappelées pour mémoire :

- La sensibilisation des acteurs des PME-PMI à la nécessité de mener une politique de prévention et de gestion des risques professionnels.
- Le diagnostic et la supervision des risques internes à l'entreprise.
- Le diagnostic et la supervision des risques liés à l'environnement économique et territorial de l'entreprise.

Le processus de réalisation d'un prototype d'organisation virtuelle prend en considération les objectifs de sensibilisation des acteurs des PME-PMI à la nécessité de gérer les risques professionnels ainsi que les traitements de diagnostic et de gestion des risques internes à l'entreprise (défaillance des moyens de production, défaillance des produits, accidents, etc.). La gestion des risques externes (inondation, explosion dans une entreprise voisine, etc.) à l'entreprise ne sont pas pris en compte dans ce qui suit.

Les mécanismes de sensibilisation reposent sur des processus d'échange d'informations entre les acteurs des PME-PMI (chefs d'entreprises, responsable de la production, responsable de la conception, …) et ceux du domaine de la gestion des risques professionnels (inspecteur du travail, inspecteur CRAM, expert INRS ….). Les traitements de gestion des risques internes à l'entreprise requièrent le développement d'outils d'identification et de correction des potentielles sources de défaillances, de traitements de supervision des chaînes de production et des mécanismes de surveillance de l'utilisation correcte de l'organisation virtuelle.

La mise en œuvre de l'ensemble de ces traitements implique d'identifier précisément les fonctionnalités de l'organisation virtuelle et le rôle tenu par chacun des acteurs pour les mettre en œuvre.

5.1.2 Les traitements logiciels de l'organisation virtuelle de gestion des risques

L'accomplissement des objectifs de l'organisation virtuelle de gestion des risques professionnels à destination des PME-PMI repose sur des traitements qui doivent être fournis par les dispositifs technologiques constituant l'organisation virtuelle. Le prototype d'organisation virtuelle élaboré va reposer sur quatre types de traitements : les échanges d'expériences, les diagnostics, l'accès à des ressources documentaires et les alertes.

5.1.2.1 Les échanges d'expériences

Les échanges d'expériences entre les différents acteurs de l'organisation virtuelle ont pour objectif de permettre l'établissement d'échange d'informations entre les différents utilisateurs de l'organisation virtuelle et ainsi de progressivement construire une culture commune autour de la notion de gestion des risques. Ces traitements reposent sur des fonctionnalités de recherche, de consultation, d'ajout et de participation à des discussions dont la thématique est la gestion des risques professionnels dans les entreprises (utilisation de la méthode AMDEC, nouvelle réglementation, retour d'expérience suite à un incident ou un accident, etc.).

5.1.2.2 Les diagnostics

Les diagnostics fournissent à leurs utilisateurs le moyen d'effectuer un audit des différents dispositifs technologiques (poste, atelier, chaîne de production, etc.) de l'entreprise et de fournir en retour, de l'information sur les éventuels dysfonctionnements ou situations dangereuses et sur les démarches à mettre en œuvre pour les maîtriser.

Ces traitements reposent sur des outils de saisie de l'information décrivant le fonctionnement et les interactions entre les différents secteurs de l'entreprise (conception, production, maintenance, etc.) Mais aussi sur des processus de traitement de l'information acquise pour déterminer un ensemble de facteurs pouvant être critique pour l'entreprise ainsi que d'un cahier des charges des opérations à effectuer pour améliorer la gestion de la sécurité au sein de l'entreprise et diminuer ainsi sa vulnérabilité.

5.1.2.3 L'accès à des ressources documentaires

L'accès à des ressources documentaires vise à permettre aux utilisateurs de rechercher de l'information sur des documents de tout format relatifs à la gestion des risques (guide méthodologique d'utilisation de méthodes d'analyse des risques, cas d'applications, nouvelle législation, etc.). Les acteurs du système doivent être en mesure de procéder à une recherche suivant différents critères et de visualiser l'information leur permettant d'accéder aux documents recherchés.

Les utilisateurs doivent pouvoir, sous réserve d'autorisation, ajouter des références sur d'autres documents ou bien modifier les informations concernant les documents de la base documentaire. Des mécanismes de gestion d'un espace contenant les ressources documentaires propres à chaque utilisateur doivent être prévues.

5.1.2.4 La gestion d'alertes

La gestion d'alertes vise à prévenir les utilisateurs de la survenue d'un événement susceptible de les intéresser. Il peut s'agir de la détection d'un dysfonctionnement au sein d'un des processus de l'entreprise (panne, incident, accident), de l'ajout d'une ressource documentaire ou bien d'une réponse donnée à une question posée à l'aide du système d'échange d'expérience.

Ces fonctionnalités reposent sur des mécanismes qui consistent à réaliser lors de la survenue d'un événement un processus de recherche dont le but est de déterminer s'il faut ou non prévenir un ou plusieurs utilisateurs du système. Si l'information doit être transmise, un mécanisme de communication est déclenché entre le dispositif de gestion des alertes et l'interface d'interaction du ou des utilisateurs concernés.

5.1.2.5 Les traitements de supervision

Les traitements de supervision ont pour finalité d'identifier les défaillances survenant dans le fonctionnement de l'entreprise. La supervision repose sur un processus d'acquisition d'un ensemble d'indicateurs et leur comparaison avec les valeurs idéales souhaitées. Si une défaillance est détectée (taux d'erreurs supérieur à la normal, panne d'un moyen de production …), un message d'alerte est généré : celui-ci contient l'information sur la défaillance mais aussi un ensemble de propositions de solutions pour la gérer.

L'accomplissement des objectifs de l'organisation virtuelle de gestion des risques repose sur l'utilisation des traitements logiciels par les utilisateurs qui constitue le dispositif. Chaque acteur ayant un rôle spécifique selon sa fonction au sein de l'organisation virtuelle, il est nécessaire d'identifier pour chaque catégorie d'acteur son rôle au sein de l'organisation virtuelle et les informations et les traitements auxquels il peut accéder.

5.1.3 Les acteurs de l'organisation virtuelle et leurs rôles

Le fonctionnement de l'organisation virtuelle de gestion des risques repose sur un ensemble d'acteurs du monde des PME-PMI et de la gestion des risques. La satisfaction des objectifs du prototype d'organisation virtuelle proposé repose sur trois catégories d'acteurs différents : les chefs d'entreprises, les responsables d'une fonction de l'entreprise et les experts de la prévention des risques professionnels (inspecteurs CRAM, inspecteurs du travail, médecin du travail, chercheurs INRS…) (cf. 1.2.1). L'ensemble des rôles tenu par un acteur conditionne son accès à l'information et aux traitements de l'organisation virtuelle. La construction de l'organisation virtuelle nécessite donc de caractériser les données et les fonctionnalités indispensables à l'accomplissement de leur tâche. Cette information va permettre la réalisation d'un profil relatif à chaque type d'utilisateurs qui va conditionner la création de son espace de travail. Dans la suite de cette section, les profils relatifs aux trois types d'acteurs du prototype d'organisation virtuelle sont décrits.

5.1.3.1 Le profil des chefs d'entreprises

Le chef d'entreprise est l'acteur central de l'entreprise (cf. §1.1.2), il est responsable de l'ensemble des prises de décisions concernant la gestion interne et le positionnement stratégique de l'entreprise. Pour cela il doit avoir accès à l'information relative à la vulnérabilité des différents secteurs de son entreprise et celle portant sur les démarches à conduire pour prévenir la survenue d'un dysfonctionnement. Par ailleurs, il doit être informé de la survenue d'un événement susceptible à altérer l'activitée de l'entreprise.

Le profil associé au chef d'entreprise permet d'accéder à un ensemble d'information concernant :

- Les réponses non lues aux questions posées par l'entrepreneur par l'intermédiaire du dispositif d'échange d'information (cf. 5.1.2.1).
- Les dernières opérations de diagnostic effectuées par l'entrepreneur et ses collaborateurs. Il s'agit de leur date de réalisation, du plan d'action généré et de la date d'échéance de l'action de correction en cours (cf. §5.1.2.2).
- Les dernières fiches de description de ressources documentaires consultées et celles ajoutées dans la base documentaire et correspondant aux centres d'intérêt de l'entrepreneur (cf. 5.1.2.3).
- Les informations décrivant les événements survenus et pouvant perturber l'activité de l'entreprise (cf. §5.1.2.4).

Par ailleurs, le profil de chef d'entreprise permet l'accès à l'ensemble des fonctionnalités offertes par l'organisation virtuelle :

- Les diagnostics sont totalement accessibles au chef d'entreprise, c'est-à-dire les différents dispositifs d'acquisition de l'information, des résultats et de leur évolution.
- L'ensemble des différentes discussions du système d'échange d'expérience.
- L'ensemble des fiches descriptives des ressources documentaires.

L'accomplissement des processus de l'organisation virtuelle de gestion des risques repose sur les chefs d'entreprise mais aussi sur ses collaborateurs responsables des différentes fonctions de l'entreprise.

5.1.3.2 Le profil des responsables de fonction

Les responsables des fonctions de l'entreprise (conception, production, atelier, …) sont chargés de suivre leur secteur d'activité en procédant régulièrement ou après la demande du chef d'entreprise à son diagnostic et à l'accomplissement et au suivi des plans de corrections.

Le profil des responsables de fonction propose des mécanismes similaires à celui des chefs d'entreprises si ce n'est que les informations et les traitements accessibles concernent uniquement le domaine d'activité de l'utilisateur. Ainsi, le responsable de la conception d'une entreprise aura accès aux traitements de diagnostic, d'échange d'information et de consultation des ressources documentaires reliées aux fonctions de conception.

5.1.3.3 Le profil des experts de la gestion des risques

Les experts de la gestion des risques désignent les acteurs appartenant à des institutions ou des entreprises qui œuvrent dans le domaine de la gestion des risques. Le rôle des experts au sein de l'organisation virtuelle consiste à vérifier la cohérence et la pertinence de l'information échangée mais aussi à informer de la survenue d'un changement de la législation, de la parution d'une nouvelle norme ou bien du développement d'une nouvelle méthode d'analyse des risques.

Le profil associé aux experts leur permet d'accéder aux fonctionnalités d'échange d'informations pour compléter les discussions à l'aide de leur expertise. Ils peuvent également accéder aux résultats des diagnostics effectués sous réserve de posséder l'autorisation de l'entrepreneur.

L'analyse menée dans cette section a permis l'identification des objectifs, des traitements et des profils des acteurs d'un prototype d'organisation virtuelle de gestion des risques. A présent il s'agit de présenter les différents systèmes technologiques fournissant les traitements identifiés qui vont être reliés au système d'intermédiation électronique.

5.2 Les systèmes technologiques du prototype d'organisation virtuelle

Les systèmes technologiques qui vont être reliés au système d'intermédiation électronique doivent proposer des traitements d'échange d'information, de diagnostic, d'accès à des ressources documentaires, de gestion des alertes et de supervision. Dans le

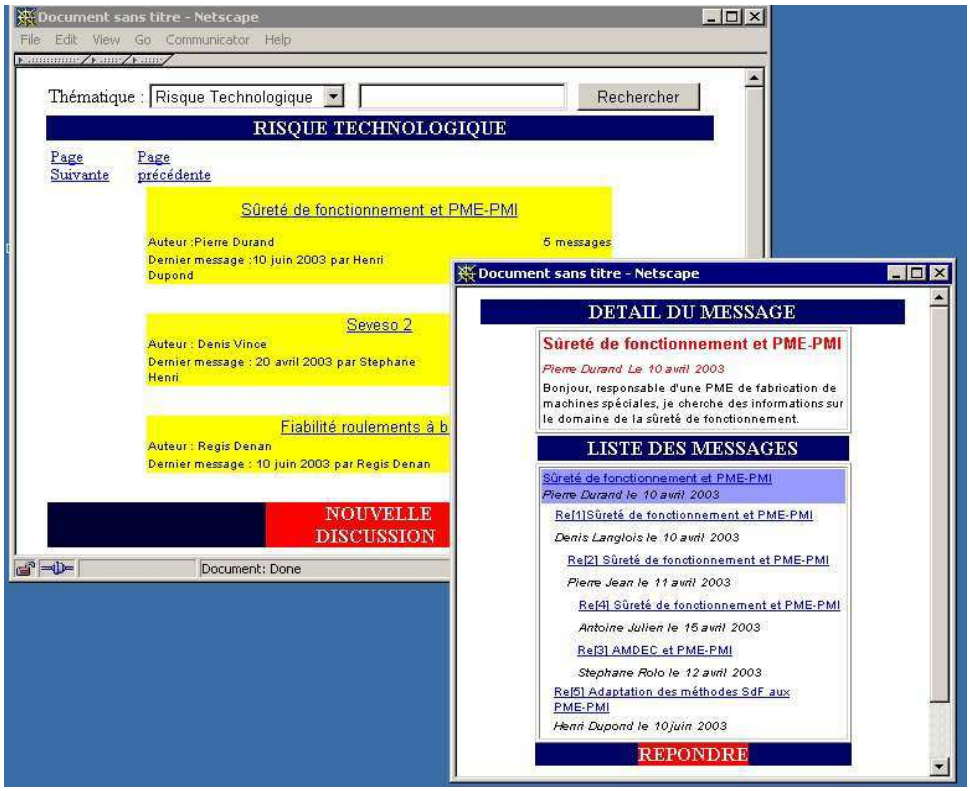
cadre de cette thèse, un ensemble de logiciels a été mis en œuvre en partenariat avec le CETIM, la DRIRE PACA, la région PACA et le MINEFI, ils sont décrits dans cette section. Une application d'échange d'informations est d'abord présentée. Puis, un logiciel d'auto-diagnostic des défaillances des produits et des moyens de production est décrit. Le processus de création d'un logiciel d'analyse des risques et de supervision d'une chaîne de production de pièces mécaniques (cf. 2.3.3.1) reposant sur la démarche présentée précédemment (cf. 3.3.2) est ensuite détaillé. En dernier lieu, un système de gestion de ressources documentaires est illustré.

5.2.1 Un dispositif d'échange d'information

Le système d'échange d'information développé vise à permettre à différents individus d'échanger de l'information sur des problématiques ou des sujets communs. Le système fournit des fonctionnalités permettant de créer une discussion sur un sujet, de visualiser les différents messages échangés autour de cette problématique, de participer à la discussion en envoyant un message et de rechercher une discussion ou un message traitant d'un sujet particulier.

Une discussion est caractérisée par la thématique de la discussion, un message introductif contenant la problématique initiale et la liste des différents messages de réponses hiérarchisés selon la date d'émission. Un message est composé d'un contenu, de son auteur, de la date d'émission et du message auquel il succède dans la discussion. L'interface graphique d'interaction avec le système d'échange d'information permet d'accéder à l'ensemble des discussions d'une thématique, à l'ensemble des messages d'une discussion. Mais aussi d'ajouter un message ou bien de rechercher un message à l'aide d'un ensemble de mots clés (cf. Figure 5.1).

Le logiciel d'échange d'information présenté offre les mécanismes correspondant aux solutions identifiées pour permettre une sensibilisation des différents acteurs des PME-PMI à la gestion des risques (cf §1.1.3). La création d'une culture des risques au sein des PME-PMI repose sur l'échange et le partage d'information. Dans le but de faciliter le partage d'information, un logiciel de gestion de ressources documentaires est aussi proposé.



5.2.2 Un système d'information de gestion de ressources documentaires

Le système d'information de gestion de ressources documentaires a pour finalité de permettre la gestion d'un ensemble d'informations décrivant des ressources documentaires. Ce système offre trois fonctionnalités :

- La recherche et la consultation des informations décrivant un document
- L'ajout d'information décrivant un document
- La modification des informations d'un document

La démarche menée pour décrire le fonctionnement du système de gestion de ressources documentaires, les informations caractérisant une ressource sont tout d'abord décrites, puis les fonctionnalités proposées par le système sont illustrées.

5.2.2.1 Un modèle de description de ressources documentaires

Les informations manipulées par le système visent à décrire différents types de ressources documentaires. Des documents papiers (ouvrages, revues, articles, etc.), des documents numériques (vidéos, bandes son, documents informatiques, sites Internet, etc.) ou bien des documents multimédias (CDROM, DVD, etc.). Pour permettre de décrire ces différents formats de document un modèle constitué de trois types d'information est utilisé :

- Les informations concernant les éléments indépendants de la nature du document. Ces informations sont : le titre, l'auteur, l'année de publication et la langue du document, mais aussi le résumé du document et un ensemble de mots clés.

- Les informations spécifiques du format des documents. Les documents papiers sont décrits par leur nombre de pages et leur éditeur, les documents numériques par le document lui-même ou bien son URL et les documents multimédias par leur éditeur et leur durée.

- Les informations spécifiques au domaine d'utilisation du système d'information. Dans le cadre d'une utilisation dans le domaine de la gestion des risques il peut s'agir d'information sur le type de risque ou bien le domaine d'utilisation du document (prévention, gestion, ..).

Un document est représenté par une fiche composée des critères le décrivant (cf. Figure 5.2).

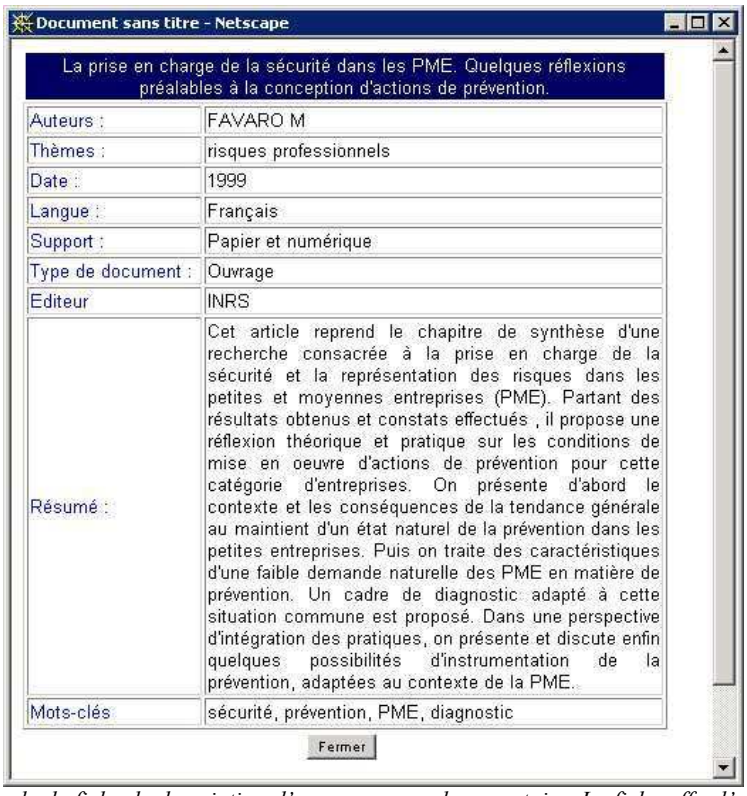


Figure 5.2 Exemple de fiche de description d'une ressource documentaire. La fiche offre l'ensemble des informations relatives à l'ouvrage décrit. Ce document étant accessible au format numérique, l'utilisateur a la possibilité de le visualiser intégralement.

La gestion de ces fiches de description de ressources documentaires repose sur des mécanismes de recherche, d'ajout et de modification du contenu des fiches.

5.2.2.2 Le processus de recherche de l'information

Le processus de recherche de l'information caractérisant un ou plusieurs documents repose sur un formulaire permettant l'interrogation de la base de données selon différentes stratégies. En effet, les traitements d'interrogation s'effectuent selon les informations saisies par l'utilisateur, ce qui permet de procéder à une recherche à partir de différents critères (titre, auteur, mots-clés, …) (Figure 5.3).



Figure 5.3 Formulaire de recherche de ressources documentaires. Ce formulaire permet à l'utilisateur de saisir les critères de recherche correspond aux documents qu'il souhaite trouver.

Au terme du processus de recherche, il est possible d'accéder à la liste des documents de la base de données correspondant aux critères de recherche.

En plus des fonctionnalités de recherche d'information, le logiciel possède des mécanismes d'ajout et de modification des fiches.

5.2.2.3 L'ajout et la modification de l'information

Le système propose des fonctionnalités permettant d'ajouter une nouvelle fiche ou de modifier les informations concernant une fiche déjà saisie.

L'ajout d'une fiche correspondant à une ressource s'effectue à l'aide d'une succession de formulaires permettant de saisir l'ensemble des informations correspondant au type de document.

Le processus de modification d'une fiche s'effectue en deux étapes : tout d'abord, la recherche de la fiche à l'aide des fonctionnalités de recherche puis la modification du ou des champs à l'aide d'un formulaire où les valeurs des différents champs sont modifiables.

Les logiciels d'échange d'informations et de gestion de ressources documentaires fournissent des traitements pouvant être utilisés comme solution à la sensibilisation des PME-PMI à la gestion des risques professionnels et à la construction d'une culture des risques. A présent, il s'agit de s'intéresser à une solution logicielle de diagnostic des PME-PMI.

5.2.3 Un système d'information de diagnostic des risques de défaillances des produits et des moyens de production

Le système d'information de diagnostic des risques a pour objectif de permettre aux différents acteurs de l'entreprise d'évaluer la vulnérabilité de l'entreprise vis-à-vis des défaillances des produits et des moyens de production. Ce logiciel repose sur une méthode développées conjointement avec le Centre d'Etude des Technologies de l'Industrie Mécanique (CETIM) [RIGAUD03a].

Cette méthode vise à permettre l'identification des dysfonctionnements potentiels pouvant survenir d'une part dans les processus d'analyse des besoins, de la conception et de l'industrialisation des produits et d'autre part dans les fonctions d'installation, d'utilisation et de maintenance des moyens de production. Elle repose sur trois logiques fonctionnelles :

- Des procédures de saisie de l'information concernant les priorités de l'entreprise et les différentes fonctions sur lesquelles portent le diagnostic.
- Une méthodologie d'évaluation des données saisies permettant de déterminer les points nécessitant la mise en œuvre d'opérations de correction.
- L'élaboration d'un document de synthèse contenant la description des différents facteurs de risques identifiés ainsi qu'un ensemble de propositions méthodologiques et technologiques visant à corriger ces potentielles sources de dysfonctionnement.

Dans la suite de cette section, chacune des fonctionnalités du système d'information de diagnostic des risques de défaillances des produits et des moyens de production sont présentées plus en détail.

5.2.3.1 L'acquisition de l'information

Le processus de diagnostic repose sur trois types d'information, celles définissant les objectifs du diagnostic, celles caractérisant les priorités ou les enjeux de l'entreprise dépendant de son activité, de ses clients et de ses fournisseurs et celles caractérisant le fonctionnement des différentes activités concernées par le diagnostic.

L'acquisition de ces différentes données s'effectue par l'intermédiaire de dix fiches : cinq pour le diagnostic des défaillances des moyens de productions (objectifs, enjeux, acquisition, exploitation et maintenance) et cinq pour le diagnostic des défaillances des produits (objectifs, enjeux, maîtrise des besoins, conception et industrialisation). Les fiches de saisie des objectifs du diagnostic permettent à l'utilisateur de spécifier les informations décrivant la finalité du diagnostic (entreprise, date, identité de la personne l'effectuant) ainsi que les éléments sur lesquels le diagnostic va porter (1 élément, 1 ensemble d'éléments ou l'ensemble des éléments de l'entreprise) (cf. Figure 5.4).

Les fiches de saisie des informations permettant de hiérarchiser les enjeux de l'entreprise vis-à-vis de la gestion des produits et des moyens de production sont constituées d'un formulaire présentant cinq critères correspondant aux principaux enjeux de chaque domaine diagnostiqué. Pour chaque critère, l'utilisateur a la possibilité d'indiquer le niveau de contrainte de l'entreprise selon trois niveaux *Impératif*, *Elevé* et *Faible* (cf. Figure 5.5).

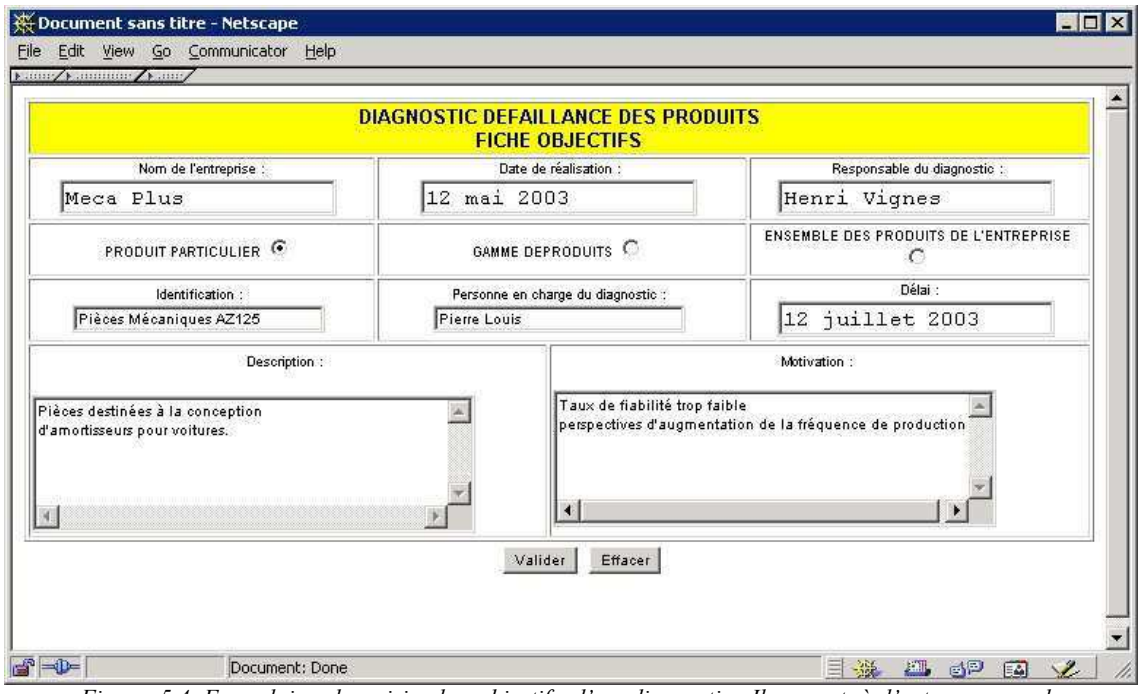


Figure 5.4 Formulaire de saisie des objectifs d'un diagnostic. Il permet à l'entrepreneur de renseigner les informations relatives aux objectifs et au mode opératoire du diagnostic.

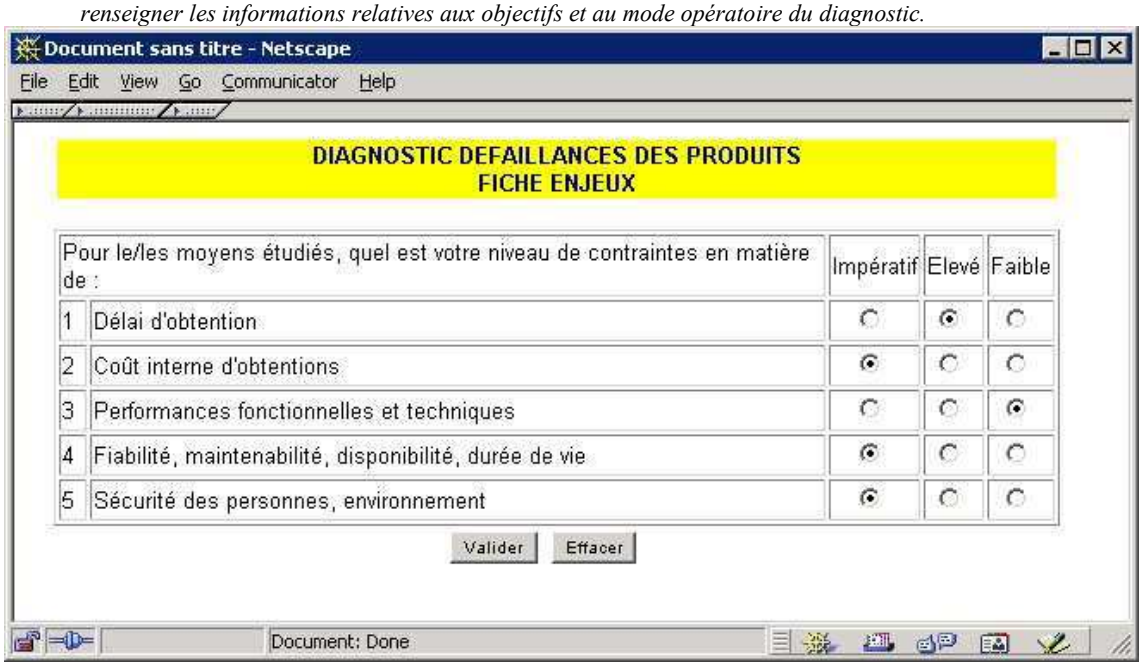


Figure 5.5 Formulaire de saisie des enjeux de l'entreprise. Il permet à l'entrepreneur de hiérarchiser les priorités du dispositif qui va être diagnostiqué.

Les fiches de saisie de l'information correspondant aux différentes fonctions de l'entreprise étudiées sont constituées d'un ensemble de questions pour lesquelles trois possibilités de réponses sont possibles : *Souvent*, *Parfois* ou *Jamais* (cf. Figure 5.6).

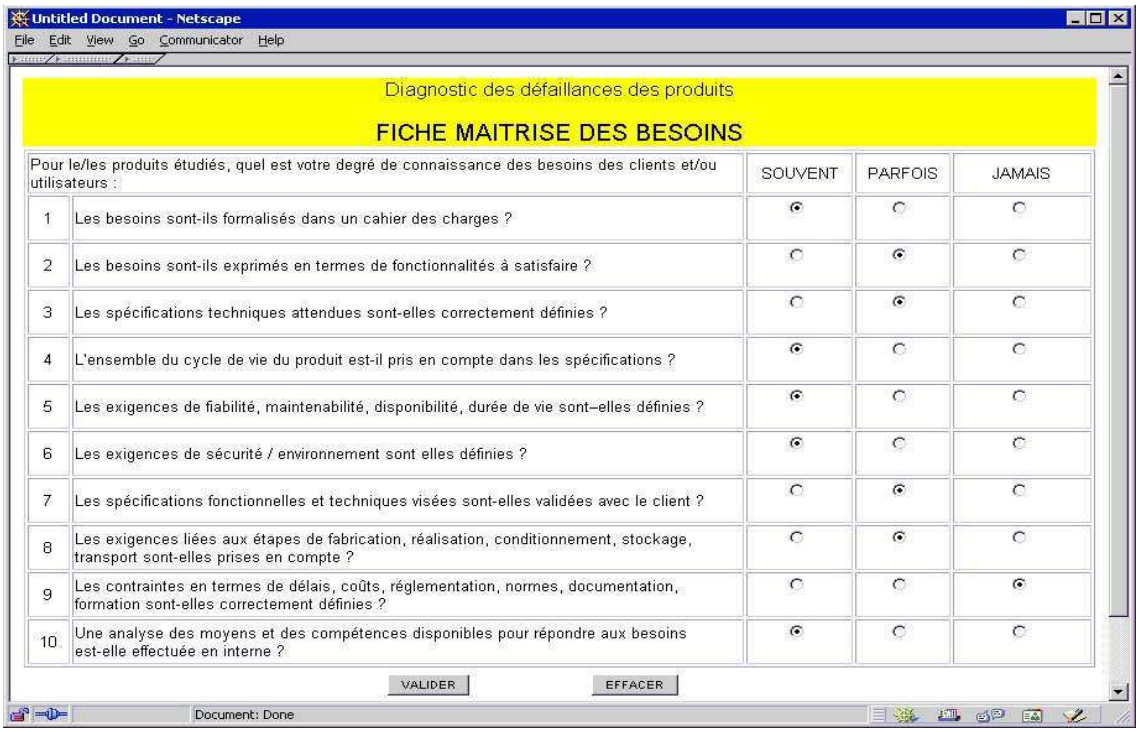


Figure 5.6 Formulaire de diagnostic de la maîtrise des besoins dans le processus de conception des produits de l'entreprise. Il contient les questions permettant l'identification de potentielles sources de défaillances dans le processus d'analyse des besoins d'un produit.

Lorsque l'utilisateur a répondu aux différentes questions des fiches d'enjeux et de diagnostic, le processus d'analyse de l'information et de génération des résultats peut être amorcé.

5.2.3.2 Le traitement de l'information et la génération des résultats

Le processus de traitement de l'information saisie consiste à croiser les réponses données aux différentes questions des fiches de diagnostic avec celles des fiches d'enjeux. En effet à chaque question des fiches de diagnostic correspond un type de risque pouvant affecter un ou plusieurs des critères d'enjeux de l'entreprise.

Les fonctionnalités de traitement de l'information consistent donc à identifier les différents risques potentiels pouvant survenir et à les hiérarchiser en les classifiant en deux catégories : les risques prioritaires et les risques secondaires. Un risque est qualifié de prioritaire si le traitement correspondant au risque est *Parfois* ou *Jamais* accompli et un des enjeux potentiellement touché est *Impératif* pour l'entreprise. Un risque est qualifié de secondaire si le traitement correspondant n'est *Jamais* accompli et que l'un des enjeux potentiellement touché est *Elevé* pour l'entreprise.

A l'issu du traitement de l'ensemble des informations constituant le diagnostic, un plan d'action est généré contenant les résultats de la hiérarchisation des risques identifiés et les liens vers des documents permettant de les caractériser et de les corriger.

5.2.3.3 L'exploitation des résultats du diagnostic

Le processus de diagnostic génère une première version d'un plan d'action contenant les différents risques hiérarchisés selon s'ils sont prioritaires ou secondaire, un lien vers une fiche descriptive du risque, d'une proposition visant à corriger le risque et des liens vers des méthodes d'analyse des risques (AMDEC, APR, …) pouvant être utilisées. L'utilisateur a la possibilité de compléter ce plan d'action en modifiant l'ordre des

différentes actions à mener et en ajoutant des commentaires destinés à faciliter la mise en œuvre du plan (cf. figure 5.7).



Figure 5.7 Exemple de plan d'actions généré par le système de diagnostic. Le document généré contient l'ensemble des actions que doit mettre en œuvre l'entreprise pour diminuer sa vulnérabilité aux défaillances produits. L'utilisateur a la possibilité de modifier la hiérarchie des tâches à effectuer et d'ajouter un complément d'information (personne en charge des corrections, délais, coûts ...)

Les traitements offerts par le logiciel de diagnostic permet de procéder à des diagnostics des produits et des moyens de production d'une entreprise. C'est une proposition de solution aux besoins en matière de diagnostic de l'organisation virtuelle de gestion des risques. Il est nécessaire à présent d'étudier des solutions logicielles pour mettre en œuvre les mécanismes de gestion des défaillances et de supervision.

5.2.4 Un logiciel d'analyse des risque d'une chaîne de production

Le logiciel d'analyse des risques d'une chaîne de production de composants technologiques repose sur l'application de la méthode de construction présentée précédemment (cf. 3.3.2) sur la chaîne de production de composants de l'entreprise décrite dans le premier chapitre (cf. 2.3.3.1) [RIGAUD03b]. Après avoir présenté le dispositif étudié, les résultats de la réalisation des différentes étapes de la méthode seront illustrés.

Le dispositif étudié est une chaîne de contrôle de la conformité de pièces mécaniques issus de la chaîne de production de l'entreprise « MECA PLUS » (cf. Figure 2.7). Il est constitué de sept composants. Un bol vibreur permet d'ordonner les différents composants et de les positionner sur un plan incliné. Ces composants sont ensuite acheminer par un tapis roulant où un capteur va déterminer si les composants sont conformes ou non aux attentes. Les composants valides seront entreposés dans un

réceptacle, les autres seront retirés par un bras mécanique qui les transportera dans une corbeille (cf. Figure 5.8).

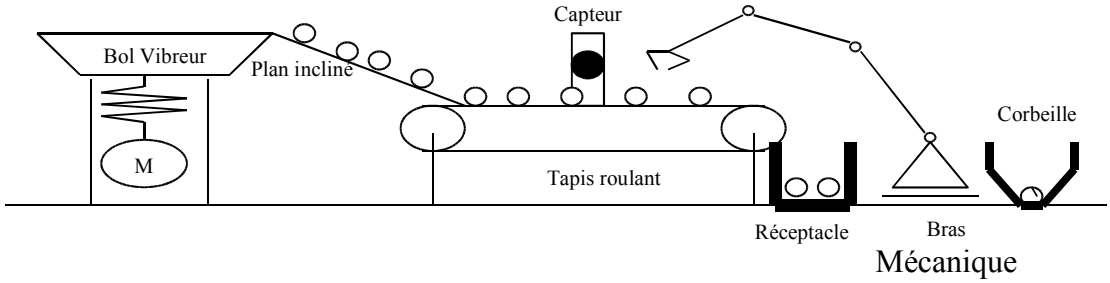


Figure 5.8 Le dispositif de contrôle des pièces mécaniques. Celui-ci a pour objet de trier des composants mécaniques. Les composants défectueux, détectés par un capteur, sont acheminés vers une corbeille par l'intermédiaire d'un tapis roulant.

La réalisation du logiciel d'analyse des risques liés à ce dispositif repose sur l'accomplissement des démarches de modélisation, d'analyse des risques et de transformation de leurs résultats en un système multi-agents. Par la suite, les étapes de construction d'un système multi-agents à partir de l'analyse systémique sont présentées.

5.2.4.1 La modélisation du système de contrôle d'une chaîne de production

La première étape du processus de réalisation du logiciel d'analyse des risques consiste à procéder à la modélisation du dispositif de contrôle des composants mécaniques à l'aide du concept de système. Le résultat obtenu est constitué de systèmes correspondant aux composants du dispositif technologique (cf. Figure 5.9) :

- Le premier système vise à modéliser le fonctionnement du **bol vibreur**. La fonction de transfert consiste à générer un flux de pièces suivant une fréquence correspondant à la vitesse de rotation du bol. Il possède deux variables d'état : la vitesse de vibration du bol et l'état de fonctionnement (marche ou arrêt) ainsi qu'une variable de flux correspondant au nombre de pièces présentes dans le bol. Il est relié, par l'intermédiaire du flux de pièces mécaniques, au système de représentation du plan incliné.

- Le deuxième système vise à représenter le fonctionnement du **plan incliné**. La fonction de transfert consiste à transférer le flux de pièces entrant vers un flux de pièces sortant en fonction d'une vitesse dépendant de l'inclinaison du plan. Une variable d'état décrit l'inclinaison du plan et une variable de flux représente le nombre de pièces situées sur le plan. Un flux de pièces le relie au système de représentation du comportement du tapis roulant.

- Le troisième système a pour objectif de représenter le fonctionnement du **tapis roulant**. La fonction de transfert consiste à transporter le flux de pièces mécaniques de l'entrée du système vers les différentes sorties en fonction de la vitesse de fonctionnement du tapis et des flux d'information issus des systèmes de représentation du capteur et du bras mécanique. L'information caractérisant la pièce est transmise au système de représentation du capteur puis si le système bras mécanique ne transmet pas de message de récupération de la pièce, une information de transmission de pièce est envoyée au système réceptacle. Il possède deux variables d'état : la vitesse de fonctionnement du tapis et l'état de fonctionnement (marche ou arrêt) et une variable de flux, le nombre de pièces situées sur le tapis. Il est relié en sortie par un flux de pièces au système de représentation du comportement du capteur, du bras mécanique et du réceptacle et en entrée par un

flux de pièces avec le système de représentation du plan incliné et par un flux d'information avec le système bras mécanique.

- Le quatrième système correspond au fonctionnement du **capteur**. Sa fonction de transfert consiste à transformer le flux d'information relatif à l'état de pièces mécaniques en un signal d'action à destination du système de représentation du bras mécanique. Il possède deux variables d'états correspondant à son état de marche (marche ou arrêt) et à sa précision et une variable de flux correspondant à la pièce analysée. Il est relié par un flux d'information au système de représentation du bras mécanique.

- Le cinquième système permet de représenter le fonctionnement du **bras mécanique**. Sa fonction de transfert consiste à transformer le signal d'information de pièce défectueuse issu du système de gestion du capteur en un signal de saisie de pièces à destination du système tapis roulant en fonction de sa rapidité, puis dès lors qu'un flux de pièce à destination du système tapis roulant survient, de le transformer en un flux de pièces à destination du système corbeille. Il possède deux variables d'état, l'état de fonctionnement (marche / arrêt) et la vitesse de fonctionnement et une variable de flux, une pièce du système. Il est relié en entrée, à un flux d'information venant du système capteur et un flux de pièces venant du système tapis roulant. En sortie, il est connecté par un flux d'information au système tapis roulant et par un flux de pièces avec le système corbeille.

- Le sixième système correspond au fonctionnement du **réceptacle**. Il n'a pas de fonction de transfert puisque son rôle consiste à stoker les pièces. Il possède une variable d'état qui correspond à sa contenance et deux variables de flux : les pièces en bon état et les pièces endommagées. Il est relié en entrée au système tapis roulant par un flux de pièces.

- Le septième système a pour objectif de représenter le fonctionnement de la **corbeille**. Il n'a pas de fonction de transfert puisque son rôle est de stoker les pièces endommagées. Il possède une variable d'état qui correspond à sa contenance et deux variables de flux : les pièces en bon état et les pièces endommagées. Il est relié au système bras mécanique par un flux de pièces.

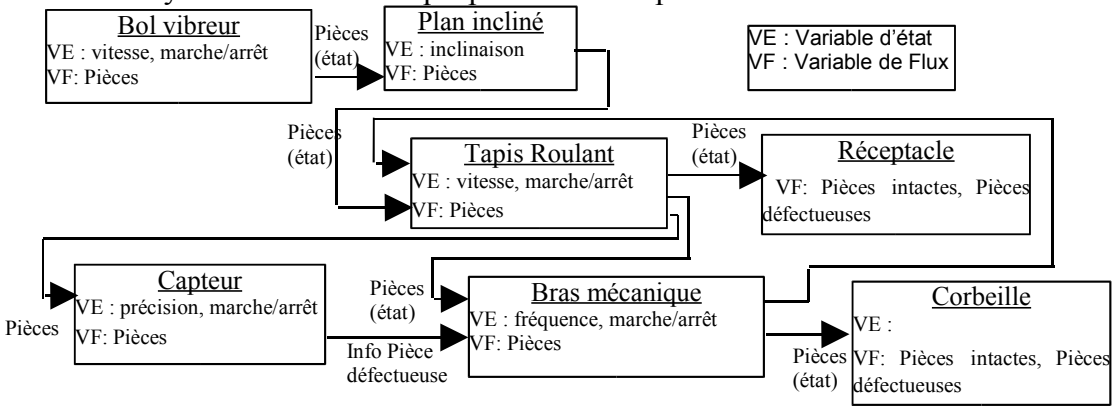


Figure 5.9 Le modèle du système de contrôle des pièces mécaniques. Un système a été associé à chaque composant du dispositif de tris de pièce mécaniques. Les flux d'information représente le cheminement des pièces mécaniques et des différents signaux générés (détection d'une anomalie, déclenchement du bras mécanique, etc.).

Le modèle conçu au terme de cette première étape propose les bases indispensables pour aborder la réalisation des autres étapes du système : l'analyse des défaillances des composants du système et la construction du logiciel d'analyse des risques.

5.2.4.2 « Agentification » du modèle de système d'une chaîne de production

La suite du processus consiste à identifier les caractéristiques des agents logiciels et les interfaces graphiques correspondantes. Dans un premier temps, les résultats obtenus après « l'agentification » du modèle de système de contrôle des pièces mécaniques sont présentés. Pour cela, les caractéristiques des sept agents associés aux différents systèmes identifiés sont décrites.

Le premier agent possède les caractéristiques et les fonctionnalités permettant de simuler le fonctionnement du **bol vibreur**. Son rôle est d'envoyer dans le système des messages correspondant aux pièces mécaniques avec une fréquence proportionnelle à la valeur de la variable de fréquence de rotation. La définition de la défectuosité de la pièce est assurée par un générateur aléatoire qui donne une valeur à la variable pièce. Les messages générés contiennent la valeur de la pièce et sont envoyés à destination de l'agent correspondant au plan incliné. L'interface graphique correspondant à cet agent permet de fixer le nombre de pièces initiales présentes dans le système, de déclencher le fonctionnement du bol vibreur et de visualiser le flux de messages générés.

Le deuxième agent permet de reproduire le fonctionnement du **plan incliné**. Son fonctionnement se déclenche à la réception d'un message en provenance de l'agent bol vibreur. Il génère un message au contenu identique à destination de l'agent en charge des mécanismes du tapis roulant après une temporisation proportionnelle à la valeur de la variable fixant l'angle d'inclinaison. L'interface graphique de cet agent permet de visualiser le flux de messages reçus et de générer ainsi que de modifier la valeur de l'inclinaison du plan.

Le troisième agent correspond aux mécanismes du **tapis roulant**. Son rôle est déclenché à la réception d'un message en provenance de l'agent plan incliné. Après une temporisation proportionnelle à la variable relative à la vitesse du tapis roulant, un message est généré contenant la valeur de l'état de la pièce à destination de l'agent de gestion du capteur. Puis, si aucun message n'est reçu en provenance de l'agent bras mécanique, un message est transmis au réceptacle. L'interface graphique permet de visualiser le flux de pièces présentes sur le tapis, de mettre en marche ou de stopper son fonctionnement ainsi que de modifier la vitesse du tapis.

Le quatrième agent reproduit les fonctionnalités du capteur. Celui-ci déclenche son comportement à la réception d'un message en provenance de l'agent tapis roulant. Si la valeur de la pièce correspond à une pièce endommagée, un message est transmis à l'agent bras mécanique. L'interface graphique permet de mettre en marche, d'arrêter le capteur et de fixer la précision du capteur ainsi que de visualiser l'état des pièces analysées par le capteur.

Le cinquième agent correspond au fonctionnement du **bras mécanique**. Son fonctionnement est déclenché à la réception d'un message en provenance de l'agent capteur. Il adresse un message à l'agent tapis roulant pour qu'il lui réponde avec l'information correspondant à la pièce endommagée. Puis, il transmet ce message à l'agent corbeille. L'interface graphique permet de déclencher ou d'arrêter son fonctionnement et de visualiser les pièces manipulées par le bras mécanique.

Le sixième agent désigne le **réceptacle**. Son rôle consiste à stocker les pièces reçues lors de la réception d'un message en provenance de l'agent tapis roulant. Il vérifie l'état de la pièce reçue et incrémente la variable correspondant à l'état de la pièce. L'interface graphique permet de visualiser les variables indiquant le nombre de pièces en bon état et défectueuses présentes dans le réceptacle.

Le septième agent désigne la **corbeille**. Son rôle consiste à stocker les pièces reçues lors de la réception d'un message en provenance de l'agent bras mécanique. Il vérifie l'état de la pièce reçue et incrémente la variable correspondant à l'état de la pièce. L'interface graphique permet de visualiser les variables indiquant le nombre de pièces défectueuses et en bon état présentes dans la corbeille.

Au terme de cette analyse, il est possible de programmer les différents agents et d'interagir avec eux à l'aide des fonctionnalités offertes par la plate-forme Madkit. Le logiciel d'analyse des risques se présente donc comme un ensemble d'interfaces graphiques correspondant aux différents agents. Celles-ci permettent de suivre et de modifier le comportement des agents, afin d'analyser le fonctionnement de la chaîne de contrôle des pièces mécaniques (cf. Figure 5.10).

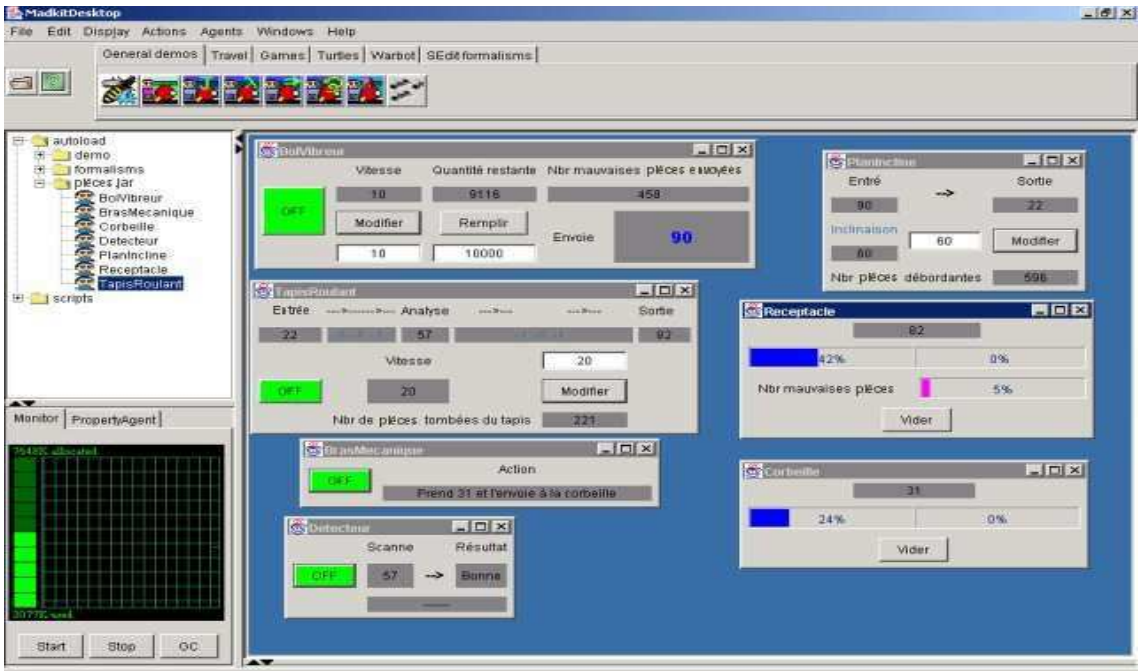


Figure 5.10 Aperçu du logiciel d'analyse des risques du dispositif de gestion de pièces mécaniques. L'interface permet de suivre l'évolution des variables des différents systèmes et de les modifier de sorte d'identifier les conséquences d'un événement tel qu'une panne de capteur ou l'accélération du tapis roulant.

Le logiciel d'analyse des risques d'une chaîne de production de composants mécaniques ainsi réalisé peut servir de support à la mise en œuvre d'une part, de processus d'aide à la gestion de la survenue d'une pertrbation grâce aux fonctionnalités d'analyse des conséquences de la survenue d'un dysfonctionnement et d'autre part servir de support pour la mise en œuvre des mécanismes de supervision.

Les logiciels présentés dans cette section sont des propositions visant à répondre aux besoins logiciels d'un prototype d'organisation virtuelle de gestion des risques à destination des PME-PMI. L'étape suivante consiste à relier ces différents dispositifs au système d'intermédiation électronique et ainsi à constituer la composante technologique d'une organisation virtuelle de gestion des risques à destination des PME-PMI.

5.3 La construction et l'utilisation du prototype d'organisation virtuelle de gestion des risques

L'organisation virtuelle de prévention des risques est le résultat de la mise en relation des logiciels présentés dans la section précédente par l'intermédiaire du système d'intermédiation électronique étudié dans le chapitre précédent. Ce processus nécessite de relier physiquement les bases de données et les processus de traitements à un agent d'intermédiation et de définir les *Services* et les *Plans* gérés par le système d'intermédiation. La finalité de cette section est de présenter l'architecture du prototype d'organisation virtuelle et d'illustrer son fonctionnement. Dans un premier temps, la structure physique de l'architecture technologique et les *Services* conceptualisés sont décrit, dans un deuxième temps, les *Plans* réalisés à partir de l'ensemble des fonctionnalités du système sont présentés, enfin un exemple d'utilisation est proposé dans le but d'appréhender l'intérêt de l'utilisation de ce dispositif.

5.3.1 La structure physique de l'organisation virtuelle

La structure physique de l'organisation virtuelle est constituée des logiciels chargés de fournir les traitements de sensibilisation, de diagnostic, de gestion des risques et d'interaction avec les utilisateurs et le système d'intermédiation électronique auquel ils doivent être reliés (cf. §5.2). L'établissement de cette liaison consiste à relier à chaque logiciel un agent d'intermédiation. Ainsi, l'organisation virtuelle de gestion des risques est composée de cinq agents en plus des agents de gestion de l'intermédiation (agent de gestion des autorisations d'accès, agent de gestion des sauvegardes et agent d'auto-contrôle) : l'agent de gestion des interactions avec les utilisateurs, l'agent de gestion des fonctionnalités de simulation et de supervision, l'agent de gestion des traitements de diagnostic, l'agent de gestion des ressources documentaires et l'agent de gestion des échanges d'information (Figure 5.11).

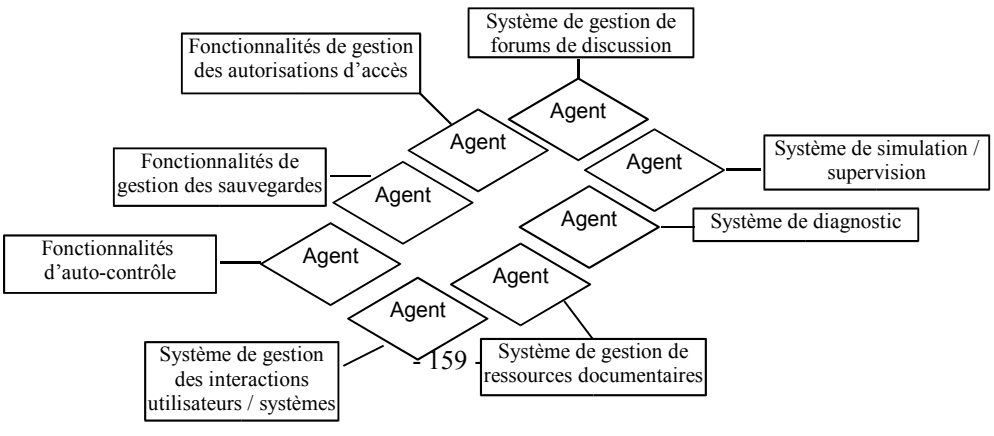


Figure 5.11 La structure physique du prototype d'organisation virtuelle de gestion des risques. Cette architecture est constituée des trois agents nécessaires au fonctionnement du système d'intermédiation (contrôle des autorisations d'accès, gestion des sauvegardes et auto-contrôle du système) et de cinq agents d'intermédiations reliés à chacun des logiciels qui constituent l'organisation virtuelle (cf. §5.2).

La gestion des traitements proposée par les systèmes technologiques repose sur les concepts de *Services* et de *Plans*. La mise en œuvre du prototype nécessite de définir, pour chaque agent, les *Services* correspondant aux fonctionnalités du système technologique auquel il est relié. Dans la suite de cette section, les *Services* associés à chaque agent sont présentés.

5.3.1.1 Les Services de l'agent de gestion des traitements d'échange d'informations

L'agent de gestion des traitements d'échange d'informations est relié à la base de données qui contient l'ensemble des sujets de discussion et des messages correspondants. Les *Services* de l'agent ont pour objectif de mettre à la disposition de l'organisation virtuelle les traitements de consultation et d'ajout de discussion et de messages. Pour cela sept S*ervices* sont identifiés :

- Le service **getThematique** permet d'accéder à l'ensemble des thématiques du forum.
- Le service **getDiscussion** indique l'ensemble des discussions concernant une thématique donnée.
- Le service **getMessages** retourne l'ensemble des messages composant une discussion.
- Le service **addThematique** permet d'ajouter une thématique au forum.
- Le service **addDiscussion** ajoute une discussion à une thématique.
- Le service **addMessage** permet d'ajouter un message à une discussion.
- Le service **rechercher** permet de rechercher une thématique, une discussion ou un message traitant d'un sujet particulier.

Par l'intermédiaire de cet agent, les fonctionnalités d'échanges d'informations sont accessibles par l'ensemble des agents qui constitue le système d'intermédiation. Par la suite, les *Services* associés à la gestion de ressources documentaires sont présentés.

5.3.1.2 Les Services de l'agent de gestion des ressources documentaires

L'agent associé aux traitements de gestion des ressources documentaires est relié à la base de données qui contient l'ensemble des informations descriptives des ressources documentaires (cf. 5.2.2). Les *Services* associés à cet agent doivent permettre d'accéder, d'ajouter et de modifier les informations de la base de données. Pour cela, trois services ont été identifiés :

- Le service **RechercheListeDocument** retourne l'identifiant et le titre de l'ensemble des documents correspondants aux caractéristiques passées en paramètre.

- Le service **FicheDocument** retourne la liste des éléments décrivant une ressource documentaire à partir de son identifiant.

- Le service **AjouteDocument** permet d'ajouter dans la base de données une fiche de description composée des caractéristiques données en paramètres.

L'agent de gestion des ressources documentaires met à la disposition de l'organisation virtuelle des traitements de consultation d'ajouts et de modification d'informations caractérisant des documents utiles à une meilleure gestion et compréhension des risques. Il s'agit à présent de présenter les *Services* associés à l'agent de gestion des traitements de diagnostic.

5.3.1.3 Les Services de l'agent de diagnostic

L'agent de gestion des traitements de diagnostic est relié au dispositif d'analyse de l'information qui sert de support aux diagnostics et aux bases de connaissances utilisés pour la génération des plans d'actions de correction (cf. 5.2.3). Les *Services* de cet agent doivent par conséquent permettre l'utilisation du moteur d'analyse et l'accès aux bases d'informations. A cette fin, trois *Services* ont été identifiés :

- Le service **getPlanAction** qui génère un plan d'action visant à réduire la vulnérabilité de l'entreprise en fonction des données correspondantes aux enjeux de l'entreprise et à l'évaluation d'un ou plusieurs secteurs de l'entreprise.

- Le service **getInfoRisque** renvoi, à partir d'un identifiant, une description d'un risque contenant sa caractérisation, son impact sur l'entreprise et une démarche de correction.

- Le service **getDescriptionMethode** retourne la description d'une méthode ou d'un outil destiné à améliorer le fonctionnement de l'entreprise.

Ces services permettent aux utilisateurs du système d'accéder aux fonctionnalités de diagnostic. A présent, les services associés à l'agent de gestion des traitements de supervision sont présentés.

5.3.1.4 Les Services de l'agent de supervision

L'agent de gestion des traitements de supervision est relié à la fois au logiciel d'analyse des risques (cf. 5.2.4) et à un dispositif d'acquisition des indicateurs du fonctionnement réel de la chaîne de production de l'entreprise. Les *Services* de cet agent doivent permettre d'accéder aux valeurs réelles et théoriques des indicateurs de surveillance du fonctionnement du dispositif supervisé, d'alerter les acteurs en charge de son suivi lors de la détection d'une perturbation et de les informer des conséquences de celle-ci. Pour cela, quatre *Services* sont identifiés :

- Le service **getValeurIndicateur** permet d'accéder à la mesure des indicateurs du dispositif supervisé.

- Le service **getValeurIndicateurTheorique** permet d'accéder à la valeur théorique des indicateurs du dispositif supervisé.

- Le service **getConséquences** permet de déterminer les conséquences directes et indirectes d'un événement survenant au sein du dispositif supervisé.

- Le service **compareIndicateur** permet de déclencher le processus de comparaison des valeurs réelles et théoriques des indicateurs afin d'identifier les éventuels dysfonctionnements.

Les *Services* des agents présentés permettent d'accéder à des traitements et à de l'information stockée dans des bases de données. A présent il s'agit de présenter les *Services* destinés à permettre l'interaction entre les utilisateurs et le système d'intermédiation.

5.3.1.5 Les Services de l'agent de gestion des interactions hommes/systèmes

L'agent de gestion des interactions entre les utilisateurs et les fonctionnalités du système d'intermédiation est relié à un serveur HTTP qui gère les interfaces graphiques correspondant aux différents traitements accessibles par l'intermédiaire du système d'intermédiation électronique. Les demandes d'accès aux *Services* des autres agents émaneront essentiellement de cet agent, néanmoins celui-ci doit permettre l'actualisation des informations affichées par les interfaces lors de la survenue d'un événement. Dans cette optique, deux *Services* sont proposés :

- Le *Service* **AfficheInformation** permet d'afficher un formulaire sur le bureau virtuel d'un utilisateur contenant l'information transmise en paramètre.

- Le *Service* **MAJInterface** a pour finalité de provoquer l'actualisation des informations affichées par les formulaires d'interactions.

L'ensemble des *Services* gérés par les agents qui constituent le système d'intermédiation électronique de l'organisation virtuelle de gestion des risques permet l'extension de la visibilité à l'ensemble de l'organisation virtuelle des fonctionnalités offertes par les logiciels présentés précédemment (cf. §5.2). Les mécanismes du système d'intermédiation autorisent la création de nouvelles fonctionnalités par l'intermédiaire de la notion de « composition de *Services »* et du concept de *Plan*. La suite de cette section est consacrée à la présentation des processus élaborés à l'aide de ces idées.

5.3.2 Les traitements issus de la « composition des services » associés aux logiciels de gestion des risques

Le concept de *Service* permet d'étendre la visibilité des fonctionnalités offertes par les logiciels développés pour remplir les opérations de gestion des risques. L'utilisation de la notion de *Plan* et des mécanismes sous-jacents autorise la création de nouveaux traitements construits en combinant l'exécution des *Services* gérés par les différents agents.

Les mécanismes de gestion des *Plans* permettent la construction de trois traitements supplémentaires au sein de l'organisation virtuelle. Il s'agit de mécanismes de recherche d'informations, d'auto-contrôle des actions de diagnostic et de supervision et de gestion de la survenue d'une perturbation.

5.3.2.1 Un plan de recherche d'information

La mise en relation au sein de l'organisation virtuelle des différents logiciels développés pour remplir les fonctionnalités de sensibilisation, de diagnostic et de gestion des risques permet l'accès à une importante quantité d'information. La réalisation de fonctionnalités de recherche d'information prenant en compte l'ensemble des sources

d'informations présente dans le système peut s'effectuer à l'aide d'un *Plan* dont les tâches permettent d'interroger l'ensemble des bases de connaissances accessibles au sein de l'organisation virtuelle.

Le *Plan* de recherche d'informations proposé a pour finalité de solliciter l'ensemble des bases de connaissances reliées au système d'intermédiation lorsqu'un utilisateur soumet une requête de recherche d'information. A cette fin, trois types de processus de recherche sont identifiés :

- La recherche dans les bases de discussions (cf. 5.2.1). Il s'agit d'un processus de recherche d'informations relatives à la requête de l'utilisateur dans les bases de connaissances qui contiennent les échanges entre les acteurs de l'organisation virtuelle.

- La recherche dans les bases documentaires (cf. 5.2.2). Il s'agit d'un mécanisme d'interrogation des bases de données contenant la description de ressources documentaires.

- La recherche dans les bases de connaissances risques (cf. 5.2.3). Il s'agit d'un traitement de recherche dans les bases de connaissances relatives au risque professionnel.

Le *Plan* de recherche d'information est constitué de trois types de *Tâches* correspondant aux trois modes de recherche d'information (cf. Figure 5.12).

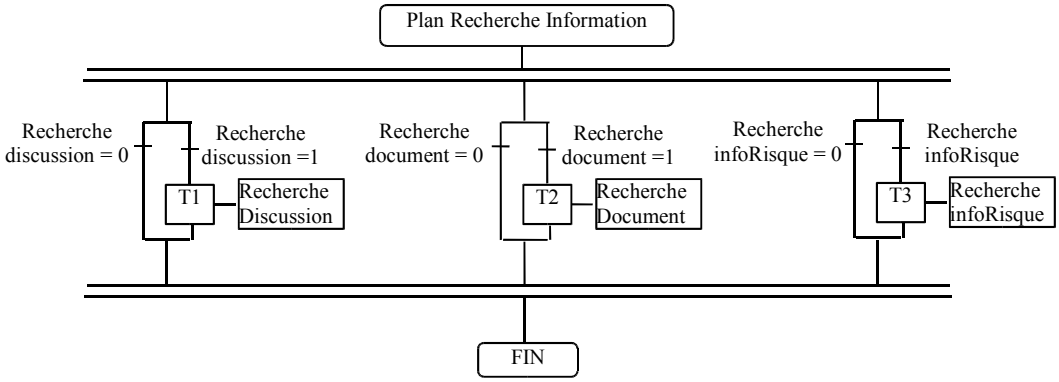


Figure 5.12 Plan de recherche d'information. Ce Plan est constitué de tâches dont l'objectif est d'interroger l'ensemble des bases de données présentes au sein de l'organisation virtuelle dans le but de fournir le plus de réponses possible à la requête d'un utilisateur.

Une interface est associée au *Plan* de recherche d'information qui permet à l'utilisateur de définir les critères de sa requête et le type d'information qu'il souhaite rechercher. Au terme de l'exécution du *Plan,* l'interface permet de visualiser les résultats (cf. Figure 5.13).

Le *Plan* de recherche d'information permet d'utiliser l'ensemble des bases de données pour permettre aux utilisateurs d'enrichir leur savoir. La composition des *Services* de l'organisation virtuelle de gestion des risques permet également de construire un processus de gestion de la survenue d'une perturbation.



Figure 5.13 Formulaire de recherche d'information globale du système. Cette interface permet de déclencher le Plan de recherche d'information et d'en afficher le résultat.

5.3.2.2 Un plan de gestion de la survenue d'un événement perturbateur

Les logiciels présentés précédemment (cf. 5.2) proposent des fonctionnalités qui peuvent servir de support à la création d'un dispositif de gestion de la survenue d'une perturbation qui a pour finalité de fournir aux acteurs de l'information pertinente pour les aider à gérer les conséquences de la survenue d'une perturbation.

Le *Plan* de gestion de la survenue d'un événement perturbateur est constitué de cinq *Tâches* (cf. Figure 5.14) dont l'exécution permet dans un premier temps de prévenir les acteurs concernés par la perturbation puis de rechercher l'information concernant la nature de la perturbation, les conséquences de sa survenue sur le fonctionnement de l'entreprise et les outils pouvant être utilisés pour minimiser les conséquences de la perturbation et enfin de présenter l'ensemble de ces informations aux acteurs concernés par la perturbation.

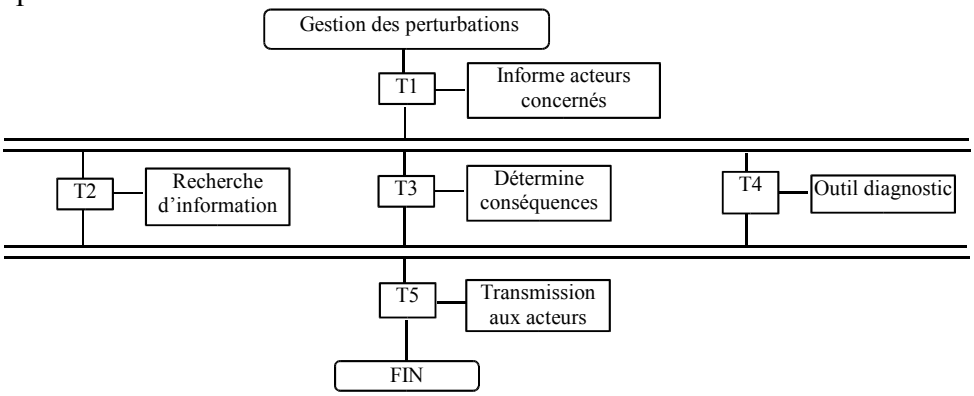


Figure 5.14 Plan de gestion des perturbations. Ce plan est constitué des tâches correspondant aux actions réalisés en cas de survenue d'une perturbation dans le but de fournir au responsable de la crise de l'information pertinente issues des fonctionnalités de l'organisation virtuelle.

L'amélioration du fonctionnement des PME-PMI à l'aide d'une organisation virtuelle de gestion des risques nécessite que les fonctionnalité qu'elle propose soient correctement utilisées par les acteurs concernés. Le plan de supervision du fonctionnement de l'organisation virtuelle a pour finalité de veiller à cela.

5.3.2.3 Un plan de supervision du fonctionnement de l'organisation virtuelle

L'organisation virtuelle de gestion des risques offre des mécanismes d'échanges d'informations, de diagnostic, de supervision et de gestion des risques au sein de l'entreprise. Ces mécanismes sont nécessaires pour vérifier si les acteurs de l'organisation virtuelle remplissent correctement leurs rôles.

Le plan de supervision du fonctionnement de l'organisation consiste à scruter les informations manipulées par les processus d'échanges d'informations, de diagnostic, de supervision et de gestion des risques afin d'identifier s'ils sont correctement utilisés. Ce *Plan* est constitué de quatre tâches :

- La supervision de l'utilisation de l'organisation virtuelle. Ce processus consiste à vérifier la fréquence de connexion des utilisateurs au système en vue d'identifier la non l'utilisation des fonctionnalités de l'organisation virtuelle par un ou plusieurs utilisateurs.

- La supervision des échanges d'informations. Les processus d'échanges d'informations ont pour finalité de sensibiliser les acteurs des PME-PMI à la nécessité de mettre en œuvre des processus de gestion des risques. Le processus de supervision doit identifier si le taux de participation de chaque acteur de l'organisation virtuelle est suffisant.

- La supervision des processus de diagnostic. Les mécanismes de diagnostic ont pour finalité d'identifier les facteurs pouvant être à l'origine d'une perturbation et de concevoir des plan d'actions de correction. Le processus de supervision de ces mécanismes consiste à vérifier la fréquence de réalisation des diagnostics et du respect des délais de réalisation des opérations de corrections.

- La supervision des processus de contrôle de l'entreprise. Le processus de supervision des traitements de contrôle doit identifier si les dysfonctionnements signalés sont correctement corrigés en vérifiant qu'une même alerte ne survienne pas de manière trop fréquente.

La création des *Services* et des *Plans* permet de relier les logiciels de gestion des risques au système d'intermédiation électronique. Le fonctionnement de l'organisation virtuelle de gestion des risques à destination des PME-PMI repose sur l'utilisation de ces fonctionnalités par les différents acteurs des PME-PMI.

5.3.3 De l'utilisation de l'organisation virtuelle par les acteurs des PME-PMI

Le fonctionnement de l'organisation virtuelle de sensibilisation, de diagnostic de supervision et de gestion des risques à destination des PME-PMI repose sur des interactions entre les utilisateurs du système, les environnements de travail, les agents d'intermédiation et les logiciels de gestion des risques. Pour illustrer les possibilités offertes par le prototype d'organisation virtuelle de gestion des risques à destination des PME-PMI, deux exemples sont présentés. Le premier correspond aux interactions

résultant du processus de connexion d'un utilisateur à l'organisation virtuelle et le second décrit le fonctionnement d'un diagnostic.

5.3.3.1 Le processus de connexion d'un utilisateur au système

L'espace de travail d'un utilisateur dépend de sa fonction au sein de l'organisation virtuelle. Ainsi la première démarche que doit effectuer un utilisateur pour accéder aux fonctionnalités de gestion des risques est de s'identifier pour que le système puisse générer l'environnement de travail correspondant à ses besoins.

Le processus de connexion d'un utilisateur au système consiste à récupérer son identifiant et à déterminer d'une part les informations caractérisant ses droits au sein du système (profil) et d'autre part, les informations qui doivent lui être transmises pour pouvoir générer son environnement de travail.

La génération de l'environnement de travail correspondant au profil de l'utilisateur identifié à partir de son identifiant se décompose en trois étapes :

- La première étape correspond aux traitements mis en œuvre par l'agent de gestion des interactions homme/système pour déterminer le profil de l'utilisateur. Elle débute lorsqu'un utilisateur saisit son identifiant et son mot de passe. Ceux-ci sont transmis à l'agent de gestion des autorisations d'accès pour qu'il identifie le profil de l'utilisateur.

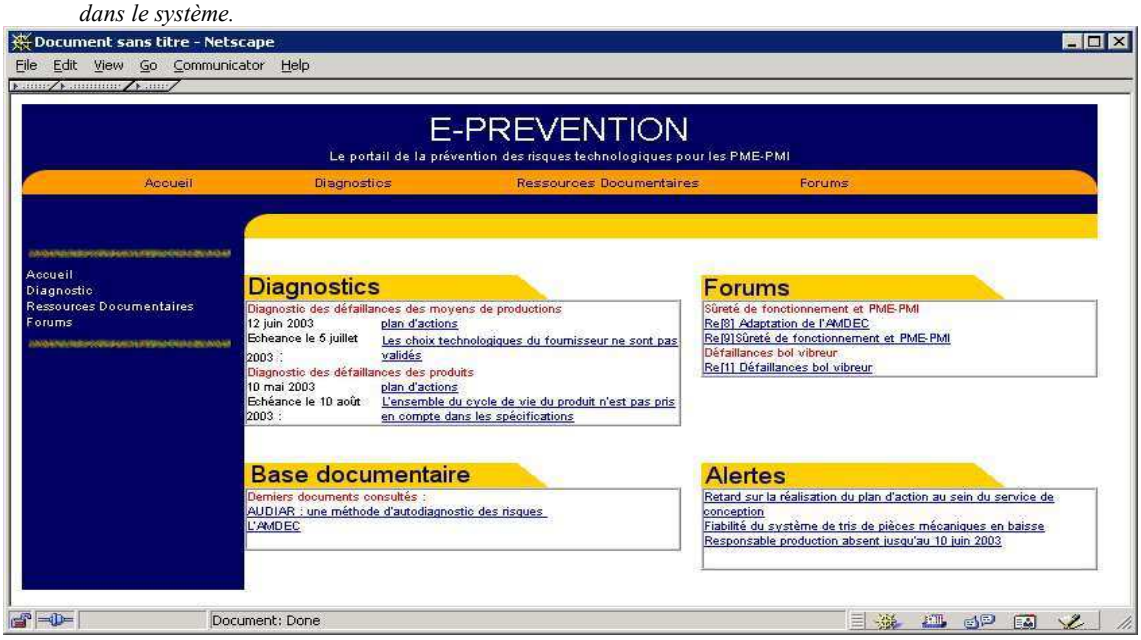
- La deuxième étape correspond aux échanges entre l'agent de gestion des interactions homme/système et les agents en charge des systèmes d'échange d'informations, de diagnostic, de ressources documentaires et de supervision pour qu'ils lui transmettent l'information devant être consultée par l'utilisateur.

- La troisième étape consiste à la construction de l'environnement de travail de l'utilisateur.

Si l'utilisateur est un chef d'entreprise, le résultat du processus de construction est une interface qui permet l'accès aux fonctionnalités d'échanges d'information, de diagnostic et de recherche de ressources documentaires. Mais aussi, les informations relatives à l'avancée des démarches de diagnostic, des messages ajoutés aux discussions auxquelles l'entrepreneur participe, des derniers documents qu'il a consulté et les messages d'avertissement de la survenue d'événements relevant de ses responsabilités (cf. Figure 5.15).

L'organisation virtuelle de gestion des risques offre des fonctionnalités de diagnostic des défaillances des moyens de production de l'entreprise qui sont accessibles par le chef d'entreprise et son responsable production. Les interactions relatives à ce traitement sont décrites par la suite.

Figure 5.15 Aperçu de l'espace de travail d'un chef d'entreprise. Cette interface permet l'accès à l'ensemble des fonctionnalités accessibles par le chef d'entreprise. Elle offre également un ensemble d'information relatives à l'utilisation des différentes fonctionnalités et sur la survenue d'événements dans le système.



5.3.3.2 Le processus de diagnostic des moyens de production

L'utilisation des processus de diagnostic des moyens de production engendre un ensemble d'interactions qui peuvent être décomposer en trois étapes :

- La première étape correspond aux interactions consécutives à la demande d'accès au traitement de diagnostic. Celles-ci ont pour finalité de déterminer les informations qui vont composer l'interface graphique du service de diagnostic selon le profil de l'utilisateur. Ces informations sont constituées des questionnaires correspondants aux activités de l'utilisateur, aux résultats des derniers diagnostics et à la planification des actions à effectuer. La détermination de ces informations requiert l'exécution des fonctionnalités des systèmes de gestion des diagnostics et de gestion des interactions hommes / systèmes.

- La deuxième étape correspond aux interactions relatives à la réalisation effective du diagnostic. C'est-à-dire, la saisie de l'information par l'utilisateur, sa transmission au système de gestion des diagnostics, le calcul des résultats et son affichage sur l'espace de travail.

- La troisième étape correspond aux processus découlant d'une opération de diagnostic et visant à informer les différents acteurs concernés la valeur et les conséquences directes et indirectes des résultats du diagnostic.

Les interactions liées au processus de diagnostic des moyens de productions permettent d'impliquer le chef d'entreprise et ses collaborateurs mais aussi les acteurs de la gestion des risques comme les inspecteurs qui peuvent avoir accès aux résultats des diagnostics.

Le prototype d'organisation virtuelle présenté a pour finalité de répondre à la problématique de l'absence de politique de gestion des risques professionnels au sein des PME-PMI. La suite de cette section est consacrée à la démonstration théorique de la pertinence de l'intérêt du prototype d'organisation virtuelle de gestion des risques pour résoudre la problématique de la gestion des risques au sein des PME-PMI.

5.3.4 De l'apport du prototype d'organisation virtuelle de gestion des risques au regard de la vulnérabilité des PME-PMI aux risques.

L'objectif de la démarche qui a conduit à la construction du prototype d'organisation virtuelle de gestion des risques présenté dans ce chapitre est de proposer une solution logicielle à la problématique de l'absence d'une politique de gestion des risques professionnels au sein des PME-PMI. Cette démarche a reposé sur trois objectifs à atteindre (cf. 1.1.3) :

- Provoquer une modification de la perception des risques par les acteurs des PME-PMI en fournissant les moyens de capitalisation de l'expérience des acteurs du système de gestion des risques des PME-PMI. Mais aussi en développant un dispositif d'échange d'expertise et d'information sur les thématiques relatives à la prévention et à la gestion des incidents et/ou des accidents.

- Permettre la réalisation d'opérations de diagnostic et de gestion des risques à l'aide d'outils prenant en compte la spécificité organisationnelle des PME-PMI.

- Prendre en compte les nouveaux risques que le système de gestion des risques engendre par son utilisation, et fournir les mécanismes permettant de les gérer.

Le prototype réalisé est constitué des acteurs de la PME-PMI et de six agents d'intermédiation reliés à des logiciels fournissants des mécanismes d'information, de diagnostic et de supervision (cf. Figure 5.16).

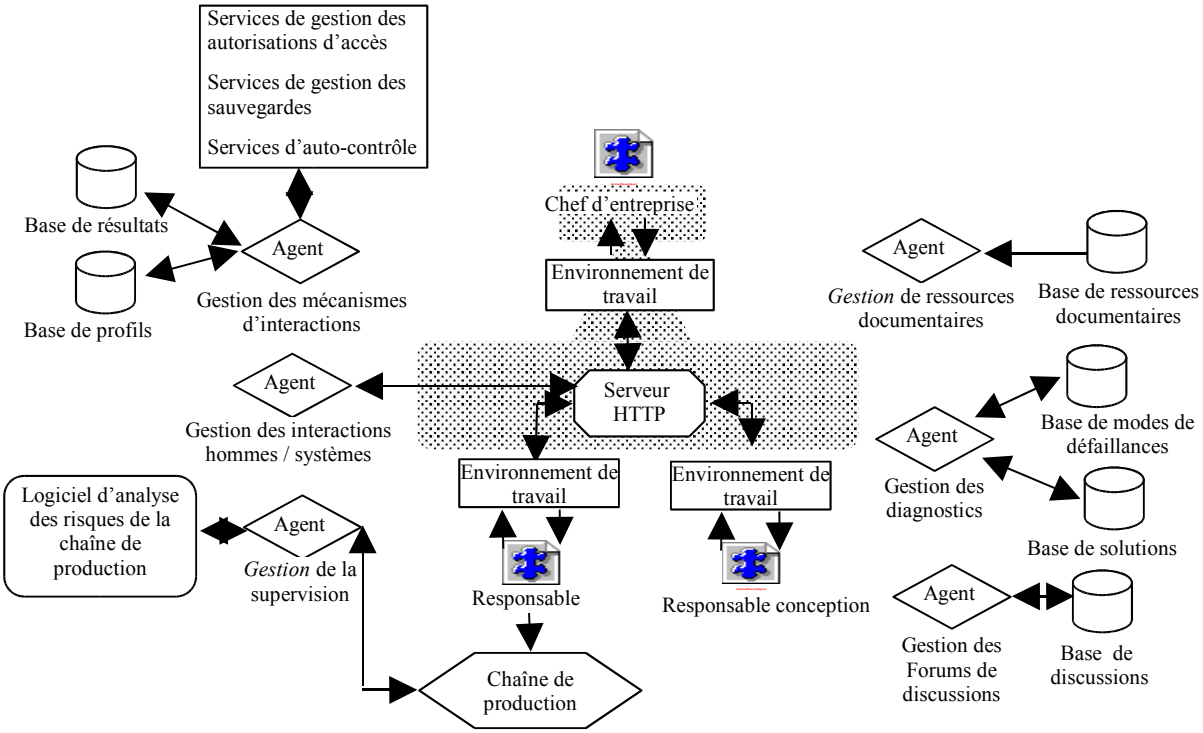


Figure 5.16. Le prototype d'organisation virtuelle de gestion des risques. Ce prototype est constitué de trois acteurs de la PME-PMI (chef d'entreprise, responsable production et responsable conception) et de six agents d'intermédiation reliés aux logiciels), de gestion de forums de discussions (cf. §5.2.1), de gestion de ressources documentaires (cf.§5.2.2), de gestion des diagnostics (cf. §5.2.3), d'analyse des risques (cf. §5.2.4) et à un serveur HTTP de gestion de l'environnement de travail des acteurs de l'organisation virtuelle (cf. §5.3.1.5).

L'objectif de cette section est de montrer que les fonctionnalités offertes par le prototype d'organisation virtuelle de gestion des risques à destination des PME-PMI répond convenablement aux objectifs énoncés. Pour cela, les trois objectifs sont repris un à un et les fonctionnalités de l'organisation virtuelle correspondantes à leur réalisation sont décrites.

5.3.4.1 La modification de la perception des risques par les acteurs des PME-PMI

La réalisation des objectifs de modification de la perception des risques par les acteurs des PME-PMI peut être atteinte par l'échange d'expériences entre les acteurs des PME-PMI et par une information réaliste des avantages et des limites des pratiques de gestion des risques [GROSJEAN03].

La démarche suivie pour accomplir ces processus a consisté à réaliser un logiciel permettant la réalisation d'échanges structurés entre les différents utilisateurs qui présente des fonctionnalités de consultation et de participation à des discussions (cf. 5.2.1) et d'un logiciel de gestion de ressources documentaires qui permet la consultation de fiches descriptives de ressources documentaires hétérogènes (cf. 5.2.2).

La mise en relation de ces deux logiciels avec le système d'intermédiation et le développement des *Services* correspondant à leurs fonctionnalités permet à l'ensemble des acteurs (sous réserve que leur profil l'autorise) de l'organisation virtuelle d'échanger leur point de vue sur un sujet de discussion relatif à la gestion des risques mais aussi de partager un fond documentaire commun.

Une utilisation correcte des fonctionnalités offertes par ces deux logiciels, à travers le système d'intermédiation devrait assurer non seulement de modifier progressivement la perception des pratiques de gestion des risques au sein des PME-PMI mais aussi de construire une culture des risques commune à l'ensemble des utilisateurs de l'organisation virtuelle de gestion des risques.

Une fois les PME-PMI sensibilisées à l'intérêt de mettre en œuvre une politique de gestion des risques, elles doivent pouvoir utiliser des outils adaptés à leur spécificité organisationnelle. Le deuxième objectif devant être réalisé par le prototype d'organisation virtuelle est de proposer une démarche de diagnostic des risques adaptée aux PME-PMI.

5.3.4.2 Une démarche de diagnostic des risques adaptée aux PME-PMI

La démarche suivie pour mettre en œuvre une démarche de diagnostic et de gestion des risques adaptée aux caractéristiques organisationnelles d'une PME-PMI consiste à répartir les actions sur l'ensemble des acteurs de l'entreprise.

Le logiciel de diagnostic des défaillances des produits et des moyens de productions réalisé en est un exemple. Il offre des fonctionnalités d'étude des processus liés au cycle de vie des produits et des moyens de production et de production de plans d'actions correctifs. La connexion de ce logiciel au système d'intermédiation électronique permet à l'ensemble des entreprises de l'organisation virtuelle d'accéder à ces fonctionnalités mais également de mettre en place des mécanismes d'association de questionnaires de diagnostic avec les profils des utilisateurs aptes à fournir l'information la plus

pertinente. Par ailleurs, l'organisation virtuelle doit permettre une meilleure visibilité des résultats de l'évaluation de l'entreprise vis à vis des risques et une meilleure coordination de l'accomplissement des actions de corrections.

Le logiciel d'analyse et de supervision de la survenue de perturbations et les mécanismes de recherche d'information au sein de l'organisation virtuelle permettent de détecter un événement susceptible de mettre en péril l'entreprise mais aussi de réunir et organiser l'information nécessaire pour aider les acteurs de l'organisation virtuelle à faire face à cet événement.

La satisfaction par le prototype d'organisation virtuelle de gestion des risques en matière de sensibilisation, de diagnostic et de gestion des risques à destination des PME-PMI est effective uniquement si les différents acteurs remplissent correctement leurs tâches. En effet, une absence d'utilisation des dispositifs offerts entraîne la potentielle survenue de nouveaux risques liés à la certitude d'être protégé par la présence des fonctionnalités de gestion des risques. Par conséquent, le troisième objectif concerne la mise en œuvre de mécanismes d'auto-contrôle de l'usage des fonctionnalités de l'organisation virtuelle.

5.3.4.3 Des mécanismes d'auto-contrôle de l'usage des fonctionnalités de l'organisation virtuelle

L'objectif des mécanismes d'auto-contrôle de l'usage des fonctionnalités de l'organisation virtuelle consiste à vérifier si les acteurs remplissent correctement le rôle qui leur est attribué au sein de l'organisation virtuelle et si les traitements fournis par les systèmes technologiques sont correctement utilisés.

Le système d'intermédiation électronique propose des traitements qui vérifient régulièrement son fonctionnement et la disponibilité des systèmes technologiques auxquels il est relié. La création d'un *Plan* de supervision du fonctionnement de l'organisation virtuelle de gestion des risques permet de vérifier si les acteurs utilisent régulièrement les fonctionnalités de l'organisation virtuelle, en vérifiant notamment leur fréquence de connexion ou bien s'ils interprètent correctement l'information qui leur est transmise et s'ils agissent pour traiter un dysfonctionnement en contrôlant par exemple la fréquence de survenue de messages d'avertissements similaires.

Le prototype d'organisation virtuelle de gestion des risques offre les mécanismes nécessaires à la satisfaction des objectifs identifiés d'un dispositif de gestion des risques à destination des PME-PMI. La réelle efficacité de ce prototype reste encore à démontrer en procédant à des expérimentations issues de son déploiement au sein de PME-PMI.

5.3.5 De la validation du prototype d'une organisation virtuelle de gestion des risques dédiée aux PME-PMI

La démarche de validation du prototype d'organisation virtuelle de gestion des risques dans les PME-PMI nécessite de confronter les fonctionnalités offertes avec un ensemble de chefs d'entreprises et d'employés de PME-PMI. Une telle démarche doit valider l'adaptation des traitements fournis avec la culture des acteurs des PME-PMI et leur efficacité à les sensibiliser à la prévention des risques.

Une démarche de validation des conséquences de l'usage des fonctionnalités de l'organisation virtuelle de gestion des risques développées dans cette thèse est prévue

dans le cadre de l'action UCIP[10] initiée par le MINEFI[11] visant à promouvoir l'utilisation d'Internet par les PME. Ce programme d'une durée de dix-huit mois va consister à optimiser le fonctionnement du prototype d'organisation virtuelle de gestion des risques et de le mettre à disposition d'un ensemble de PME de l'industrie mécanique.

La démarche d'analyse du déploiement concret de l'organisation virtuelle de gestion des risques sera menée en collaboration avec des experts du CETIM[12]. L'étude portera en premier lieu, sur la mesure de la pertinence de l'information offerte par les différents logiciels aux différents acteurs des PME. Elle veillera également à analyser et comparer le comportement réel des différents acteurs (chef d'entreprise, responsable de fonctions, etc.) par rapport aux interactions attendues (échanges de bonnes pratiques, sensibilisation, planification d'opération de diagnostic et de corrections, etc.).

Les résultats de cette étude devraient permettre de valider (ou non) la pertinence de l'utilisation du modèle d'organisation virtuelle dans le but de mener des actions de sensibilisation et de gestion des risques au sein d'organisation. Ce travail de validation devrait permettre l'identification des futurs pistes à mener pour améliorer la prise en compte des pratiques de gestion des risques dans les PME-PMI.

5.4 Conclusion du chapitre 5

L'objectif de ce chapitre était de présenter un prototype d'organisation virtuelle de sensibilisation, de prévention, de supervision et de gestion des risques internes à l'entreprise.

La première section a été consacrée à la présentation des traitements devant être menés au sein de l'organisation virtuelle. Il s'agit de mécanismes d'échanges d'information, de diagnostic et de supervision des processus de l'entreprise et de gestion de la survenue de perturbations. Le rôle des différents acteurs de l'organisation virtuelle (chefs d'entreprise, responsables de fonction et experts) a aussi été défini.

La finalité de la deuxième section a été de décrire les logiciels qui vont être reliés au système d'intermédiation électronique pour constituer l'organisation virtuelle. Il s'agit de systèmes d'échanges d'information, de gestion de ressources documentaires, de diagnostic des défaillances des produits et des moyens de production et d'analyse des risques d'une chaîne de production de composants.

La troisième section a concerné la construction et l'utilisation du prototype d'organisation virtuelle. Les fonctionnalités mises à la disposition des utilisateurs de l'organisation virtuelle à l'aide du concept de Service ont été tout d'abord présentées puis les traitements construits par composition de ces Services à l'aide des mécanismes de gestion des Plans ont été décrits. Un ensemble d'exemples d'utilisation du prototype d'organisation virtuelle de gestion des risques a été ensuite présenté pour illustrer les différents types d'interactions survenant au sein du système. Enfin, une comparaison des fonctionnalités offertes par le prototype d'organisation virtuelle avec les caractéristiques d'un dispositif de gestion des risques dédié aux PME-PMI identifiés précédemment (cf. §1.1.3) a été réalisée.

[10] UCIP : Utilisation Collective d'Internet pour les PME
[11] MINEFI : Ministère de l'Economie, des Finances et de l'Industrie
[12] CETIM : CEntre Technique des Industries Mécaniques

Ce chapitre clos la seconde partie de la thèse. Celle-ci avait pour finalité de présenter les dispositifs technologiques développées pour mettre en œuvre un premier prototype d'organisation virtuelle de gestion des risques à destination des PME-PMI. Le chapitre quatre a été consacré à la présentation d'un modèle de système d'intermédiation réalisé à l'aide d'une approche orientée agent. Le chapitre cinq a consisté à la description des outils développés pour remplir les fonctionnalités de gestion des risques attendues et le processus de construction de l'organisation virtuelle avec la mise en relation de ces logiciels par l'intermédiaire des agents logiciels d'intermédiation.

Conclusion et perspectives

«Caminente, son tus huellas
el camino, y nada mas ;
caminante, no hay camino,
se hace camino al andar.
Al andar se hace camino
y al volver la vista atras
se ve la senda que nunca
se ha de volver a pisar.
Caminente , no hay camino,
sino estelas en la mar »

Antonio Machado,
Chant XXIX des Proverbes et Chansons des Champs de Castille, 1917.

« Marcheur, ce sont tes traces
ce chemin, et rien de plus ;
marcheur, il n'y à pas de chemin,
le chemin se construit en marchant.
En marchant se construit le chemin,
et en se regardant en arrière
on voit la sente que jamais
on ne foulera à nouveau.
Marcheur il n'y à pas de chemin,
seulement des sillages sur la mer. »

Traduction de José Paretz-Llorca

Les Petites et Moyennes Entreprises et Industries représentent la grande majorité des entreprises et sont au centre de la vie économique. Les données statistiques relatives aux accidents du travail et aux maladies professionnelles montrent une disparité importante entre les grandes entreprises et les PME-PMI en défaveur de ces dernières. Ceci est d'autant plus inquiétant que les études relatives à la gestion des risques professionnels au sein des PME-PMI énoncent un constat alarmant [FAVARO96] : absence de culture des risques ; primauté des considérations économiques par rapport aux pratiques de prévention ; difficulté à faire adopter par les travailleurs de nouvelles pratiques de travail plus sûres mais plus contraignantes ; démarches et outils de prévention non adaptés à la spécificité des PME-PMI, etc.

Paradoxalement un réseau d'acteurs institutionnels, une législation riche et un nombre important d'outils d'évaluation et de prévention recouvrent le domaine des risques professionnels. La problématique réside du fait de l'ignorance ou de l'absence d'intérêt des acteurs des PME-PMI vis à vis du dispositif institutionnel prévention.

La spécificité de la structure sociale des PME-PMI, qualifiée d'entrepreneuriale [MINTZBERG89], induit la nécessité de provoquer un changement de la perception des pratiques de prévention par les chefs d'entreprises. Cette étape est un préalable nécessaire à la construction d'une culture et d'une politique de gestion des risques spécifiques aux PME-PMI.

Une ébauche de démarche dont la finalité est de provoquer un changement radical de perception des chefs d'entreprises est proposée par Grosjean [GROSJEAN03]. Celle-ci repose sur l'établissement d'échanges entre les entrepreneurs sur les pratiques de prévention et de gestion des risques au sujet et sur le bien fondé de la mise en œuvre d'une politique de prévention des risques professionnels. Celle-ci est largement reprise dans cette thèse.

A partir de cette proposition et des caractéristiques organisationnelles des PME-PMI, un ensemble d'objectifs relatifs à un dispositif de sensibilisation, de prévention, de supervision et de gestion des dysfonctionnements au sein des PME-PMI a été déduit. Ces objectifs reposent d'une part sur la nécessité de permettre l'échange d'information entre les acteurs des PME-PMI et des institutions de gestion des risques et d'autre part sur le partage des actions de prévention, de supervision et de gestion sur l'ensemble des acteurs de la PME-PMI.

La démarche menée dans cette thèse a été de construire un prototype de logiciel destiné à mener à bien ces objectifs. Les processus de conception et de réalisation de ce prototype ont reposé sur le modèle d'organisation virtuelle et sur une démarche de conception et de programmation orientées agent. Par la suite, une présentation des principaux acquis de cette thèse relatifs à la construction d'un outil de gestion des risques est effectuée puis les perspectives de ces travaux sont discutées.

De la contribution du modèle d'organisation virtuelle à la conception d'un outil de gestion des risques dans les PME-PMI

Le concept d'organisation virtuelle caractérise les nouvelles formes d'organisations des entreprises dont le fonctionnement reposent sur des interactions utilisant les Technologies de l'Information et de la Communication (TIC) entre des individus appartenant à des institutions juridiquement indépendantes et des systèmes technologiques situés sur des lieux géographiquement différents [MEISSONIER00].

Ce modèle permet d'étudier les nouvelles pratiques de travail et les changements organisationnels consécutifs à l'introduction dans les entreprises des technologies reposant sur le réseau Internet. Ces changements concernent généralement une externalisation d'un ensemble des activités de l'entreprise par la constitution d'une chaîne logistique ou bien la formation de réseaux contribuant à l'échange et au partage de ressources humaines, financières, matérielles ou cognitives.

La mise en œuvre d'une politique efficace de gestion des risques au sein des PME-PMI nécessitent la mise en relation des acteurs des PME-PMI et des institutions de gestion des risques. Le concept d'organisation virtuelle a par conséquent été choisi pour servir de support conceptuel à la construction d'un dispositif visant à contribuer à de meilleures pratiques de prévention.

Une organisation virtuelle est constituée de trois types d'éléments : des individus, des systèmes technologiques et un système d'intermédiation électronique. Ce dernier a pour objet d'établir des mécanismes interactions entre les autres constituants de l'organisation virtuelle. Une étude a été menée à l'aide de concepts issus de la pensée complexe [MORIN94] dans le but de caractériser plus précisément un système d'intermédiation électronique et établir une grille de lecture d'une organisation virtuelle ainsi que la nature des mécanismes indispensables à son fonctionnement.

L'analyse du système de gestion des risques à destination des PME-PMI à l'aide du concept d'organisation virtuelle a débouché sur la conception de trois modèles :

- Une organisation virtuelle de sensibilisation à la gestion des risques dédiée aux interactions visant à provoquer un changement de la perception au bien fondé des démarches de prévention et de gestion des risques.

- Une organisation virtuelle de gestion des risques internes à l'entreprise correspondant aux acteurs et aux logiciels de diagnostic, de supervision et de gestion des risques endogènes à l'entreprise (défaillance d'une chaîne de production, incendie, accident du travail, etc.).

- Une organisation virtuelle de gestion des risques externes à l'entreprise qui est constituée des relations entre les acteurs et les logiciels de diagnostic, de supervision et de gestion des risques exogènes à l'entreprise (inondation, feu de forêts, explosion dans une entreprise du même territoire, etc.) .

Le déploiement de ces modèles requiert la conception d'un système d'intermédiation électronique d'une part et de logiciels chargés de fournir les traitements de gestion des risques d'autre part. Pour cela une analyse fonctionnelle a été menée pour identifier les caractéristiques d'un logiciel d'intermédiation électronique et d'un logiciel d'analyse des risques offrant des mécanismes d'identification des conséquences de la survenue d'une défaillance sur un dispositif technologique et d'identification des actions à mener pour les gérer.

Pour construire les composantes de l'organisation virtuelle l'utilisation d'une approche de conception et de programmation reposant sur les concepts d'agents logiciels et de systèmes multi-agents a été retenue.

De l'utilisation de la conception et de la programmation orientées agent pour la réalisation d'un système d'intermédiation électronique et d'un logiciel d'analyse des risques

Les agents logiciels et les systèmes multi-agents sont des concepts de l'Intelligence Artificielle Distribuée (IAD) utilisés depuis le milieu des années quatre-vingt pour aborder un ensemble de problématiques liées aux insuffisances des approches classiques. Les classes de problèmes pour lesquels une approche reposant sur les agents logiciels peut être menée sont la conception, la programmation et la supervision de systèmes qualifiés de « complexes ». Il s'agit de systèmes décrits à l'aide des concepts de la pensée complexe qui sont l'organisation, les interactions, les émergences ou bien les contraintes.

Les approches de conception et de programmation orientées agent ont été retenues dans cette thèse pour aborder d'une part la réalisation d'un système d'intermédiation électronique et d'un logiciel d'analyse des risques.

Le processus d'analyse des fonctionnalités d'un système d'intermédiation électronique à l'aide d'une approche orientée agent a permit d'identifier un modèle d'agent qualifié d'agent d'intermédiation dont la finalité est de gérer l'accès aux fonctionnalités de systèmes technologiques qui lui sont associés à l'aide de la notion de *Service*. Le système d'intermédiation est composé d'un ensemble d'agents d'intermédiation en interaction. A l'aide du concept de *Plan* des traitements reposant sur la composition des

Services présents au sein du système ont pu être réalisés comme les fonctionnalités de recherche d'information, de gestion de crise ou bien de supervision de l'organisation virtuelle. Trois agents spécifiques ont été identifiés : un agent de gestion des autorisations d'accès aux *Services* et aux *Plans* du système, un agent de gestion de la sauvegarde des résultats de l'exécution des *Services et des Plans* et un agent de supervision du bon fonctionnement des agents d'intermédiation et des systèmes technologiques reliés aux agents.

L'analyse des traitements du logiciel d'analyse des risques à l'aide d'une approche agent à conduit à la réalisation d'une méthode de transformation d'un modèle systémique d'un dispositif technologique et d'une analyse des défaillances de celui-ci effectuée à l'aide de la méthode AMDEC, en un réseau d'agents dont la finalité est de permettre la simulation d'un dispositif industriel (atelier, poste, machine outil, chaîne de production, etc.) et l'analyse des conséquences de l'introduction d'une perturbation dans le système.

L'utilisation d'une approche de conception orientée agent a permit de caractériser un système multi-agents d'intermédiation et une démarche de construction d'un logiciel de simulation et d'analyse des risques d'un dispositif. Les outils de programmation de système multi-agents ont été utilisées pour programmer ces deux logiciels. La plate-forme de programmation d'agents distribués JADE a été retenue pour la réalisation du système multi-agents d'intermédiation et l'outil de conception MADKIT a servi de support pour la programmation des agents issus de l'utilisation de la démarche de construction du logiciel de simulation et d'analyse des risques. Ces outils ont constitué le support d'un processus de réalisation d'un prototype d'organisation virtuelle de gestion des risques de sensibilisation et de gestion des risques dédiée aux PME-PMI.

Un prototype d'organisation virtuelle de sensibilisation, de diagnostic, de supervision et de gestion des risques dédiée aux PME-PMI

La réalisation d'un prototype d'organisation virtuelle de gestion des risques nécessite la programmation des agents d'intermédiations, des logiciels offrant les mécanismes pour la satisfaction des objectifs de l'organisation virtuelle ainsi que de définir les *Services* et les *Plans* correspondant aux actions devant être menées par les acteurs de l'organisation virtuelle.

La réalisation des agents d'intermédiation repose sur la plate-forme JADE. Celle-ci propose des mécanismes permettant de concevoir des agents aptes à communiquer à travers un réseau de communication. Le fonctionnement de l'agent repose sur la notion de *Comportement* qui peut être déclenché à la réception de messages. Les modes de communication de JADE ont été augmentées avec le développement de mécanismes d'échange de messages entre un agent et une base de données, un serveur HTTP et un code de calcul. Puis les structures de données et les *Comportements* permettant de représenter et de gérer les *Services* et les *Plans* d'un agent d'intermédiation ont été réalisés. Les trois agents de gestion d'un système multi-agents d'intermédiation (gestion des autorisations d'accès, sauvegarde des résultats des *Services* et des *Plans* et auto-contrôle) ont ensuite été conçus.

Les traitements relatifs à la gestion des risques sont gérés par un ensemble de logiciels : une application Internet de support à des discussions et un système de gestion de ressources documentaires ; un logiciel de diagnostic et d'aide à la gestion des défaillances des moyens de productions et des produits d'une entreprise et un logiciel

d'analyse des risques d'un dispositif de tris de composants mécaniques réalisé à l'aide de la méthode de construction développée.

La mise en relation de ces logiciels avec le système d'intermédiation orienté agent à l'aide d'un ensemble de *Services* correspondant aux besoins de l'organisation virtuelle permet l'accès aux traitements de l'ensemble des utilisateurs mais offre aussi la possibilité, à l'aide des mécanismes de gestion des *Plans*, de créer des fonctionnalités de recherche d'information et de gestion de la survenue de défaillances utilisant l'ensemble des sources d'information et des traitements présents dans le système. Ces mécanismes permettent également la réalisation d'un processus de contrôle de la correcte utilisation des fonctionnalités de gestion des risques par les acteurs de l'organisation virtuelle.

Le prototype d'organisation virtuelle obtenu offre les mécanismes destinés à provoquer la sensibilisation des acteurs de la PME-PMI à la mise en place d'une politique de prévention et de gestion des risques. Il propose également des traitements de diagnostic, de supervision et d'aide à la gestion des risques endogènes à l'entreprise. Le prototype répond aux besoins théoriques identifiés, néanmoins son fonctionnement doit encore être validé par la conduite d'expérimentations. Cette démarche est programmée dans le cadre d'une action UCIP (Utilisation Collective d'Internet pour les PME) soutenue par le MINEFI pour une durée de 18 mois en collaboration avec le CETIM (CEntre Technique de l'Industrie Mécanique) et un réseau d'entreprises de conception et production de composants mécaniques.

Outre cette démarche de validation, ces travaux ouvrent trois perspectives de recherche : l'industrialisation des logiciels de l'organisation virtuelle, la réalisation d'un outil d'analyse des risques dans les organisations et la conception d'une méthode d'analyse des risques d'une organisation.

Vers l'industrialisation des logiciels de l'organisation virtuelle de gestion des risques et l'extension de son domaine d'application

Les logiciels réalisés dans le cadre de cette thèse offrent un support pour la mise en œuvre d'un prototype d'organisation virtuelle de sensibilisation, de prévention, de supervision et de gestion des risques. Le déploiement et l'acceptation d'un tel dispositif par les PME-PMI nécessitent un effort supplémentaire en matière d'ingénierie (optimisation, tests, déploiement, maintenance, …) et de marketing (supports publicitaires, démonstrations, …) qui ne relève pas d'une démarche de recherche et développement.

Ces actions vont être conduites dans le cadre d'un partenariat dont l'objectif est de développer des logiciels dédiés à la mise en conformité des entreprises à la législation en matière d'Hygiène Sécurité et de soutenir leurs démarches de prévention des risques professionnels. Les modèles et les prototypes de la thèse servant de point de départ à la conception et au développement des solutions logicielles.

Le processus d'identification des acteurs et des logiciels formant l'organisation virtuelle a reposé sur les problématiques de gestion des risques professionnels et plus particulièrement sur les risques de dysfonctionnements des produits et des moyens de production de l'industrie mécanique. Une démarche doit être menée sur d'autres sources potentielles de dysfonctionnements d'une entreprise, un travail de thèse est actuellement en cours sur la thématique du diagnostic de la vulnérabilité des entreprises au risque inondation. Les acquis de ces travaux vont servir de support à la réalisation de nouveaux

modules de diagnostic et de supervision qui pourront être aisément intégrés à l'organisation virtuelle [13].

Le modèle d'organisation virtuelle pourra également être utilisé pour aborder la gestion des risques technologiques. Une telle démarche aurait pour objectif d'identifier les interactions entre les entreprises soumises à la législation relative aux risques technologiques (Directive Seveso II), les institutions en charges de son contrôle (DRIRE, …) et les collectivités territoriales dont les procédures d'aménagement du territoire doivent prendre en considération la notion de risque technologique.

Le deuxième axe de perspective de ces travaux de thèse recouvre la réalisation d'une méthodologie d'analyse des risques prenant en compte l'ensemble des composantes d'une organisation [HATCH00].

Vers une méthode d'analyse des risques prenant en compte l'ensemble des composantes d'une organisation

L'identification et la hiérarchisation de l'ensemble des événements pouvant engendrer une perturbation au sein d'une organisation (entreprise, territoire, etc.) ou bien la compréhension de la cause de la survenue d'un accident nécessite la prise en compte de l'ensemble des composantes de l'organisation (structure sociale, culturelles, physiques et technologiques) ainsi que ses relations avec son environnement.

Les méthodes d'analyse des risques utilisées actuellement proviennent essentiellement du domaine de la sûreté de fonctionnement [VILLELEMEUR88] et concernent principalement l'analyse des composantes technologiques. Elles datent des années soixante dix. Les travaux menés depuis peu innovent au niveau des concepts de modélisation, avec notamment un recours à l'analyse systémique, mais se réduisent rapidement aux approches de la sûreté de fonctionnement [PERILHON00].

Les concepts de la pensée complexe [MORIN90] engendrent des avancées dans de nombreux domaines scientifiques (sociologie, théorie des organisation, éducation, …). La pensée complexe associée avec les modèles de la théorie des organisations peut permettre de concevoir des méthodes d'analyse des défaillances d'organisation et des méthodes d'analyse originales. Un travail de thèse va débuter dans le but d'appréhender les apports de la pensée complexe à l'analyse des défaillances au sein d'une organisation à risque[14].

Le troisième axe de perspectives d'évolution de ces travaux de thèse concerne la réalisation d'un outil logiciel d'analyse des risques dans les organisations.

Vers la construction d'un outil systémique à base d'agent d'analyse des risques dans les organisations

Les traitements nécessaires à la réalisation de l'organisation virtuelle de gestion des risques ont conduit à la réalisation d'une première version d'une méthode de conception d'un logiciel d'analyse des risque orienté agent. Ce prototype se limite à l'analyse des dispositifs technologiques modélisés à l'aide de l'analyse systémique et dont les défaillances sont identifiées à l'aide de la méthode AMDEC.

[13] Thèse de Paul Mengual (Soutenance prévue fin 2004), Université de Nice Sophia-Antipolis, UFR de Géographie
[14] Thèse de Julien Cambon. Ecole des Mines de Paris.

Une démarche similaire peut être menée pour aborder la réalisation de logiciels d'analyse des risques d'une entreprise ou bien d'un territoire. Pour cela, l'ensemble des dimensions d'une organisation doit être pris en compte pour les démarches de modélisation et d'analyse des risques [HATCH00]. C'est-à-dire les dimensions sociales, culturelles, technologiques, physiques d'une organisation ainsi que son environnement. organisationnel et général.

Une telle démarche requiert l'adoption d'une approche de modélisation permettant d'organiser l'importante quantité d'information issue de multiples disciplines scientifiques. Le recours à la pensée complexe [MORIN92] est une piste pour aborder l'identification et la hiérarchisation de l'information relative à l'ensemble des composantes de l'organisation. Elle amène également à mettre en œuvre une ou plusieurs méthodologies d'identification et de hiérarchisation des défaillances des différentes composantes d'une organisation.

Sur le plan technologique, un tel logiciel conduit à la création d'outils aptes à représenter l'information et interagir avec les utilisateurs. La démarche menée dans la thèse a été d'utiliser le modèle « Agent Groupe Rôle » et la plate-forme Madkit [GUTKNECHT01]. Cette démarche est suffisante pour aborder l'analyse d'un dispositif technologique mais semble poser des limites pour aborder l'analyse de l'ensemble des mécanismes d'une entreprise ou bien l'ensemble des éléments d'un territoire. Une approche alternative pourrait être l'utilisation d'une plate-forme dédiée à la simulation comme Cormas [BOUSQUET98] ou bien la création d'un outil spécialement conçu pour aborder l'analyse des risques d'une organisation.

Le prototype d'organisation virtuelle développé dans cette thèse est une contribution à la réalisation d'un projet ambitieux : la construction d'une véritable culture de la prévention et de la gestion des risques dans les PME-PMI. Un tel projet nécessite encore de nombreux développements théoriques relatifs à l'hétérogénéité de la nature des risques concernés, à la non adaptation des méthodes d'analyse des risques ou bien à la forme des outils nécessaires pour ce type d'organisation. Mais aussi, une indispensable confrontation avec la réalité de la PME-PMI, qui n'étant pas en attente de solutions ou de produits, est d'autant plus réticente et exigeante vis-à-vis de l'adoption de nouvelles pratiques de travail ou d'outils de gestion. Le tour de la question est par conséquent loin d'être achevé, chemin faisant nous progressons.

Bibliographie

[A]

[AMABILE00] Amabile S., Gadille M. & Meissonier R., 2000, « Information, organisation, décision : étude empirique sur les apports des NTIC dans les PME « Internautes »», Systèmes d'Information et Management, n°1, vol. 5, p. 41-60.

[AVENIER99] Avenier M-J, 1999, « L'intermédiation, utiliser le signe pour favoriser l'évolution des représentations », Workshop du GRASCE.

[B]

[BAEJIS00] Baeijs C., 2000, « Quand les agents jouent aux cartes… », 8èmes Journées Francophones Intelligence Artificielle Distribuée Systèmes Multi-Agents, JFIADSMA'2000, Saint-Etienne, France, Octobre 2000.

[BALBO96] Balbo F., Moraïtis P, Pinson S, 1996, « Une approche multicritère pour l'attribution de tâches dans un environnement multi-agent », IA distribuée et systèmes multi-agents. JFIADSMA'96. Edition HERMES.

[BARANGER98] Baranger P., Chen J., Helfer J-P, De LA Bruslerie H., Orsoni J., Peretti J-M, 1998, « Gestion, les fonctions de l'entreprise », Vuibert.

[BAUDRY95] Baudry B., 1995, « L'économie des relations inter-entreprises », Collections Repères

[BELCHEIKH00] Beilcheick N., Su Z., 2000, « Pour une meilleure compréhension de l'organisation virtuelle », Actes de la 9ème conférence de l'AIMS, Montpellier.

[BELLIFIMINE99] Bellifemine F., Poggi A., Rimassa G., 1999, « JADE – A FIPA-compliant agent framework », Proceedings of PAAM'99, London, April 1999, pages.97-108.

[BERGER96] Berger M., 1996, « Making the virtual office a reality », Sales & marketing Management, SMT supplement, June, pp. 18-22

[BESSENET92] Bessenet C., 1992, « Stratégie de développement de la formation hygiène sécurité dans les PME », Mémoire Agrément ingénieur-conseil, Caisse Régionale d'Assurance Maladie de Normandie, 1992.

[BLEEKER94] Bleeker S.E, 1994, « The virtual organization », Futurist, vol 28, n°2, March-April 1994.

[BOUSQUET98] Bousquet F., Bakam I., Proton H. et Le Page C. 1998. Cormas: Common-Pool Resources and Multi-Agents Systems. Lectures Notes in Artificial Intelligence, 1416: 826-837.

[BRESSANT89] Bressand A., Distler C., Nicolaidis K. (1989), « Vers une économie de réseaux », Politique Industrielle, Hiver, pp155-168.

[BROECKE02] Broecke J.V.D, 2002 , « Pushlets Whitepaper », www.pushlets.com

[BURN98] Burn J.M., 1998, « Aligning the On-Line Organisation – with What, How and Why ? », Proceedings of the 8th Business Information Technology Conference.

[BYRNE93] Byrne J.A, 1993, « The virtual Corporation », Business Week, Isue :3304, February 8th, p.98-102.

[C]

[CAIRE01] Caire G., Coulier W., Garijo F., Gomez J., Pavon J., Leal F., Chainho P., Kearney P., Stark J., Evans R., Massonet P., 2001, « Agent Oriented Analysis using MESSAGE/UML » Agent Oriented Software Engineering workshop (AOSE2001), Montreal.

[CARDON97] Cardon A., 1997, « A Multi-agent Model for Co-operative Communications in Crisis Management System », the Act of Communication, 7th European-Japanese Conference on Information Modelling and Knowledge Bases, Communication publiée dans les actes p. 111-123, Toulouse, 27-30 Mai 1997.

[COCKURN96] Cockburn D. et Jennings N.R, 1996, « ARCHON : A distributed artificial intelligence system for industrial application » Foundations of Distributed Artificial Intelligence (ets G.M.P O Hare and N.R Jennings), Wiley, 1996, 187-210.

[CRAMSE01] Caisse Régionale d'Assurance Maladie du Sud-Est, 2001, « Les risques professionnels en PACA et Corse », Résultats statistiques 2001.

[D]

[DARBELET98] Darbelet M., Izard L., Scaramuzza M., 1998 « Notions fondamentales de gestion d'entreprise » Foucher.

[DAVIDOW92] Davidow W., Malone M., 1992, « The virtual corporation », New York : Harper Business

[DDTEFP] DDTEFP, DRTEFP, « Evaluer les risques et programmer les actions de prévention»

[DEBRAIS96] Debray C., 1996, « L'hypogroupe, stratégie alternative de croissance de la petite entreprise », 3ème colloque international francophone de la PME, Université du Québec à Trois-Rivières, 23, 24 et 25 octobre. Actes du colloque, tome 1, p.200-211.

[DELARMINAT96] De Larminat P., 1996, « Automatique commande des systèmes linéaires », Edition Hermès.

[DEMAZEAU90] Demazeau Y., Müller J-P (Ed), 1990, « Decentralized Artificial Intelligence ». Elsevier.

[DEMAZEAU95] Demazeau Y., 1995, « From Interaction to Collective Behaviour in Agent-Based Systems », First European Conference on Cognitive Science, Saint-Malo, p. 117-132.

[DEROSNAY75] De Rosnay J., 1975 « Le Macroscope », Le Seuil 1975.

[DONNADIEU02] Donnadieu G., Karsky M., 2002, « La systémique penser et agir dans la complexité » Editions Liaisons.

[DULBECCO95] Dulbecco P., Rochhia M., 1995, « Coopération inter-entreprises, concurrence et évolution de la politique anti-trust » dans M. Rainelli, J. L Gaffard & A. Asquin, les nouvelles formes organisationnelles, Economica.

[DURAND79] Durand D., 1979, « La Systémique », Puf.

[DURFEE89] Durfee E.H, Lesser V., 1989, « Negotiating Task Decomposition and Allocation Using Partial Global Planning », in Distributed Artificial Intelligence, Volume 2, eds L. Gasser and M. Huhns. 229-244. San Francisco, Calif. :Morgan Kaufmann.

[E]

[ED5018] INRS, « L'évaluation des risques professionnels » Le points des connaissances sur …, ED5018.

[EDWARDS97] Edwards P., 1997, « Intelligent Agents = Learning Agents » J.L. Nealon & 0Taylor (Eds) Proceedings of the UK Inteligent Agents Workshop, SGES Publication, Oxford, 163-183.

[EROL94] Erol k., Hendler M., Nau D.S., 1994, « HTN Planning : Complexity and Expressivity » In proceedings of the 12th national conference on Artificial Intelligence (AAAI-94) – Seattle 1994.

[ETTIGHOFFER92] Ettighoffer D., 1992, « L'entreprise virtuelle », Odile Jacob, Paris.

[ETZIONI95] Etzioni O, Weld D.S, 1995, « Inteligent Agent on the Internet : Fact, Fiction and Forecast », University of Washington, IEEE Expert/Intelligent Systems & Their Applications Vol. 10, No. 4.

[F]

[FAVARO96] Favaro M., 1996, « La prévention dans les PME position du problème – examen de la littérature », Les notes scientifiques et techniques de l'INRS.

[FAVARO97] Favaro M.,1997, « La prévention dans les PM, enquête prise en charge de la sécurité – réorientation des risques », Les notes scientifiques et techniques de l'INRS.

[FAVARO99] Favaro M., 1999, « La prise en charge de la sécurité dans les PME. Quelques réflexions préalables à la conception d'actions de prévention », Document INRS ND 2096-174-99.

[FAVIER97] Favier M., Coat F., 1997, « Comment gérer une équipe virtuelle ?», Actes du 3ème colloque de l'AIM.

[FERBER89] Ferber J., 1989, « Objets et Agents : une étude des structures de représentation et de communications en Intelligence Artificielle. Thèse d'Etat, Université Paris 6.

[FERBER95] Ferber J., 1995, « Les systèmes multi-agents. Vers une intelligence collective ». InterEditions.

[FORTIN00] Fortin R., 2000, « Comprendre la complexité, Introduction à la méthode d'Edgar Morin », L'Harmattan.

[FRANCHESQUIN00] Franchesquin N., Espinasse B., 2000, « Analyse multi-agents de la gestion hydraulique de la Camargue : considérations métrologiques », Systèmes Multi-Agents, Méthodologie, technologie et expériences, JFIADSMA'00.

[FRANCKLIN96] Franklin S., Graesser A., 1996, « Is it an Agent, or just a Program ? : A Taxonomy for Autonomous Agents » Proceedings of the Third Internationnal Workshop on Agent Theories, Architectures and Languages, springer-Verlag.

[FREIDLANDER00] Freidlander M., « Le management d'hier et de demain : vers l'entreprise en réseau » Université de tous les savoirs, Qu'est-ce que la société ?, Edition Odile Jacob.

[G]

[GANDON02] Gandon F., 2002, « Distributed Artificial Intelligence And Knowledge Management : Ontologies and Multi-Agent Systems for a Corporate Semantic Web », Scientific philosopher doctorate thesis in informatics Inria and University of Nice Sophia-Antipolis.

[GARNEAU02] Garneau T., Delisle S., 2002, « Programmation orientée agent : évaluation comparative d'outils et environnements », Systèmes multi-agents et systèmes complexes: Ingénierie, résolution de problèmes et simulation (Actes des JFIADSMA'02).

[GEBAUER96] Gebauer J., 1996, « Virtual Organization from an economic perspective », Proceedings of the 4th European Conference on Information Systems.

[GENESERETH94] Genesereth M.R., Singh N.P., Syed M.A., 1994 « A Distributed and Anonymous Knowledge Sharing Approach to Software Interoperation ».

[GOGUELIN96] Goguelin P., 1996, « La prévention des risques professionnels », Que sais-je ? Poche.

[GOLDMAN93] Goldman S.L., Nagel R.N, 1993, « Management Technology and Agility : the emergence of new era in manufacturing », International journal of technology management, vol 8, n°1/2 pp18-38.

[GREGOIRE00] Grégoire L., 2000, « Supply chain management, logistique et entreprise virtuelle », Université de tous les savoirs, Qu'est-ce que la société ?, Edition Odile Jacob.

[GROSJEAN03] Grosjean V., 2003, « Comment favoriser chez les chefs d'entreprise une plus large prise en compte de la prévention. Perspectives théoriques et pragmatiques ». Document INRS ND 2188-190-03

[GUARNIERI00] Guarnieri F., Rigaud E., 2000, « Evaluation et maîtrise des risques dans les PME-PMI, position du problème, étude de cas "exploratoire" et perspectives à court terme. », Neuvième Conférence Annuelle, Les Rencontres de l'Association pour le management des risques et des assurances de l'entreprise, AMRAE 2001, Toulouse, France.

[GUERRIN98] Guerrin F., Courdier R., Calderoni S., Paillat J.-M., Soulie J.-C., Vally J.-D., 1998, « Conception d'un modèle multi-agents pour la gestion des effluents d'élevage à l'echelle d'une localité rurale » JFIADSMA'98.

[GUTKNECHT01] Gutknecht O., 2001, « Proposition d'un modèle organisationnel générique de systèmes multi-agents, Examen de ses conséquences formelles, implémentatoires et méthodologiques », Thèse de doctorat en Informatique, Université Montpellier II.

[H]

[HATCH00] Hatch M.-J., 2000, « Théorie des organisations, de l'intérêt de perspectives multiples », DeBoeck Université.

[HEDBERG97] Hedber B., Daklgren G., Hansson J. & Olve N.-G., 1997, « Virtual Organizations in changing Environnments » , Organization and Society, vol. 3, N°1.

[HIRIGOYEN81] Hirigoyen G., 1981, « Caractéristiques des moyennes entreprises industrielles (MEI) en France, Banque, n° 408, Juillet Août 1981.

[I]

[ISDFCETIM97] ISDF – CETIM, 197, « La maîtrise des risques dans les PME, 10 exemples d'applications pratiques de la sûreté de fonctionnement », Publication du Centre Technique de l'Industrie Mécanique (CETIM).

[J]

[JABER98] Jaber A., Guarnieri F., Wybo J.-L., 1998, «Un système d'Agents Logiciel Intelligents pour favoriser la coopération entre des systèmes d'Aide à la décision dédiés à la gestion de crise » Systèmes multi-agents de l'interaction à la socialité JFIADSMA'98.

[JENNING01] Jennings N.R., 2001 « An agent-based approach for building complex software systems », Communication of the ACM, April 2001 / Vol. 44, No 4.

[JENNINGS00]Jennings N.R., 2000 « On Agent-Based Software Engineering », Artificial Intelligence, Vol 117, No 2, pp. 277-296, 2000, Elsevier Science.

[JENNINGS98] Jennings N.R., Sycara K., Wooldridge M., 1998, « A Roadmap of Agent Resarch and Development » Autonomous Agents and Multi-Agent Systems, 1, 7-38 (1998).

[JULIEN97] Julien P.A., 1987, « Les PME bilan et perspectives » Economica.

[K]

[KEPNER-TREGOE90] Kepner-Tregoe, 1990, « La vision stratégique en action », Paris, Editions d'organisation .

[KIOSUR97] Kiosur D., 1997 « Comprendre le commerce électronique « , Microsoft Press.

[L]

[LASHKARI94] Lashkari Y., Metral M., Maes P., 1994, « Collaborative Interface Agents. » In Proceedings of the National Conference on Artificial Intelligence. Cambridge, MA:MIT Press.

[LEE97] Lee H.L., Padmanabhan V., Whang S., 1997, « Information distortion in a supply chain : the bullwhip effect ». Management Science, 43(4) :546-558.

[LEMOIGNE02] LE MOIGNE J.-L., 2002, « Le Constructivisme - TOME I – Les enracinements », Collection Ingénium, L'Harmattan 2002

[LESPERANCE95] Lesperance Y., Leveque H., Lin F et al., 1995, « Fondement d'une approche logique à la programmation d'agents », In Actes des troisièmes journées francophones sur l'intelligence artificielle distribuée et les systèmes multi-agents, Chambéry.

[LIEBERMAN97]] Lieberman H., 1997, « Autonomous Interface Agents », ACM Conference on Human Computer Interface, March 1997.

[M]

[MALONE93] Malone T.W., Rockart J.F., 1993, « How will Information Technology Reshape Organizations ? « , Computer as Coordination Technology », in S.P. Bradley, J. A. Hausman & R. L. Nolan, Globalization technology competition ; the fusion of computers and telecommunication in the 1990's, Harvard Business School, pp. 37-55.

[MARCHESNAY86] Marchesnay M., 1986, « La stratégie », Paris, Chotard.

[MARMUSE89] Marmuse C., Montaigne X., 1989, «Management du risque », Vuibert Entreprise.

[MEISSONIER00] Meissonier R., 2000, « Organisation virtuelle : conceptualisation, ingénierie et pratiques. Enquête auprès des PME de la région des pays de la Loire », Thèse de doctorat en sciences de gestion, Université de droit d'économie et des sciences d'Aix Marseille III, Institut d'Administration des Entreprises Aix-en-Provence.

[MINTZBERG89] Mintzberg H., 1989, « Le management, voyage au centre des organisations ». Editions d'Organisation.

[MITROFF89] Mitroff and all, 1989, « Do (some) Organizations Cause their Own Crises ? The Cultural Profiles of Crisis-prone vs. Crisis-prepared Organizations », Industrial Quaterly, vol 3, n°4, pp269-283.

[MORENO99] Moreno R., 1999, « Initiation au Grafcet », Casteilla.

[MORIN77] Morin E., 1977, « La nature de la nature, La méthode Tome 1 » Seuil.

[MORIN84] Morin E., 1984, « Sociologie », Points Essai.

[MORIN90] Morin E., 1990, « Introduction à la pensée complexe », ESF éditeur.

[MORIN99] Morin J.-M., « Sociologie de l'entreprise », Puf 1999.

[MOULIN96] Moulin B., Brassard M, 1996, « A scenario-based design method and an environment for the development of a multiagent systems. » In D. Lukose and C. Zhang, editors, First Australian Workshop on Distributed Artificial Inteligence, (LNAI volume 1087), pages 216-231. Springer-Verlag : Heidelberg, Germany, 1996.

[N]

[NWANA96] Nwana H.S., 1996, « Software agents : an overview » in the Knowledge Engineering Review, Vol 11 :3, 205-244.

[P]

[PERILHON00] Perilhon P., 2000, « L'analyse des risques : Eléments méthodiques », Pheobus, revue de la sûreté de fonctionnement, n°12 , janvier - février 2000.

[PERROW67] Perrow C., 1967, « A framework for comparative organizational analysis », American sociological Review, 32/2 : 194-208.

[PHAM93] Pham D., Monteau M., Favaro M., 1993, « La sécurité dans les petites et moyennes entreprises françaises, Quelques problèmes spécifiques », Cahier de notes documentaires de l'INRS n° 153.

[PHARN88] Pharn D., 1988, « Evaluation du coût indirect des accidents du travail », Cahiers de notes documentaires de l'INRS n°130.

[POLYNOME99] Polynome, 1999, « Le risque d'entreprendre », Les essentiels Milan.

[Q]

[QUERREC01] Querrec R., De Loor P., Chevaillier P., 2001, « Environnement virtuel pour la formation des officiers sapeurs-pompiers », Fondements des systèmes multi-agents, modèles, spécifications formelles et vérification. JFIADSMA'01.

[QUERREC02] Querrec R., 2002, « Les Systèmes Multi-Agents pour les environnements virtuels de simulation. Application à la sécurité civile », thèse de doctorat, Université de Bretagne Occidentale.

[R]

[RIGAUD01] Rigaud E., Guarnieri F., 2001, « Analyse de l'application de la méthode d'auto-diagnostic des risques ISDF CETIM au-prés de différentes PME-PMI de la région PACA » Rapport Interne Ecole des Mines de Paris.

[RIGAUD01] Rigaud E., 2001, « Analyse comparative de deux plates-formes de conception de systèmes multi-agents compatibles avec la norme FIPA » Rapport Interne Ecole des Mines de Paris.

[RIGAUD02] Rigaud E., Guarnieri F., 2002 « Toward an Agent-Oriented Virtual Organization Dedicated to Risk Prevention in Small and Medium Size Companies **».** Proceeding of the 13th International Workshop on Database and Expert Systems Application, DEXA 2002, Aix-en-Provence, France.

[RIGAUD03a] Rigaud E., Guarnieri F., Riout J., 2003. « Vers une méthode d'auto-diagnotic des défaillances liées aux produits et aux moyens de production à destination des PME-PMI. ». Actes du 5ème congrès international pluridisciplinaire Qualité et Sûreté de Fonctionnement. Qualita 2003.

[RIGAUD03b] Rigaud E., Guarnieri F., 2003, « Apport combiné de la théorie de la complexité et des systèmes multi-agents pour la mise en œuvre d'un logiciel d'analyse des risques dans les organisations ». Atelier Risque et IA, plate-forme AFIA 2003.

[ROBEY98] Robey D., Boudreau M.-C, Storey V.C, 1998, « Looking Before We Leap : Foundation for a Research Program on Virtual Organizations », Actes du 3ème colloque international de management des réseaux d'entreprises, Montréal, 31 août – 2 septembre p. 276-290.

[ROY02] Roy M., Audet M., 2002, « La quête de flexibilité par les nouvelles formes d'organisation du travail », Actes du 12ème congrès de l'AIPTLF à Louvin La Neuve – Belgique.

[S]

[SAAKSJARVI97] Saaksjarvi M., 1997, « Virtuality and organizational effectiveness: a layer framework for evaluation", 3ème colloque de l'AIM.

[SAINSAULIEU97] Sainsaulieu R., 1997, « Sociologie de l'entreprise, organisation, culture et développement », Presses de Sciences Po et Dalloz.

[SARKAR95] Sarkar M.B., Butler B. & Steinfield C., 1995, « Intermediaries and Cybermediaries : A Continuing Role for Mediating Players in the Electronic Marketplace », Journal of Computer-Mediated Communication, vol 1, n°3.

[SCHEIN89] Schein E.H., 1989, « Organizational culture and leadership ». Jossey Bass Publisher, San Francisco.

[SEMICH94] Semich J.W., 1994, « Information Replaces Inventory at the Virtual Corp », Datamation, July 15.

[SIEBER98] Sieber P., Griese J., 1998, « Virtual organizing a strategy for the Big Six to stay competitive in a global market », journal of Srategic Information Systems, n°7, pp167-181.

[SIMON91] Simon H.A, 1991, « Sciences des systèmes Sciences de l'artificiel », Dunod.

[SKYRME98] Skyrme J.D., 1998, « The reality of virtuality », in Organizational Virtualness, Proceedings of the VoNet, Workshop.

[SMITH80] Smith R. G., 1980, « The contract net protocol: High level communication and control in a distributed problem solver. » IEEE Trans. on Computers, 29(12):1104--1113, December 1980.

[SYCARA98] Sycara K., 1998, « Multiagent Systems », 1998, AI magazine Volume 19, N°2 Intelligent Agents Summer 1998.

[T]

[THOMPSON67] Thompson J., 1967, « Organizations in action ». New York : McGraw-Hill

[TISSEAU01] Tisseau J., 2001, « Réalité virtuelle : autonomie in virtuo », Habilitation à Diriger les Recherches, Université de Rennes 1.

[TRANVOUEZ99] Tranvouez E., Espinasse B., 1999, « Protocoles de coopération pour le réordonnancement d'atelier » Ingénierie des systèmes multi-agents, JFIADSMA'99, Hermès.

[TRAVICA97] Travica B., 1997, « The design of the virtual organization : a research model », Proceedings of the Association for Information Systems, Americas conference, Indianapolis, 15-17 August

[U]

[UPTON96] Upton D.M, McAfee A., 1996, « The real Virtual Factory », Harvard Business Review, July – August.

[V]

[VENKATRAMAN95] Venkatraman N., 1995, « Reconfigurations d'entreprises provoquées par les technologies de l'information », dans M.S. Scott-Morton, L'entreprise compétitive au futur, Les Editions d'Organisation, p. 151-195.

[VILLEMEUR88] Villemeur A., 1988, « Sûreté de fonctionnement et systèmes industriels », Eyrolles.

[W]

[WEBER46] Weber M., 1946, « From Max Weber : Essays in sociology », (ed. Hans H. Gerth, C. Wright Mills). New York : Oxford University Press (traduction d'origninaux publiés en 1906-1924).

[WEISSENBERG69] Weissenberg G., 1969, « Promotion of Occupational Safety and Health in Small Undertakings. Action by workers' organizations », Congrès international de sécurité et d'hygiène du travail, Genève, 30 juin-4 juillet 1969.

[WITTIG92] Wittig T., 1992 « ARCHON : An Architecture For Multi-agent Systems », Ellis Horwood Chichester.

[WOODWARD58] Woodward J., 1958, « Management and technology. London : Her Majesty's Stationery Office ».

[WOOLDRIDGE95] Wooldridge M.J., Jennings N.R., 1995, « Intelligent Agents : Theory and Practice. » The Knowledge Engineering Review, 10(2) :pp. 115-152.

[WOOLDRIDGE98] Wooldridge M. J., Jennings N. R., 1998, « Pitfalls of Agent-Oriented Development », Proc 2nd Int. Conf. on Autonomous Agents (Agents-98), Minneapolis, USA, 385-391.

[WOOLDRIDGE00] Wooldridge M. J., Jennings N. R., Kinny D., 2000 , « The Gaia Methodology for Agent-Oriented Analysis and Design », Autonomous Agents and Multi-Agents Systems, 3, 285-312, 2000.

Index des illustrations

Table des Figures

Chapitre 1

Figure 1.1 Système des acteurs de gestion des risques professionnels. Les trois catégories d'acteurs et d'institutions sont présentées : les acteurs de gestion des conditions du travail sous la tutelle de la Direction des relations du travail, les acteurs de la gestion de la sécurité sociale sous la tutelle de la Direction de la sécurité sociale et les acteurs de la gestion des risques au sein de l'entreprise. 32

Figure 1.2 Représentation symbolique d'un système d'après [DONNADIEU02]. Ce concept permet de caractériser un dispositif à l'aide de variables d'entrées et de sorties qui sont reliées par des traitements dépendants de fonctions de transfert et de variables de flux et d'états. 41

Figure 1.3 Principe de la rétroaction. La possibilité de relier une sortie d'un système à une de ses entrées permet de représenter des mécanismes d'auto-contrôle ou de régulation naturels ou artificiels..... 42

Figure 1.4 La boucle tétralogique [MORIN77]. Ce schéma illustre un ensemble de concepts de modélisation de la dynamique d'une organisation offert par la pensée complexe. L'organisation évolue selon une spirale issue de la succession d'interactions induisant des relations d'ordres et de désordres..... 43

Figure 1.5 Le système PME-PMI d'après [HATCH00]. Ce modèle présente les composantes qui permettent de décrire le fonctionnement interne (structure sociale, structure physique, culture et technologie) et externe (environnement organisationnel et environnement général) d'une PME-PMI. 45

Figure 1.6 Le système de gestion des risques. Ce modèle est constitué des éléments qui permettent de décrire le fonctionnement d'une PME-PMI (organisation cible et environnement) et leurs interactions avec un système de gestion des risques qui est constitué de composantes de diagnostic, d'aide à la décision, de supervision et d'auto-contrôle. 49

Figure 2.1 Les trois niveaux de virtualisation d'après [MEISSONIER00]. Ce schéma présente les trois axes permettant de classifier les applications résultant de l'utilisation d'un système d'intermédiation électronique : la virtualisation des tâches, la virtualisation de la coordination et la virtualisation de la coopération. 57

Figure 2.2 Les interactions de sensibilisation à la prévention des risques. Cette composante de l'organisation est constituée de trois types d'acteurs : les chefs d'entreprises, les experts et les acteurs de la gestion des risques. Ils interagissent par l'intermédiaire d'un environnement de travail qui leur offre des facilités de dialogues et d'échanges d'information dans le but de créer une culture de gestion des risques au sein des entreprises. 65

Figure 2.3 La gestion des risques internes à l'entreprise. Il s'agit des acteurs de l'entreprise : le chef d'entreprise et les responsables de fonctions (production, conception , marketing, …). Ils interagissent avec un environnement de travail qui offre des fonctionnalités de diagnostics, de surveillance et de coordination des actions de gestion des risques. 67

Figure 2.4 La gestion des risques externes à l'entreprise. elle est assurée par les relations entre des entrepreneurs dont les entreprises sont situées sur le même territoire ou appartiennent au même réseau économique. Ils interagissent par l'intermédiaire d'un environnement de travail qui leur permet d'accéder à des fonctionnalités de diagnostics, de supervision et de gestion de crises. 67

Figure 2.5 La structure sociale de la PME « Meca Plus ». Cet organigramme permet de distinguer les différents acteurs de la PME et leur lien de subordination. 71

Figure 2.6 La structure physique de la PME. Elle permet de présenter l'agencement des différentes pièces du bâtiment dans lequel est située l'entreprise étudiée. 71

Figure 2.7 La chaîne de production de l'entreprise « Méca Plus ». Le parcours et les traitements subis par les pièces mécaniques est illustré, ainsi que le rôle et le positionnement des différents acteurs de gestion de cette chaîne de production. .72

Figure 2.8 La chaîne logistique de l'entreprise « Meca Plus ». Cette figure permet d'identifier l'ensemble des entreprises impliquées dans la chaîne logistique et le positionnement de la PME en son sein. 72

Figure 2.9 Architecture de l'organisation virtuelle de sensibilisation. La construction de l'organisation virtuelle de sensibilisation à la gestion des risques repose sur un ensemble de bases de données contenant les échanges entre les utilisateurs ainsi que les modes de défaillances des dispositifs technologiques. Les utilisateurs saisissent et accèdent à ces données à travers le réseau Internet. 73

Figure 2.10 Architecture des traitements de supervision de l'organisation virtuelle de gestion des risques internes à l'entreprise. Elle est constituée d'un dispositif d'acquisition des données qui décrit le fonctionnement de la chaîne de production, d'un ensemble de mécanismes qui compare ces données avec les valeurs idéales attendues et d'interfaces qui permettent au chef d'entreprise et au responsable de la production de veiller au bon fonctionnement de la chaîne de production. 74

Figure 2.11 Architecture des traitements de diagnostic de l'organisation virtuelle de gestion des risques internes à l'entreprise. Elle est constituée d'interfaces permettant aux différents utilisateurs d'effectuer les diagnostics de leur secteur d'activité. Les résultats sont stockés dans une base de données et accessibles par l'intermédiaire d'interfaces qui s'adaptent selon le profil de l'utilisateur. 75

Figure 2.12 Architecture des traitements d'auto-contrôle de l'organisation virtuelle de gestion des risques internes à l'entreprise. Elle repose sur des traitements qui vérifient régulièrement la pertinence des informations présentes dans les bases de diagnostics et dans les traitements de supervision pour détecter un dysfonctionnement de l'utilisation de l'organisation virtuelle. Un ensemble de formulaires permet de renseigner le chef d'entreprise sur l'usage qui est fait de l'organisation virtuelle. ... 75

Figure 3.1 Modèle canonique de systèmes complexes d'après [JENNINGS01]. Un système qualifié de complexe est perçu comme un ensemble d'éléments hiérarchisés en interaction. 89

Figure 3.2 Relation entre les modèles de la méthode Gaia d'après [WOOLDRIDGE00]. L'information acquise lors de l'étape d'expression des besoins permet d'identifier les caractéristiques, nécessaires à la programmation des agents et du système multi-agents, qui vont répondre à ces besoins. 90

Figure 3.3 Le modèle Agent – Groupe – Rôle d'après [GUTKNECHT99]. Les composantes du modèle sont fortement inter-reliées et permettent d'identifier de manière simple les composantes d'un système multi-agents. 92

Figure 3.4 Structure générale de Madkit d'après [GUTKNECHT01]. Cette plate-forme repose sur un noyau qui offre les mécanismes de gestion d'agents construits à partir du modèle « Agent-Groupe-Rôle ». L'ensemble des autres fonctionnalités est rempli par un ensemble d'agents spécifiques (applicatif, système ou scheduler). 94

Figure 3.5 Maillage d'agents entre les systèmes technologiques. Les mécanismes d'intermédiation entre les différents dispositifs technologiques sont conçus en reliant chaque dispositif à un agent et en réalisant des processus d'interactions entre ces agents. 102

Figure 3.6 Concepts de modélisation adoptés. Le dispositif étudié sera décrit à l'aide d'un ensemble de systèmes caractérisé par un ensemble d'entrées et de sorties reliées par une fonction de transfert et des variables de flux et d'états. 103

Figure 3.7 Objectifs de la fonction de transfert. La fonction de transfert doit permettre d'identifier les caractéristiques d'un modèle d'agent à partir des informations caractérisant un système, et les informations relatives aux défaillances associées décrites à l'aide d'un tableau AMDEC..... 104

Figure 4.1 Hiérarchie de classes de définition du comportement d'un agent JADE d'après [JADE03]. Ce schéma présente la hiérarchie des classes utilisées pour réaliser un agent à l'aide de la plate-forme JADE. 113

Figure 4.2 Diagramme de classe du dispositif d'échange de messages entre l'agent et les systèmes technologiques. Cette hiérarchie de classe fournit les mécanismes généraux de gestion de la communication entre un agent JADE et un dispositif technologique. 115

Figure 4.3 Scénario de transmission de message de l'agent vers un dispositif technologique. Ce scénario illustre les échanges de messages induit lors de la transmission d'un message de l'agent vers un dispositif technologique à l'aide du pattern de constructeur virtuel.....115

Figure 4.4 Scénario de transmission de message d'un dispositif technologique vers un agent. Ce scénario illustre les échanges de messages entre les différents objets impliqués dans le processus de transmission d'information entre un dispositif technologique et un agent JADE. 116

Figure 4.5 Communication Agent – Base de données. Ce schéma illustre les composantes de l'architecture de communication entre un agent d'intermédiation et une base de donnée. 116

Figure 4.6 Principe de fonctionnement des pushelts. Cette technologie permet la transmission d'information entre un serveur HTTP et une application reposant sur les technologies de l'Internet..... 117

Figure 4.7 Communication du Serveur HTTP vers un agent. Ce schéma illustre l'architecture permettant l'échange d'information entre une application reposant sur les technologies de l'Internet et un agent d'intermédiation. 117

Figure 4.8 Communication entre un agent et un code de calcul. Cette figure présente l'architecture de communication entre un agent d'intermédiation et un code de calcul.....117

Figure 4.9 Architecture générale du dispositif de communication. Elle est constituée d'un agent JADE et d'un gestionnaire de communication permettant l'échange d'information entre les traitements de l'agent et une base de donnée, un serveur HTTP ou bien un code de calcul. 118

Figure 4.10 La structure de données de définition de l'environnement de l'agent. Cette hiérarchie de classe permet de représenter l'information concernant le contexte d'exécution de l'agent et les compétences des autre agents du système..... 119

Figure 4.11 La structure de données gestionnaire d'environnement. Cette classe fournit les méthodes qui permettent l'interaction entre un comportement JADE et les informations qui caractérisent l'environnement de l'agent d'intermédiation..... 119

Figure 4.12 Interactions d'ajout d'un agent. Ce scénario illustre les échanges de messages entre les agents du système d'intermédiation lorsqu'un nouvel agent est ajouté. Il s'agit essentiellement de messages de transmission des fonctionnalités de chaque agent. 122

Figure 4.13 Diagramme de séquence du comportement EnregistreAgent. Ce scénario correspond aux échanges de messages entre les objets de la structure de données de gestion de l'environnement de l'agent qui visent à enregistrer les informations caractérisant le nouvel agent du système. 123

Figure 4.14 Processus de retrait d'un agent. Ce scénario illustre les interactions entre les objets de la structure de données de gestion de l'environnement de l'agent dans le but de supprimer les informations relatives à l'agent qui est retiré du système.....123

Figure 4.15 La structure de données de définition des services. Cette hiérarchie de classe permet de décrire les traitements fournis par les systèmes technologiques reliés à l'agent d'intermédiation. 125

Figure 4.16 Structure de données de gestion des services. Cette hiérarchie de classe fournit les méthodes qui vont permettre la manipulation de services par les comportements JADE. 125

Figure 4.17 Interactions d'exécution de services. Ce scénario décrit les échanges de messages entre les agents d'un système d'intermédiation lors d'une demande d'exécution d'un service. 128

Figure 4.18 Scénario de gestion de l'exécution d'un service. Ce scénario illustre les appels de méthodes entre les objets de gestion de l'exécution des services.....128

Figure 4.19 Scénario de gestion de l'exécution automatique des services. Ce scénario illustre les interactions survenant lors de la détection d'une situation qui nécessite l'exécution d'un service..... 129

Figure 4.20 Eléments d'un grafcet. Ce schéma présente les différents types de liaison entre les actions d'un Grafcet qui vont servir de support à la définition de la structure de données de représentation d'un Plan. 131

Figure 4.21 La structure de la classe Plan. Cette hiérarchie de classes permet de représenter les informations caractérisant un plan. 131

Figure 4.22 Structure de données GestionnaireDePlan. Cette hiérarchie de classe fournit les méthodes permettant à un comportement JADE de manipuler les différentes instances de Plan dont il a la gestion. 132

Figure 4.23 Interactions liées à l'exécution de l'association d'un service à chaque tâche du plan. Ce scénario présente les échanges de messages entre agents relatifs au processus de recherche des Services présent au sein du système d'intermédiation correspondant aux Tâches du plan. 135

Figure 4.24 Interactions liées à l'exécution des services associés à un plan. Ce scénario illustre les échanges de messages entre les agents à propos de l'exécution des services sélectionnés pour remplir les objectifs d'un plan. 136

Figure 4.25 Hiérarchie de classes de représentation du profil des utilisateurs. Cette structure de données permet de représenter l'ensemble des informations qui vont permettre de gérer les mécanismes d'accès aux services et aux plans du système d'intermédiation en fonction des utilisateurs. 137

Figure 4.26 Hiérarchie de classes de représentation des caractéristiques d'un traitement. Cette structure de données permet de représenter l'information caractérisant les conditions devant être remplies pour autoriser un utilisateur à accéder au service ou au plan. 138

Figure 4.27 Formulaire de supervision du système d'intermédiation. Ce formulaire présente le tableau de bord de gestion du système d'intermédiation associé à l'agent de supervision qui permet de visualiser les informations relatives au fonctionnement du système d'intermédiation. 140

Figure 5.1 Interfaces d'accès aux discussions. Ces interfaces permettent de consulter et d'ajouter l'ensemble des discussions d'une thématique (ici les risques technologiques) ainsi que l'ensemble des messages relatifs à une discussion (ici l'utilisation de la sûreté de fonctionnement au sein des PME-PMI).....148

Figure 5.2 Exemple de fiche de description d'une ressource documentaire. La fiche offre l'ensemble des informations relatives à l'ouvrage décrit. Ce document étant accessible au format numérique, l'utilisateur a la possibilité de le visualiser intégralement.....149

Figure 5.3 Formulaire de recherche de ressources documentaires. Ce formulaire permet à l'utilisateur de saisir les critères de recherche correspond aux documents qu'il souhaite trouver. 150

Figure 5.4 Formulaire de saisie des objectifs d'un diagnostic. Il permet à l'entrepreneur de renseigner les informations relatives aux objectifs et au mode opératoire du diagnostic. 152

Figure 5.5 Formulaire de saisie des enjeux de l'entreprise. Il permet à l'entrepreneur de hiérarchiser les priorités du dispositif qui va être diagnostiqué... 152

Figure 5.6 Formulaire de diagnostic de la maîtrise des besoins dans le processus de conception des produits de l'entreprise. Il contient les questions permettant l'identification de potentielles sources de défaillances dans le processus d'analyse des besoins d'un produit. 153

Figure 5.7 Exemple de plan d'actions généré par le système de diagnostic. Le document généré contient l'ensemble des actions que doit mettre en œuvre l'entreprise pour diminuer sa vulnérabilité aux défaillances produits. L'utilisateur a la possibilité de modifier la hiérarchie des tâches à effectuer et d'ajouter un complément d'information (personne en charge des corrections, délais, coûts …). 154

Figure 5.8 Le dispositif de contrôle des pièces mécaniques. Celui-ci a pour objet de trier des composants mécaniques. Les composants défectueux, détectés par un capteur, sont acheminés vers une corbeille par l'intermédiaire d'un tapis roulant. 155

Figure 5.9 Le modèle du système de contrôle des pièces mécaniques. Un système a été associé à chaque composant du dispositif de tris de pièce mécaniques. Les flux

d'information représente le cheminement des pièces mécaniques et des différents signaux générés (détection d'une anomalie, déclenchement du bras mécanique, etc.).. 157

Figure 5.10 Aperçu du logiciel d'analyse des risques du dispositif de gestion de pièces mécaniques. L'interface permet de suivre l'évolution des variables des différents systèmes et de les modifier de sorte d'identifier les conséquences d'un événement tel qu'une panne de capteur ou l'accélération du tapis roulant. 159

Figure 5.11 La structure physique du prototype d'organisation virtuelle de gestion des risques. Cette architecture est constituée des trois agents nécessaires au fonctionnement du système d'intermédiation (contrôle des autorisations d'accès, gestion des sauvegardes et auto-contrôle du système) et de cinq agents d'intermédiations reliés à chacun des logiciels qui constituent l'organisation virtuelle (cf. §5.2). 160

Figure 5.12 Plan de recherche d'information. Ce Plan est constitué de tâches dont l'objectif est d'interroger l'ensemble des bases de données présentes au sein de l'organisation virtuelle dans le but de fournir le plus de réponses possible à la requête d'un utilisateur. 163

Figure 5.13 Formulaire de recherche d'information globale du système. Cette interface permet de déclencher le Plan de recherche d'information et d'en afficher le résultat. 164

Figure 5.14 Plan de gestion des perturbations. Ce plan est constitué des tâches correspondant aux actions réalisés en cas de survenue d'une perturbation dans le but de fournir au responsable de la crise de l'information pertinente issues des fonctionnalités de l'organisation virtuelle. 164

Figure 5.15 Aperçu de l'espace de travail d'un chef d'entreprise. Cette interface permet l'accès à l'ensemble des fonctionnalités accessibles par le chef d'entreprise. Elle offre également un ensemble d'information relatives à l'utilisation des différentes fonctionnalités et sur la survenue d'événements dans le système. 167

Figure 5.16. Le prototype d'organisation virtuelle de gestion des risques. Ce prototype est constitué de trois acteurs de la PME-PMI (chef d'entreprise, responsable production et responsable conception) et de six agents d'intermédiation reliés aux logiciels), de gestion de forums de discussions (cf. §5.2.1), de gestion de ressources documentaires (cf.§5.2.2), de gestion des diagnostics (cf. §5.2.3), d'analyse des risques (cf. §5.2.4) et à un serveur HTTP de gestion de l'environnement de travail des acteurs de l'organisation virtuelle (cf. §5.3.1.5). 168

Liste des Tableaux

Chapitre 2

Tableau 2.1 Quelques définitions du concept d'organisation virtuelle. Ce tableau reprend un ensemble de définitions du concept d'organisation virtuelle présentées dans [MEISSONIER00]..... 55

Tableau 2.2 Emergences et contraintes au sein d'une organisation virtuelle. Ce tableau reprend les résultats de l'analyse de l'utilisation d'un système d'intermédiation électronique à l'aide de la pensée complexe. Elles sont classées en quatre catégories : les émergences organisationnelles ; les émergences

technologiques ; les contraintes organisationnelles et les contraintes technologiques. 60

Tableau 2.3 Caractérisation d'une organisation virtuelle de gestion des risques professionnels. Ce tableau présente les objectifs attendus par le déploiement de l'organisation virtuelle de gestion des risques ainsi que les rôles des différents utilisateurs et les fonctionnalités devant être offertes par les systèmes technologiques qui la constituent. 69

Tableau 3.1 Quelques définitions du concept d'agent logiciel..... 83

Tableau 3.2 Propriétés des agents logiciels d'après [GANDON02]..... 84

Tableau 3.3 Différentes typologies d'agents..... 85

Tableau 3.4 Caractéristiques d'un agent d'intermédiation. L'agent d'intermédiation possède des connaissances, des croyances, des mécanismes internes et des protocoles spécifiques. 102

Tableau 3.5 Exemple de tableau AMDEC. La démarche d'identification des défaillances du dispositif consiste à remplir un tableau AMDEC pour chaque système identifié lors de la phase de modélisation. Un exemple tiré de [ISDFCETIM97] relatif à un groupe électrogène illustre l'utilisation de ce type de tableau. 104