

N° d'ordre :

THESE

présentée en vue de
l'obtention du titre de

DOCTEUR

de

**L'INSTITUT NATIONAL POLYTECHNIQUE DE TOULOUSE
SPECIALITE : SYSTEMES INDUSTRIELS**

par

Marc FUMEY

**Méthode d'Evaluation des Risques Agrégés :
application au choix des investissements
de renouvellement d'installations**

Directeur de thèse : Germain LACOSTE

Soutenance prévue le 5 janvier 2001 devant la Commission d'Examen :

Jacky MONTMAIN Rapporteur
Jean-Michel RUIZ Rapporteur
Dominique BERGEZ Examineur
Georges-Yves KERVERN Examineur
Michel PATY Examineur
Jean-Michel PENALVA Examineur
Hervé PINGAUD Examineur
Germain LACOSTE Directeur de thèse

A la mémoire de mon parrain Guy.

Remerciements

Le travail présenté dans ce mémoire est la concrétisation de trois années de recherche menées au Centre Génie Industriel de l'Ecole des Mines d'Albi-Carmaux, en partenariat avec Gaz de France.

Je tiens à exprimer ma profonde gratitude envers mes directeurs de recherche. Je remercie Monsieur G. LACOSTE, Professeur à l'Institut National Polytechnique de Toulouse, ancien directeur du Centre Génie Industriel de l'Ecole des Mines d'Albi-Carmaux, pour m'avoir accueilli dans cet établissement et pour la confiance et la sympathie qu'il m'a témoignées. Je remercie Monsieur H. PINGAUD, Professeur au Centre Génie Industriel, pour avoir accepté de présider ce jury de thèse. Je le remercie également pour son enthousiasme et les précieux conseils qu'il m'a prodigués durant la rédaction de ce mémoire. Nul doute que notre rencontre à Montréal, savamment orchestrée par un ami commun, demeurera l'un des moments les plus enrichissants sur le plan personnel. Je remercie Monsieur M. ZELFANI, chercheur PROGEP à l'Institut National Polytechnique de Toulouse, pour avoir initié cette recherche et m'avoir ainsi permis de la mener à bien.

Ce travail est également, pour une large part, le fruit d'un projet mené par toute une équipe du service Qualité Fourniture Gaz du Centre EDF GDF Services de Bagneux. Je pense tout particulièrement à Messieurs B. MOURET, C. COURPOTIN, J.P. DELUCHAT, C. GENDRILLON, D. POMMET et G. ROUSSEL. Ce travail n'a pu aboutir que grâce à la participation active et à la disponibilité de chacun. Qu'ils trouvent ici l'expression de ma profonde gratitude.

Je tiens à exprimer toute ma reconnaissance envers les membres du jury qui, par leurs remarques et la complémentarité de leurs jugements, m'ont prouvé tout l'intérêt qu'ils ont porté à ce travail. Je remercie Monsieur J. MONTMAIN, Professeur à l'Ecole des Mines d'Alès et Monsieur J.M. RUIZ, Professeur à l'Ecole Nationale Supérieure de Synthèses, de Procédés et d'Ingénierie Chimiques d'Aix-Marseille, pour avoir accepté de rapporter ce travail. Je remercie Monsieur G.Y. KERVERN, Professeur à la Sorbonne, fondateur de l'Institut Européen de Cindyniques, de m'avoir fait l'honneur de participer au jury. Je remercie Monsieur M. PATY, Directeur Appuis à la Direction de la Recherche de Gaz de France, pour sa disponibilité et pour la pertinence de ses commentaires. Enfin, je remercie Monsieur D. BERGEZ, Directeur du Centre Génie Industriel et Monsieur J.M. PENALVA, Directeur adjoint du Centre de Génie Informatique et d'Ingénierie de Production de l'Ecole des Mines d'Alès, pour l'attention qu'ils ont portée à ce travail.

J'adresse tous mes remerciements aux chercheurs du Centre Génie Industriel, qui m'ont accompagné durant ces trois ans et qui ont partagé mes rires et mes craintes. Je pense particulièrement à Didier et Schéhérazade pour leurs conseils. Un grand clin d'œil à Isabelle pour son aide et sa patience.

Je remercie également celles et ceux qui m'ont appris "les vraies valeurs en amitié". Ces personnes ont largement participé à enrichir mes connaissances au plan personnel. Mes pensées vont vers mes amis proches, Carine, Catherine, David, Emmanuel, Franck, Khaled, Lionel, Marie-Pierre, Serge...

Je ne saurai jamais assez remercier toute ma famille qui, chacun à leur manière, participent, directement ou indirectement, à l'accomplissement de mes projets. Que ce mémoire en soit un exemple capital.

A Tiphaine, pour ton amour, ton soutien et ta patience pendant ces trois années.

Table des matières

Introduction	1
Chapitre I	
Qualité, sécurité et choix d'investissements	
1 Introduction	5
2 Qualité et sécurité	5
2.1 Introduction.....	6
2.2 Concepts de base.....	6
2.2.1 Qualité.....	6
2.2.2 Sécurité.....	7
2.3 Management de la qualité et de la sécurité.....	8
2.3.1 Introduction.....	8
2.3.2 L'entreprise et son environnement.....	8
2.3.3 Enjeux.....	10
2.4 Système de management intégré.....	11
2.4.1 Introduction.....	11
2.4.2 Contexte lié aux risques.....	11
2.4.3 Convergence entre qualité, sécurité et environnement.....	12
2.5 Référentiel de la Fondation Européenne pour le Management de la Qualité.....	13
2.6 Conclusion.....	14
3 Choix des investissements	14
3.1 Introduction.....	14
3.2 Notion d'investissement.....	15
3.2.1 Définition.....	15
3.2.2 Types d'investissements.....	16
3.2.3 Processus d'investissement.....	16
3.2.4 Plan d'investissement.....	17
3.3 Choix d'investissements.....	18
3.3.1 Problème du choix.....	18
3.3.2 Actualisation.....	18

3.3.3	Valeur actuelle nette.....	19
3.3.4	Taux interne de rentabilité	20
3.3.5	Autres méthodes de choix	20
3.4	Investissements de renouvellement.....	21
3.4.1	Définition.....	21
3.4.2	Problème du renouvellement	21
3.4.3	Usure et obsolescence.....	22
3.5	Conclusion.....	22
4	Evaluation du risque global	23
4.1	Cadre expérimental d'étude	23
4.2	Problématique générale	24
4.2.1	Quels risques ?	24
4.2.2	Limites et utilité des méthodes d'analyse des risques existantes	24
4.2.3	Comment évaluer un indicateur de risque global ?	24
Chapitre II		
Risque : concepts, typologie et cadre industriel		
1	Introduction	27
2	Contexte et problématique liés à l'activité de distribution	27
2.1	Généralités.....	28
2.2	Qualité et sécurité.....	29
2.2.1	Qualité de service	29
2.2.2	Qualité des installations.....	29
2.3	Schémas directeurs d'évolution des réseaux	30
2.3.1	Généralités.....	30
2.3.2	Schémas directeurs d'évolution des réseaux existants	30
2.3.3	Démarche d'élaboration des schémas directeurs d'évolution des réseaux.....	31
2.4	Expression des besoins	31
2.4.1	Démarche sécurité.....	31
2.4.2	Attendus sécurité.....	31
2.4.3	Démarche méthodologique de prise en compte des dangers.....	32
2.4.4	Attendus de l'étude	32
3	Taxonomie du risque	32
3.1	Introduction	33
3.1.1	Gérer le risque.....	33
3.1.2	Risques nouveaux.....	33
3.1.3	Nouveaux besoins de la maîtrise des risques de l'entreprise	33
3.1.4	Elaborer une méthodologie de maîtrise intégrée des risques	34
3.2	Historique.....	34
3.3	Concept.....	35
3.3.1	Danger et risque.....	35
3.3.2	Bilan des acceptions du mot "risque"	35
3.3.3	Définition.....	36

3.3.4	Cindyniques	36
3.4	Risques de l'entreprise	38
3.4.1	Risques différenciés par nature	38
3.4.2	Risques différenciés par origine	39
3.4.3	Risques différenciés par leurs conséquences.....	40
3.4.4	Risques différenciés par leur niveau d'assurabilité	41
3.4.5	Risques différenciés par domaine d'activité	42
3.4.6	Autres risques de l'entreprise.....	43
3.4.7	Synthèse des caractéristiques du risque de l'entreprise.....	44
3.5	Risques Majeurs.....	44
3.5.1	Définition.....	44
3.5.2	Risques environnementaux.....	45
3.5.3	Risques Naturels	45
3.6	Risque Technologique	45
3.6.1	Eléments historiques.....	45
3.6.2	Quelques grandes catastrophes technologiques	47
3.6.3	Risque Industriel.....	48
3.6.4	Risque nucléaire	49
3.6.5	Risque transport de matières dangereuses.....	49
3.6.6	Risque sanitaire et risque alimentaire	50
3.7	Risque Urbain	51
4	Conclusion	51

Chapitre III

Analyse et gestion des risques

1	Introduction	55
2	Processus de gestion des risques	55
2.1	Principe et définition	56
2.2	Groupe de travail et gestionnaire de risques.....	57
2.3	Processus détaillé.....	57
2.3.1	Etude préalable	58
2.3.2	Identification des risques.....	59
2.3.3	Evaluation des Risques.....	61
2.3.4	Traitement des risques.....	70
2.3.5	Suivi et capitalisation.....	79
3	Principales méthodes d'analyse des risques	81
3.1	Approches déterministes et probabilistes.....	81
3.1.1	Approche déterministe	81
3.1.2	Approche probabiliste	81
3.2	Méthodes de la sûreté de fonctionnement.....	82
3.2.1	Principales méthodes	82
3.2.2	Méthodes basées sur l'analyse des processus stochastiques	86
3.2.3	Méthodes d'analyse des accidents.....	88

3.2.4	Méthode d'Evaluation Prévisionnelle de la Fiabilité Humaine	88
4	Méthode Organisée Systémique d'Analyse de Risques	89
4.1	Objectifs	89
4.2	Démarche	90
4.2.1	Modélisation	90
4.2.2	Identification des systèmes sources de dangers	91
4.2.3	Identification des scénarios d'accidents	91
4.2.4	Evaluation des risques principaux	92
4.2.5	Négociation des objectifs globaux	92
4.2.6	Identification des moyens de prévention et de protection	93
4.3	Limites	93
5	Etude de sécurité principale	93
5.1	Description technique	94
5.2	Décomposition en sous-systèmes	95
5.3	Identification des systèmes sources de dangers	96
5.3.1	Description des dangers spécifiques	96
5.3.2	Systèmes sources de dangers	97
5.4	Identification des scénarios d'accident	98
5.4.1	Modélisation sous forme de boîte noire	98
5.4.2	Scénarios d'enchaînement d'événements non souhaités	102
5.4.3	Evaluation des risques principaux	103
5.5	Identification des barrières de prévention et de protection	105
5.6	Conclusions	105
6	Conclusion	106

Chapitre IV

Aide à la décision pour l'évaluation de la priorité de renouvellement

1	Introduction	109
2	Aide multicritère à la décision	109
2.1	Décision et processus décisionnel	109
2.1.1	Typologie des décisions	110
2.1.2	Processus décisionnel	110
2.2	Aide à la décision	111
2.2.1	Définitions	112
2.2.2	Démarches de modélisation	115
2.2.3	Problématiques d'aide à la décision	116
2.2.4	Approches opérationnelles du critère unique de synthèse	116
3	Procédure d'Analyse Hiérarchique	118
3.1	Principes de pensée	118
3.1.1	Construction de hiérarchies	118
3.1.2	Structuration de priorités	119

3.1.3	Cohérence logique.....	119
3.2	Démarche	119
3.2.1	Décomposition du problème.....	120
3.2.2	Estimation de l'Importance Relative des Critères	121
3.2.3	Evaluation du critère unique de synthèse	125
4	Modélisation hiérarchique	122
4.1	Sécurité des rues et des quartiers	122
4.2	Sécurité incendie des immeubles collectifs	124
4.2.1	Incendie d'habitation	124
4.2.2	Fondements du diagnostic sécurité incendie	125
4.2.3	Points de contrôles.....	127
4.3	Caractéristiques des installations de distribution.....	128
4.3.1	Conduite d'immeuble.....	129
4.3.2	Conduite montante	133
4.4	Priorité de renouvellement des installations collectives	133
4.4.1	Implantation informatique.....	134
4.4.2	Exploitation.....	136
5	Conclusion	138
5.1	Apports	138
5.2	Limites et perspectives	139

Chapitre V

Méthodologie d'Evaluation des Risques Agrégés

1	Introduction	147
2	Problématique de la gestion du risque global	148
3	Démarche	149
3.1	Modèle de prise en compte du risque	149
3.2	Processus intégrant	151
3.3	Démarche détaillée.....	152
3.3.1	Spécification	152
3.3.2	Analyse	154
3.3.3	Modélisation.....	157
3.3.4	Implantation.....	160
3.3.5	Exploitation.....	160
3.3.6	Suivi	162
4	Conclusion	163
	Conclusion générale	165
	Bibliographie	169

Index des figures

I.1	Sécurité, qualité : une même évolution [AFNOR 92]	7
I.2	Parties intéressées en relation avec l'entreprise	9
I.3	Intégration des systèmes Qualité, Sécurité et Environnement [MAZ 97]	12
I.4	Modèle EFQM	14
I.5	Types d'investissements	16
I.6	Flux de trésorerie [MAR et al. 87]	18
I.7	Taux Interne de Rentabilité	20
I.8	Evolution du risque dans le temps	23
II.1	Installations à usage collectif – Installations en concessions	28
II.2	Les cinq domaines fondamentaux des cindyniques [WYB 98]	37
II.3	Risques et origine [Mar et al. 89].....	40
II.4	Risque produit commercialisé	42
II.5	Risque produit utilisé	42
II.6	Caractère multidimensionnel des risques de l'entreprise.....	44
III.1	Processus synthétique de gestion des risques	58
III.2	Flux de danger – transition d'état extrait du modèle MADS [PER 97].....	59
III.3	Approches inductive et déductive [CRA 95]	61
III.4	Processus d'évaluation des risques	62
III.5	Répartition des méthodes d'évaluation des risques	63
III.6	Echelle internationale des événements nucléaires	66
III.7	Courbe "isorisque" ou Risque constant [KER et al. 91]	67
III.8	Acceptabilité, découpage du plan probabilité-gravité [OPA 91]	68
III.9	Perception du risque acceptable.....	69
III.10	Processus de traitement des risques	70
III.11	Analyse coût-bénéfice.....	72
III.12	Prévention et protection – Matrice des risques	73
III.13	Prévention et protection – modèle MADS	73
III.14	Gestion de crise – risques majeurs [MIN 90]	76
III.15	Aspect financier du traitement des risques [DAV et al. 97]	77

III.16	Captives d'assurance	78
III.17	Captive de réassurance	78
III.18	Modélisation MDS	84
III.19	Modélisation MDS / MAC.....	85
III.20	Arbre des conséquences.....	86
III.21	Graphe d'état d'un système à un composant.....	87
III.22	Réseau de Pétri.....	88
III.23	Processus de danger [PER 99]	90
III.24	Module A – étude de sécurité principale	91
III.25	Exemple de processus de danger.....	91
III.26	Exemple de pré-arbre logique	92
III.27	Installations de distribution à usage collectif	94
III.28	Formalisme ET, OU, scénario court.....	98
III.29	Boîte noire "branchement collectif"	99
III.30	Boîte noire "organe de coupure générale"	99
III.31	Boîte noire "conduite d'immeuble"	100
III.32	Boîte noire "conduite montante"	101
III.33	Boîte noire "environnement urbain"	101
III.34	Boîtes noires "agents d'exploitation" et "sapeurs-pompiers"	101
III.35	Scénarios d'enchaînement d'événements	102
III.36	Exemple de scénario d'incendie suivi d'explosion.....	103
III.37	Répartition des matériaux constitutifs des conduites	103
III.38	Répartition des incidents sur CI par nature de matériau.....	104
IV.1	Nature et portée des décisions	110
IV.2	Processus décisionnel	111
IV.3	Problématiques d'aide à la décision	116
IV.4	Approche du critère unique de synthèse	117
IV.5	Avantages de la méthode AHP [SAA 81].....	119
IV.6	Modes de représentation hiérarchique.....	120
IV.7	Structure hiérarchique de type $(1 - \infty)$	121
IV.8	Matrices incohérentes	124
IV.9	Hiérarchie $(1 - n)$ de niveau 2	125
IV.10	Hiérarchie $(1 - \infty)$ de niveau 2.....	126
IV.11	Hiérarchie "pondérée"	127
IV.12	Modélisation hiérarchique du Risque Humain	129
IV.13	Interventions incendie de l'année 1996 en Ile de France [BSP 96]	130
IV.14	Lieux d'origine des incendies [BSP 96].....	130
IV.15	Méthode intégrée d'analyse de la sécurité incendie [LIN et al. 86]	131
IV.16	Circulation des gaz chauds (source : CSTB)	132

IV.17	Modélisation hiérarchique du Risque Incendie de Proximité.....	134
IV.18	Modélisation hiérarchique du RTCI – critères forts.....	138
IV.19	Modélisation hiérarchique du RTCI – critères moyens	138
IV.20	Modélisation hiérarchique du RTCI – critères faibles.....	138
IV.21	Modélisation hiérarchique du RTCM.....	139
IV.22	Modèle hiérarchique de la Priorité de Renouvellement (PR)	140
IV.23	Etude de sensibilité	141
IV.24	Estimation des investissements de renouvellement à court terme.....	143
IV.25	Processus de renouvellement	144
v.1	Regards sur l’acceptabilité du risque.....	149
v.2	Référentiels pour la prise en compte du risque	150
v.3	Modèle de prise en compte du risque	150
v.4	Amélioration continue.....	151
v.5	Définition d’objectifs cibles à l’aide de la méthode ERA	152
v.6	Démarche Générale	153
v.7	Phase de spécification.....	154
v.8	Phase d’analyse	155
v.9	Phase de modélisation	158
v.10	Structure hiérarchique type.....	159
v.11	Phase d’exploitation.....	161

Index des tableaux

I.1	Correspondance entre enjeux et objectifs [PER 98].....	11
II.1	Risques "Projet" hors risques financiers - source Gan Industrie Services	43
III.1	Niveaux de probabilité d'occurrence d'un événement.....	64
III.2	Risques individuels et annuel de décès dus aux accidents	65
III.3	Exemple de tableau APD.....	82
III.4	Exemple de tableau AMDEC	84
III.5	Synthèse des principales méthodes d'analyse des risques	86
III.6	Systèmes sources de dangers	98
IV.1	Tableau de performances	114
IV.2	Exemple de tableau de performances	115
IV.3	Echelle de mesure de la méthode AHP.....	122
IV.4	Matrice cohérente simple	123
IV.5	Matrice cohérente normalisée	123
IV.6	Matrice des vecteurs d'importance relative	125
IV.7	Données descriptive relatives au Risque Humain (ou RH)	129
IV.8	Données descriptives relatives au Risque Incendie de Proximité (ou RIP).....	133
IV.9	Données descriptives relatives au Risque Technique des Conduites d'Immeubles	137
IV.10	Données descriptives relatives au Risque Technique des Conduites Montantes.....	139
IV.11	Tableau des solutions.....	142
V.1	Phases de la Méthode d'Evaluation des Risques Agrégés	148

Introduction

L'objectif de ce travail est de proposer une démarche de **modélisation des risques agrégés** et une méthodologie de **gestion du risque global** permettant une gestion intégrée des risques opérationnels et des risques stratégiques. Le champ d'application de notre étude porte sur le renouvellement d'ouvrages de distribution de gaz naturel et l'élaboration de schémas directeurs d'évolution des réseaux.

Le contexte ayant motivé notre recherche s'articule autour de quatre points :

- historiquement, les progrès scientifiques et les avancées techniques du début du XX^{ème} siècle ont accru les dangers inhérents aux activités industrielles et humaines. La gestion des risques est née de l'ère industrielle et de la nécessité de prévenir les accidents technologiques majeurs. Nombre d'organisations, publiques ou privées, industrielles ou de services, ont développé des méthodes et des moyens destinés à éviter la survenue de l'inacceptable. La prise de conscience de la non existence du "risque nul" s'est accompagnée d'une demande de protection sans cesse plus grande, impliquant pour l'avenir la nécessaire intégration du public dans le processus de décision ;
- à ce mouvement est associé une complexité sans cesse croissante des entités "à risque", imposant pour la maîtrise de leur sécurité et de leur exécution, un regard multiple combinant démarche pluridisciplinaire et gestion rationnelle de différentes formes de ressources. Cette évolution marque l'atteinte des limites des méthodes traditionnelles d'analyse et de gestion des risques qui, pour la plupart, reposent sur une prise en compte individuelle des risques et correspondent à une vision du système physique seul ;
- parallèlement, l'évolution marquée des exigences et des sensibilités du citoyen, des consommateurs et des partenaires de l'entreprise, est à l'origine d'une mutation généralisée des modes de management. En effet, la fin des années 1990 marque le début d'un rapprochement des aspects qualité, sécurité, santé et protection de l'Environnement. Ce phénomène nouveau se matérialise par le développement de systèmes de management intégrés. Le développement de ces démarches est élément moteur de l'image et de la performance industrielle et "sociale" de l'entreprise ;
- enfin, l'avènement de l'ère de la mondialisation associé à l'émergence d'une société de l'information entraînent l'entreprise dans un environnement mouvant et instable, source de risques nouveaux. Les marchés internationaux, les technologies de l'information et de la communication, les groupes de pression, les médias, etc. véhiculent des enjeux importants faisant d'une gestion globale des risques une nécessité.

Le risque est ainsi au cœur des préoccupations de la société et des entreprises. La maîtrise des risques est indispensable au développement du capital confiance entre l'entreprise et les acteurs de la vie économique et sociale. Face à ces mutations, il est nécessaire **d'intégrer la gestion des risques aux processus de gestion opérationnelle et stratégique de l'entreprise**. L'évolution vers une gestion du risque globale, intégrée à la politique générale de l'entreprise et associant conjointement les points de vue technique, économique, réglementaire et social, semble être le moyen d'y parvenir.

Notre étude s'inscrit dans cette optique. La gestion des risques devient alors une fonction stratégique. Le dimensionnement et la portée des buts visés nécessitent une vision précise des objectifs stratégiques de l'entreprise. Gérer les risques consiste alors à identifier et à contrôler les risques qui pèsent sur l'entreprise afin de les réduire et de rechercher la meilleure couverture financière possible, compte tenu de contingences matérielles et financières. Dans une économie concurrentielle, la difficulté inhérente à une telle démarche réside dans la définition **d'objectifs cibles** et dans le choix d'un niveau de prise de risques situé à l'articulation de l'optimum économique et de l'optimum social.

Notre démarche s'appuie sur l'usage de méthodes multicritères d'aide à la décision et sur l'approche du critère unique de synthèse pour l'élaboration d'un modèle des risques agrégés et pour l'évaluation du risque global. Nous proposons la formalisation d'une méthode d'Evaluation des Risques Agrégés (ou ERA). Ce développement méthodologique nous a conduit à étudier :

- les principales méthodes d'analyse des risques afin d'identifier leurs contribution dans une démarche de prise en compte du risque global ;
- les principales méthodes multicritère d'aide à la décision afin d'identifier les approches opérationnelles permettant l'estimation de l'importance relative de risques de natures différentes et leur agrégation sous la forme d'un critère unique.

La présentation de ce travail est structurée en cinq chapitres.

Le premier chapitre énonce le contexte général et la problématique de notre recherche. Il est organisé en trois parties. La première partie présente les concepts et les évolutions de la qualité, de la sécurité et de la performance dans l'entreprise. La seconde partie introduit la théorie économique du choix des investissements et présente les principaux critères de choix. La dernière partie pose la problématique associée à l'évaluation des risques agrégés et au choix du critère de risque global pour l'établissement de priorités dans le choix des investissements de renouvellement.

Le second chapitre présente le cadre d'étude. Il est organisé en deux parties. La première partie présente le contexte et la problématique industriels liés à l'élaboration des schémas directeurs d'évolution des réseaux de distribution de gaz naturel et à la planification des programmes de renouvellement. La seconde partie présente une taxonomie des risques d'entreprise, des risques majeurs et des risques technologiques.

Les chapitres trois et quatre sont divisés en deux parties principales : la première partie traite l'état de l'art des disciplines impliquées dans la démarche d'Evaluation des Risques Agrégés ; la seconde partie présente et discute les résultats de l'application de la méthode d'Evaluation des Risques Agrégés à la résolution de la problématique industrielle.

Le troisième chapitre présente les processus d'analyse et de gestion des risques. Il est organisé en trois parties. La première partie détaille le processus de gestion des risques et introduit le concept d'acceptabilité associé. La seconde partie décrit les principales méthodes d'analyse des risques techniques et présente une description détaillée de la Méthode Organisée Systémique d'Analyse de Risques (ou MOSAR). La troisième partie présente l'étude de sécurité principale portant sur les risques d'exploitation des ouvrages de distribution de gaz naturel.

Le quatrième chapitre présente l'aide multicritère à la décision et les méthodes associées. Il est organisé en trois parties. La première partie aborde les notions de processus décisionnel et décrit les fondements de l'aide multicritère à la décision. La seconde partie présente la procédure d'analyse hiérarchique (ou AHP, de l'anglais Analytic Hierarchy Process) basée sur l'approche opérationnelle du critère unique de synthèse. La troisième partie détaille le modèle des risques agrégés développé pour l'évaluation de la priorité de renouvellement des ouvrages de distribution de gaz naturel.

Enfin, le cinquième chapitre explicite un modèle et une démarche formalisée pour la méthodologie d'Evaluation des Risques Agrégés que nous proposons.

Chapitre I

Qualité, sécurité et choix d'investissements

1 Introduction

L'engagement dans une politique de maîtrise des risques implique d'apprécier les risques supportés par l'entreprise, ainsi que la nature et la cible des mesures permettant de les réduire efficacement. Compte tenu des engagements financiers que cela suppose, l'amélioration de la qualité et de la sécurité implique un choix dans les investissements à privilégier. Notre étude s'inscrit en droite ligne de cette optique et propose des éléments méthodologiques nouveaux pour l'analyse et la gestion des risques, ainsi que pour l'aide au choix d'investissements. Nous commençons par présenter les concepts de qualité et de sécurité dans l'entreprise, en prêtant une attention particulière à l'évolution récente des exigences de performances industrielle et "sociétale". Ensuite, nous abordons la théorie économique du choix des investissements en nous attardant plus largement sur les investissements de renouvellement destinés à améliorer la qualité et la sécurité. Enfin, nous posons la problématique de notre étude en définissant la notion de risque global, critère de choix d'investissement.

2 Qualité et sécurité

Qualité, sécurité, santé et protection de l'environnement sont devenus des aspects stratégiques pour toute organisation, qu'elle soit publique ou privée, industrielle ou de services. Si chacun de ces aspects a été, depuis de nombreuses années, l'objet d'une prise en compte individuelle et spécifique, on assiste aujourd'hui à un phénomène nouveau dans leur rapprochement vers un concept unique de management intégré. Le développement de cette démarche dans l'entreprise contribue à l'amélioration de l'image et de la marque qu'elle véhicule auprès de ses partenaires, ainsi qu'à accroître sa performance vis-à-vis de la concurrence. De nombreuses démarches, revêtant un caractère obligatoire ou volontaire, sont aujourd'hui suivies par les organisations pour le développement de leurs systèmes de management. Aussi évoquerons-nous, dans le présent chapitre les principaux référentiels de normes ISO¹ 9000 et ISO 14000, ainsi que les évolutions dont elles sont l'objet pour favoriser leur cohérence et leur convergence. Partant de ce constat, le management des risques et la politique de maîtrise des dangers potentiels qui lui est associée, font figure de moyens contribuant au développement de la politique qualité de l'entreprise. Aussi, proposons-nous dans le cadre de notre étude une méthodologie de prise en

¹ International Standardization Organisation

compte du risque global destinée à appuyer la mise en œuvre d'une politique de maîtrise des risques liés aux activités de l'entreprise et contribuant, par voie de conséquence, à l'amélioration de la qualité.

2.1 Introduction

Le management des risques s'inscrit dans le cadre de la politique générale des organisations et plus particulièrement dans la politique qualité et sécurité. S'agissant de cette dernière, le fait marquant de ces dernières années est la demande explicite des industries les plus concernées (industries du pétrole, du gaz, de la pharmacie et de la chimie²) d'un rapprochement des concepts qualité, sécurité et environnement, vers un concept unique intégré. Traditionnellement, l'entreprise est considérée comme une organisation ayant pour unique objectif de réaliser des profits. Opposée à la notion de profit et ne considérant que la conséquence finale de sa survenance, la perte financière fait figure de seul et unique risque pour l'entreprise. En réalité, l'entreprise d'aujourd'hui se décline au travers d'un ensemble d'objectifs définis dans le cadre d'une stratégie à plus ou moins long terme, intégrant en particulier des critères de croissance, investissements, parts de marché, etc., l'ensemble de ces critères concourant à pérenniser les activités de l'entreprise, tout en poursuivant son développement.

Dans ce contexte, la qualité des produits et des services, la sécurité des personnes, des biens et de l'environnement font figure d'atouts tout autant que d'exigences pour la performance. Aussi, le développement des managements de la qualité, de la sécurité, de la santé et de la protection de l'environnement, vont-ils de paire avec le management des risques, tant les enjeux liés à leur maîtrise sont à la fois stratégiques et économiques, et tant leurs objectifs pour rendre plus sûr et durable sont proches.

2.2 Concepts de base

Pour introduire la notion de Système de Management Intégré ou SMI, nous revenons sur les concepts de qualité, de sécurité, de santé et de protection de l'environnement, en nous attardant davantage sur la qualité et la sécurité, puisque tous deux sont au centre de la problématique de notre étude.

2.2.1 Qualité

Dans les années 1990, la qualité se définit comme "l'ensemble des propriétés et caractéristiques d'un produit ou d'un service qui lui confèrent l'aptitude à satisfaire des besoins exprimés ou implicites" [AFNOR 92]. Dès lors, la qualité est pour l'entreprise compétitive moderne l'enjeu stratégique majeur. Durant ces dernières années, le nombre d'entreprises ayant mis en place une politique qualité n'a cessé de croître, à un tel point que la qualification d'un produit est aujourd'hui considérée comme un préalable indispensable de l'échange économique marchand [SAL 91]. Selon F. COCHOY et G. de TERS-SAC [COC et al. 99], la qualité est aujourd'hui à la croisée :

- "du contrôle statistique de la conformité des produits" ;
- "de la qualité totale applicable à l'ensemble des membres de l'organisation" ;
- "du mouvement historique de la normalisation industrielle qui [...] s'étend désormais de plus en plus au domaine social, avec la définition de standards en matière d'hygiène, de sécurité ou de services".

Ce constat rejoint pleinement les préoccupations actuelles de l'industrie dans la recherche de nouveaux standards et dans le développement de SMI à la mesure du phénomène qualité, de plus en plus, "mode de gouvernement de l'entreprise" [GOM 96].

² Le domaine nucléaire et l'exploitation des installations nucléaires en particulier, ont depuis longtemps intégré les concepts qualité, sécurité et environnement.

De nombreuses causes sont à l'origine de l'évolution du concept de qualité. Parmi elles, la plus marquante semble être l'émergence des nouveaux risques liés à l'évolution des technologies de l'information et de la communication, ainsi qu'au poids de l'opinion du public et des groupes de pression (associations de consommateurs, médias, public, etc.). S'agissant de cette dernière, le titre de l'article de P. MASSIERA est suffisamment éloquent : "la performance sociétale : une nouvelle approche de la qualité totale" [MAS 98]. Le concept de qualité englobe aujourd'hui les aspects sécurité, santé et protection de l'environnement. D'un ensemble de critères restreints à ses débuts à la relation client-fournisseur (prix d'achat, caractéristiques et performances produit, respect du cahier des charges, etc.), la qualité nécessite aujourd'hui la considération de l'ensemble des acteurs de l'entreprise (enjeux organisationnels) et de son environnement (partenaires économiques et financiers, concurrents, institutions et groupes de pression). La maîtrise des risques de l'entreprise, par la prise en compte du risque global, apparaît comme une solution potentielle à l'intégration de ces aspects.

2.2.2 Sécurité

La sécurité peut se définir comme l'ensemble des "mesures de prévention et de réaction mises en œuvre pour faire face à une situation d'exposition résultant de risques accidentels, qu'ils soient le fait de l'homme, de la machine ou de la nature" [GEI et al. 98].

Les politiques de sécurité et de qualité sont liées dans la mesure où leurs objectifs et leurs méthodes sont largement concourants. Aussi, considérer la sécurité comme une composante essentielle de la qualité, au même titre que la maintenance, la santé, la protection de l'environnement, semble être une démarche pertinente de progrès. D'ailleurs, depuis le début des années 1990, nombre d'entreprises les associent conjointement dans leurs priorités [LIP 93]. Toutefois, comme le souligne M. MONTEAU, le développement d'une politique qualité n'accroît pas automatiquement le niveau de sécurité, en particulier lorsque les exigences de sécurité n'ont pas été intégrées aux exigences de qualité [MON 96].

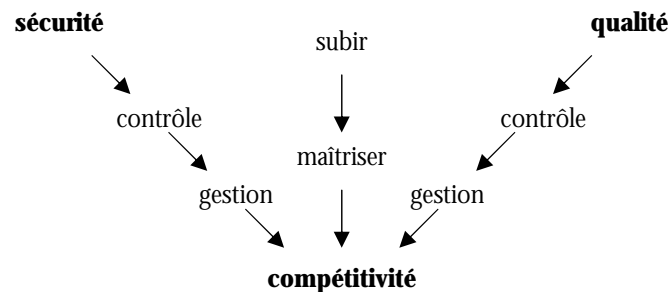


Figure I.1 : Sécurité, qualité : une même évolution [AFNOR 92]

Les objectifs associés à la sécurité ont considérablement évolué avec le temps. Dans les années 1970, la protection de l'environnement était négligée. A la fin des années 1980, la notion de développement durable (de l'anglais "sustainable development") voit le jour, engendrant la prise en compte de considérations nouvelles telles que le traitement des déchets, le recyclage, etc.

Aujourd'hui, la sécurité est attachée à :

- l'amélioration des conditions de travail (hygiène, santé, ergonomie, etc.) ;
- la protection des personnes et des biens ;
- la protection de l'environnement.

La sécurité est, au même titre que la qualité, une condition pour la performance et ce, en raison des multiples retombées qui lui sont associées en termes de performance économique (réduction des coûts

liés à la non-sécurité) et de performance "sociétale" (climat social, image auprès des groupes de pression, etc.). En d'autres termes, la sécurité est une composante de la performance industrielle.

2.3 Management de la qualité et de la sécurité

2.3.1 Introduction

Dans un environnement en mutation rapide, le management de la qualité est un élément essentiel de la stratégie destiné à assurer, à long terme, une position forte sur le marché. Avec pour objectif principal de gagner la confiance de l'ensemble de ses partenaires, le management de la qualité ne peut se faire sans la prise en compte simultanée de la préservation de la santé, de la sécurité au travail et de la protection de l'environnement. L'entreprise performante et moderne d'aujourd'hui :

- est soucieuse de la santé et de la sécurité de ses collaborateurs, de ses partenaires contractuels et commerciaux et de ses clients ;
- s'efforce de réduire les nuisances liées à ses activités.

Dans ce contexte, le management intégré de la qualité, de la santé, de la sécurité, de la protection de l'environnement ou management QHSE (de l'anglais Quality, Health, Safety et Environment) apparaît comme un élargissement naturel du système d'assurance qualité. A cette fin, le management des risques (analyse de risques, réduction des dangers potentiels, plans de gestion de crise, etc.) et les plans d'investissements permettant de les réduire apparaissent comme des préliminaires intéressants en vue de fixer les objectifs dans le cadre de la politique générale de l'entreprise.

2.3.2 L'entreprise et son environnement

L'engagement dans une politique de management intégré vise, de façon prioritaire, à renforcer la confiance acquise avec l'ensemble des partenaires de l'entreprise. Cet engagement sur l'ensemble du partenariat a pour origine une densification du tissu relationnel entreprise et environnement d'entreprise.

2.3.2.1 Définition

En référence aux normes ISO 14001, et ISO 9000 version 2000, nous définissons le terme "parties intéressées" d'un organisme³ comme l'ensemble des parties de l'organisme considéré, concernées par la qualité, la préservation de la santé, de la sécurité du travail et de la protection de l'environnement, liées aux activités, produits ou services.

2.3.2.2 Environnement d'entreprise

L'entreprise, acteur de la sphère économique, évolue au sein d'un environnement composé d'entités élémentaires. En référence au modèle proposé par L. DAVID et L. BARNAUD⁴ [DAV et al. 97] et la décomposition présentée par M. PERSONNE [PER 98], l'environnement d'entreprise peut être décomposé en trois sphères : la sphère économique, la sphère financière et la sphère sociétale. Chaque acteur des différentes sphères peut faire intervenir un ou plusieurs aspects QHSE dans ses rapports avec l'entreprise⁵. Dans une telle situation, de la qualité d'acteur de l'environnement d'entreprise, il devient "partie intéressée".

³ Organisme est le terme employé dans les projets de norme ISO 9000 version 2000 pour désigner l'entité qui met en place un système de management de la qualité. Il s'agit par exemple de compagnies, sociétés, firmes, entreprises, institutions, œuvres de bienfaisance ou associations.

⁴ Pour plus de détails sur ce modèle, le lecteur peut se reporter à § II.3.4.

⁵ Par exemple, les banques d'affaires ont bâti leurs propres critères d'évaluation des performances des entreprises. Sur leur base, elles exercent une pression sur l'élaboration de la stratégie d'entreprise avec pour objectifs de déve-

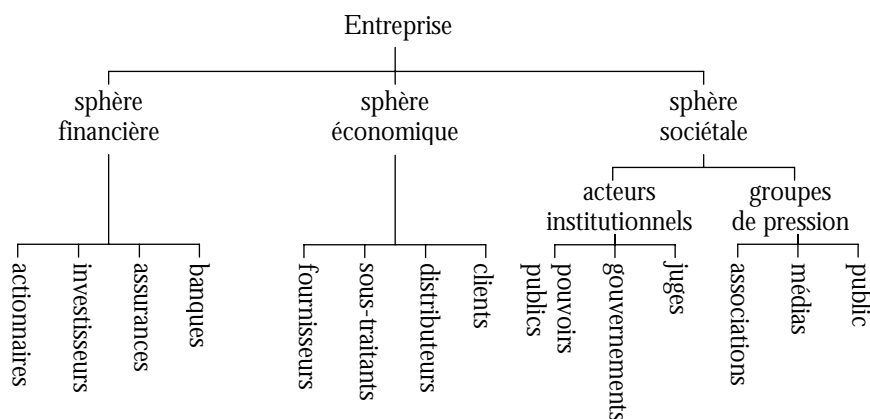


Figure I.2 : Parties intéressées en relation avec l'entreprise

a. Sphère économique

La sphère économique regroupe les partenaires économiques (fournisseurs, sous-traitants, donneurs d'ordre, clients, distributeurs, transporteurs, etc.) et les concurrents de l'entreprise. S'agissant des partenaires économiques et en particulier de la chaîne fournisseur, producteur et client, le niveau de maîtrise acquis par une entreprise sur chaque aspect QHSE sera répercuté en tant qu'exigence sur l'ensemble des acteurs les plus proches⁶ [PERS 98]. S'agissant de la concurrence, le développement d'un SMI peut constituer un avantage concurrentiel et être facteur d'économies potentielles⁷ [COL 99].

b. Sphère financière

La sphère financière regroupe les banques, les assureurs, les investisseurs et les actionnaires de l'entreprise. Pour chacun, la pérennité de l'entreprise fait figure de priorité. Aussi, les risques et les coûts associés à la non prise en compte des aspects QHSE font l'objet d'une attention particulière.

c. Sphère sociétale

La sphère sociétale est composée des acteurs institutionnels, des groupes de pression, du public et des valeurs. Les acteurs institutionnels légifèrent et édictent la réglementation (gouvernement, pouvoirs publics). Ils sont également chargés du contrôle du respect de la réglementation et soutiennent les projets de prise en compte des aspects QHSE par le biais d'organismes spécifiques tels les DRIRE⁸, char-

opper les échanges commerciaux et surtout de préserver la valeur boursière des sociétés dans lesquelles elles prennent part.

⁶ Le groupe Royal Dutch/Shell s'est engagé dans une politique de préservation de la santé, de la sécurité du travail et de la protection de l'environnement, dans laquelle elle engage ses partenaires contractuels, ainsi que les entreprises qui lui sont liées, à suivre cette politique et "utilise son influence sur d'autres intervenants afin d'encourager son application" (source : <http://www.shell.com/>).

⁷ L'entreprise canadienne Nortel, premier fabricant de matériel électronique, a éliminé les solvants CFC 113 de ses procédés. A posteriori, ce changement fut constaté comme un facteur d'économies potentielles et d'opportunité commerciale : "En cherchant des solutions novatrices, nous avons pu transformer la question des CFC en opportunité commerciale. En l'occurrence, en créant une atmosphère sans oxygène supprimant la nécessité de nettoyer les circuits imprimés" [ENV 96].

⁸ Les Direction Régionale de l'Industrie, de la Recherche et de l'Environnement ou DRIRE ont pour mission principale de contrôler les activités industrielles susceptibles d'avoir un impact sur l'environnement, ceci dans le cadre de la réglementation sur les installations classées pour la protection de l'environnement. Leur action s'exerce dans les trois domaines principaux de l'environnement industriel : la prévention des risques technologiques majeurs, la réduction des pollutions et des nuisances et le contrôle et l'élimination des déchets.

gées du contrôle des activités industrielles et de la protection de l'environnement. Les groupes de pression sont composés des médias, des associations (associations de protection des consommateurs, de protection de l'environnement, etc.) et du public. Pour ces acteurs, l'entreprise responsable est devenue une exigence. Aussi, en tant que consommateur des produits et services de l'entreprise, en tant que "voisinage" de l'entreprise soumis aux éventuelles nuisances provoquées par ces activités, ou en tant qu'individu, ils ont des attentes vis-à-vis du comportement de l'entreprise.

2.3.3 Enjeux

Selon Le Robert, un enjeu est "ce que l'on peut gagner ou perdre". Nous définirons le terme enjeu comme étant **le sujet autour duquel se créent des rapports de gain ou de perte et où un ensemble d'acteurs apportent une mise (moyens)** et s'engagent dans un jeu ou une compétition dont ils connaissent les règles mais ne les maîtrisent pas forcément. La situation de compétition implique celles de conflit, de coopération et de recherche de positions dominantes. La notion d'enjeu fait référence à l'avenir et s'inscrit dans le cadre d'une politique à suivre et d'une stratégie à mettre en œuvre pour parvenir à le satisfaire. Relativement au monde de l'entreprise ; nous distinguerons les enjeux réglementaires, économiques et stratégiques. Pour chaque enjeu, il convient de mesurer les facteurs d'économies et de gains potentiels que peut apporter une prise en compte accrue des aspects QHSE, ainsi que d'identifier les risques encourus par l'entreprise en cas de non prise en compte de ces aspects⁹.

2.3.3.1 Enjeux réglementaires

Chacun des aspects QHSE fait l'objet d'une réglementation appliquée à l'entreprise en fonction de ses activités, de ses produits ou services. Cette réglementation définit des exigences en termes de normes, limites, mesures, plans, programmes¹⁰, etc. Les parties intéressées par cet enjeu ont une mission double puisqu'elles sont à la fois chargées de vérifier le respect de la réglementation, mais également d'assister l'entreprise dans sa démarche d'amélioration. Le constat de non conformité ayant des conséquences économiques (arrêt de production, amende, travaux de mise en conformité, etc.) et des conséquences stratégiques (perte de confiance des partenaires financiers, économiques et institutionnels de l'entreprise, dégradation de l'image de marque auprès du public, etc.), l'enjeu réglementaire est de se maintenir en conformité avec la réglementation en vigueur¹¹. L'un des moyens permettant d'y parvenir est la mise en place d'une démarche réactive de veille réglementaire consistant à intégrer les évolutions réglementaires lorsqu'elles surviennent. En complément à cette approche à court terme, l'anticipation des exigences réglementaires au travers d'une approche pro-active permet de mieux identifier et de mieux maîtriser les enjeux stratégiques et économiques de l'entreprise (compétitivité, positionnement sur le marché, image de marque, etc.).

2.3.3.2 Enjeux économiques

Les enjeux économiques concernent, au premier plan, les partenaires économiques et les partenaires financiers de l'entreprise. Les enjeux économiques sont exprimés en termes de coûts. L'amélioration de la qualité, des conditions de travail, de la sécurité des personnes, des biens et de l'environnement peut être un investissement rentable pour l'entreprise, en particulier en termes d'image. Inversement, la non-

⁹ Pour plus de détails sur les notions de coûts liés à la sécurité (coût des mesures de réduction des risques, etc.) et de coûts liés à la non sécurité (coûts des dommages, perte de parts de marché, etc.), le lecteur peut se reporter au Chapitre III – Analyse et gestion des risques.

¹⁰ Pour plus de détails sur les aspects réglementaires (directive SEVESO, Code du travail, etc.) le lecteur peut se reporter au Chapitre III – Analyse et gestion des risques.

¹¹ L'application de la réglementation est une obligation. Elle s'exerce au travers de règles et d'actions à mener, et donc en l'absence d'incertitude. Ainsi défini, le terme d'enjeu réglementaire peut paraître mal approprié. Précisons toutefois qu'il se justifie entièrement lors de deux situations particulières au moins, à savoir durant le temps de latence faisant suite à une évolution réglementaire et précédant le début de mise en conformité ou lors du lancement "aveugle" de produits ou services assujettis à réglementation, en l'absence d'une démarche d'anticipation des évolutions réglementaires.

qualité, la non-sécurité ou bien le non respect de la réglementation peuvent se traduire par des conséquences économiques lourdes, dont le coût global peut conduire à une remise en cause de l'existence même de l'entreprise¹².

2.3.3.3 Enjeux stratégiques

Nous l'avons évoqué précédemment, la maîtrise des aspects QHSE a pour objectifs principaux :

- de renforcer la confiance des partenaires de l'entreprise ;
- d'améliorer durablement l'image de l'entreprise auprès du public, en se positionnant en tant qu'entreprise responsable.

Aussi, la prise en compte de ces aspects est une composante de la stratégie d'entreprise. Une enquête menée auprès d'une cinquantaine de PMI montre que les principales motivations pour la prise en compte des aspects QHSE sont [ORE 97] : d'être en **conformité avec la réglementation**, de **réduire les coûts** et de **conforter et d'améliorer une image d'entreprise responsable**. Les enjeux liés à la prise en compte des aspects QHSE sont en relation directe avec les objectifs de l'entreprise¹³ [PER 98].

Enjeux	→	Objectifs
Enjeux réglementaires		Exister
Enjeux économiques		Faire des profits
Enjeux stratégiques		Se développer

Tableau I.1 : Correspondance entre enjeux et objectifs [PER 98]

2.4 Système de management intégré

2.4.1 Introduction

Le management intégré répond à une demande de management global et semble aujourd'hui logiquement succéder aux managements de la qualité, de la sécurité et de l'environnement. Aussi, assiste-t-on depuis peu au développement de SMI¹⁴ intégrant les concepts QHSE précédemment gérés au travers de systèmes spécifiques tels que les Systèmes de Management de la Qualité ou SMQ, de Management Environnemental ou SME et de Management de la Sécurité ou SMS, mais également au travers du management des risques de l'entreprise.

2.4.2 Contexte lié aux risques

L'évolution ayant menée au développement de SMI est née de causes multiples dont la principale est le constat de non existence de situation de risque nul [BRE1 et al. 94]. Ce constat, dont de nombreuses

¹² Pour plus de détails sur les notions de coûts directs (indemnisation, prime d'assurance, coûts de réduction des risques, etc.) et de coûts indirects (pertes de production, perte de parts de marché, dégradation d'image de marque, etc.), le lecteur peut se reporter au Chapitre III – Analyse et gestion des risques.

¹³ Les conséquences liées aux enjeux réglementaires, économiques ou stratégiques sont également abordées dans § II.3.4.3.

¹⁴ La société Casco Decor SNC du groupe Akzo Nobel, spécialisée dans l'imprégnation de papiers avec des résines thermodurcissables, a mis en place un système de management intégré dont la certification a été menée courant 1999, par l'AFAQ (L'AFAQ est l'Association Française pour l'Assurance de la Qualité. Créée en 1988, l'AFAQ est l'un des premiers organismes mondiaux de certification et est accréditée par le Comité Français d'Accréditation ou COFRAC). Le système intégré certifié répond aux exigences des trois normes, ISO 9001, ISO 14001 et BS 8800, permettant ainsi d'intégrer l'environnement, la santé et la sécurité à ISO 9001.

catastrophes technologiques¹⁵ en sont le triste exemple, a généralisé le développement de l'activité de management des risques dans l'entreprise. Ainsi, outre l'analyse et la maîtrise des risques propres aux activités de l'entreprise, le management des risques doit aujourd'hui permettre la prise en compte :

- de concepts nouveaux tels que l'acceptabilité et la perception sociale des risques liées aux activités existantes ou futures de l'entreprise ;
- de risques nouveaux tels que ceux liés à l'image et à la communication véhiculée au travers des Nouvelles Technologies de l'Information et de la Communication ou NTIC, mais également au travers de l'opinion du public et des groupes de pression, dont le poids les place désormais en partenaires incontournables de l'entreprise.

2.4.3 Convergence entre qualité, sécurité et environnement

Les managements QHSE s'inscrivent dans le cadre d'une politique à long terme et reposent sur les standards ayant trait à la qualité, la sécurité et l'environnement, dont les principales normes existantes sont la série ISO 9000 relative à la qualité et la série ISO 14000 relative au management de l'environnement¹⁶. La convergence entre qualité, sécurité et environnement est demandée par l'industrie pour d'une part minimiser les coûts liés à la certification en développant un référentiel compatible et cohérent, mais également pour, le cas échéant, s'inscrire dans une démarche de continuité avec l'ISO 9001. En effet, "l'expérience a montré que la mise en œuvre préalable d'un système de management de la qualité (ISO 9001 ou 9002) était de nature à faciliter grandement celle du système de management de la protection de l'environnement" [DPPR 94]. Les systèmes de management environnemental présentent des similitudes avec les systèmes de management de la qualité. La structure de la norme ISO 14001 est d'ailleurs largement inspirée de celle des normes de la famille ISO 9000.

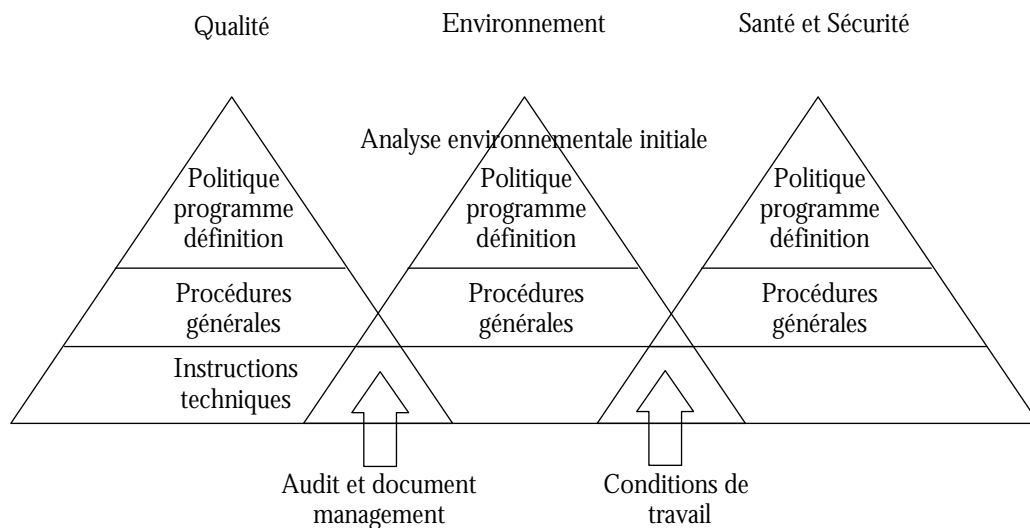


Figure I.3 : Intégration des systèmes Qualité, Sécurité et Environnement [MAZ 97]

¹⁵ La description des principales catastrophes technologiques est donnée dans § III.3.6.2.

¹⁶ Rappelons que l'ISO 9001 vise à gagner la confiance des clients en démontrant qu'un fournisseur maîtrise parfaitement le processus de production d'un produit (L'ISO 9000 version 2000, attendue en novembre 2000, devrait la rendre applicable à tous les secteurs d'activité, notamment aux services), alors que l'ISO 14001 vise à prouver à l'administration, aux associations de consommateurs, aux actionnaires et aux clients, qu'un site industriel a mis en place un système de management de la protection de l'environnement.

Actuellement, les instances de normalisation travaillent à la révision de la famille ISO 9000 (ISO 9000 version 2000) pour un rapprochement des aspects qualité et environnement ainsi qu'une intégration des systèmes de management environnemental et de la sécurité. Elles travaillent également à l'élaboration de normes en terminologie du risque mené par groupe de travail international, à la demande de l'Australie et du Japon¹⁷.

2.5 Référentiel de la Fondation Européenne pour le Management de la Qualité

Le contexte de notre étude s'inscrit dans le référentiel proposé par la Fondation Européenne pour le Management de la Qualité¹⁸ (ou EFQM). Nous en donnons une description succincte¹⁹.

Le modèle proposé par l'EFQM est un référentiel pour l'auto-évaluation. Il permet l'évaluation de la prise en compte des parties intéressées internes et externes d'une organisation. Le modèle EFQM est composé des facteurs suivants :

- leadership : mesure de l'investissement de l'équipe dirigeante et des cadres pour le soutien et la promotion d'une culture du management de la Qualité Totale ;
- politique et stratégie : mesure de formalisation et de déploiement sous forme de plans d'actions, de la politique et de la stratégie de l'organisation ;
- gestion du personnel : mesure du niveau d'exploitation du potentiel de l'organisation (gestion, soutien, développement des ressources humaines) ;
- ressources : mesure du niveau de gestion et d'exploitation des ressources de l'organisation ;
- processus : mesure du niveau de gestion (identification, amélioration, etc.) des processus de l'organisation ;
- satisfaction du client : mesure du niveau de satisfaction de la clientèle (produits, services et relations) et estimation de la qualité des mesures identifiées pour fidéliser la clientèle (image, services, etc.) ;
- satisfaction du personnel : mesure du niveau de satisfaction du personnel ;
- satisfaction de la collectivité : mesure de performance sociétale (prise en compte de l'environnement, qualité de vie, relations avec les groupes de pression et les acteurs institutionnels) et intégration à la vie collective (soutien d'actions sociales, etc.) ;
- résultats opérationnels : mesure du niveau de satisfaction des objectifs et des attentes des parties intéressées de l'organisation.

A travers un processus de notation, les assesseurs (professionnels de la qualité, universitaires, etc.) attribuent des points à chacun des facteurs précédents. L'évaluation porte sur ce qui a été réalisé et sur ce qui est en cours de réalisation, au regard de la performance et des objectifs propres à l'organisation et si possible par rapport à la performance de sa concurrence.

¹⁷ AFNOR Normalisation a mis en place une commission française "Terminologie de la gestion du risque" visant à organiser la participation de la France dans les travaux d'élaboration d'un document international ISO sur la terminologie de la gestion des risques dans les domaines d'activités professionnelles et non professionnelles (publication prévue en 2000).

¹⁸ L'EFQM fut officiellement constituée le 19 octobre 1989 lors du premier forum Européen du management de la qualité à Montreux, en Suisse. L'EFQM est née de l'engagement de l'industrie européenne de premier plan pour promouvoir la qualité totale en Europe.

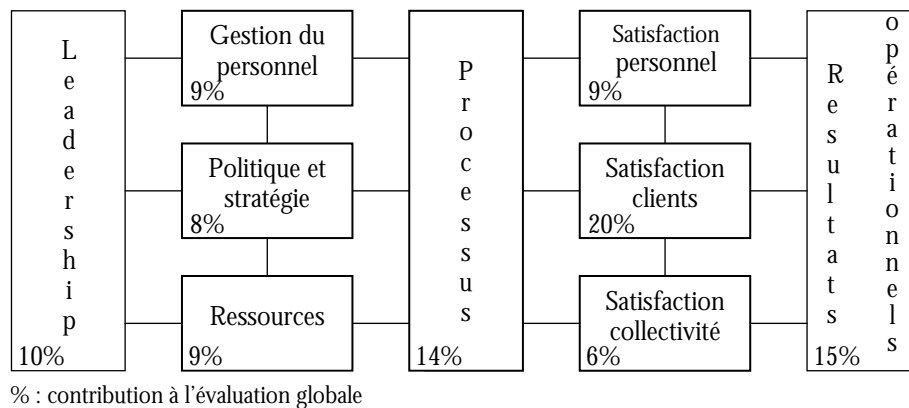


Figure I.4 : Modèle EFQM
(source : <http://www.efqm.org.com>)

2.6 Conclusion

Nous venons de mettre en évidence l'importance prise par les aspects QHSE dans le contexte économique actuel, dont la mouvance se traduit par un accroissement des exigences de performances industrielles et sociétales et justifie le concept d'entreprise "responsable".

Dans le cadre de notre étude, nous nous focalisons principalement sur les aspects Qualité et Sécurité dont nous avons vu que pris au sens large de leur définition, ils englobent les aspects liés à la santé et à la protection de l'environnement. L'amélioration de la qualité et de la sécurité peut, selon les cas, se révéler être un investissement

long et conséquent pour l'entreprise. Aussi, pour se prémunir des dérives liées à leur choix, l'application des méthodes et outils de la théorie du choix des investissements semble indispensable.

A la suite, nous présentons les concepts généraux liés au choix des investissements et en particulier le critère de rentabilité.

3 Choix des investissements

3.1 Introduction

La décision d'investir est une décision qui concerne le long terme et qui s'inscrit dans la stratégie d'entreprise. Ainsi, la décision d'investir est sans doute l'une des décisions les plus risquées pour l'entreprise. Elle implique "un pari sur l'avenir et un arbitrage de la répartition du revenu dans le temps" [MOU 95]. Depuis de longues dates, chaque entreprise doit faire face à ce type de décision. La théorie économique du choix des investissements a été largement développée et utilisée. Dans le cadre de notre étude, nous nous concentrons principalement sur les investissements de modernisation (renouvellement, expansion et perfectionnement des moyens ou matériels existants). L'évolution de la théorie économique du choix des investissements telle la prise en compte de l'incertitude, a conduit à

¹⁹ Pour de plus amples informations sur le modèle EFQM, le lecteur pourra consulter le site de la fondation à l'adresse suivante : <http://www.efqm.org>

des déviations par rapport à son application traditionnelle. Ces aspects, traités dans la littérature de la science économique ou des domaines financiers, dépassent le cadre de cette étude. Aussi, nous limiterons-nous à une présentation de ce qui constitue le corps de base du choix des investissements.

Ce paragraphe est composé de trois parties. La première partie présente la notion d'investissement. La seconde présente les méthodes traditionnelles du choix des investissements, telles qu'elles sont communément employées pour l'acquisition de matériels, d'équipements ou l'étude de rentabilité d'un projet. Enfin, la troisième partie aborde l'investissement de renouvellement qui, sous l'intitulé "aide au choix des investissements de renouvellement" détermine une partie essentielle du contexte de notre étude.

3.2 Notion d'investissement

3.2.1 Définition

Selon Le Robert, le mot investissement désigne à la fois "l'action d'investir" et les "biens d'investissement". En d'autres termes, le mot investissement s'applique aussi bien à l'acte d'investir qu'au résultat de cet acte.

Selon P. MASSE²⁰, l'acte d'investir constitue "l'échange d'une satisfaction immédiate et certaine à laquelle on renonce contre une espérance que l'on acquiert et dont le bien investi est le support" [MAS 68]. Dans ce sens, C. DORVAL²¹ précise que l'investissement est un "détour de production" basé sur la production d'un bien intermédiaire pour ensuite produire plus efficacement un bien voulu [DOR 81]. Dans son sens le plus large, l'investissement consiste en une acquisition ou création de biens dont la nature peut être variée [MAR et al. 87]. Au sens comptable du terme, un investissement est caractérisé par une immobilisation (engagement des ressources pour une période longue). Au sens économique et financier du terme, l'investissement ne se limite plus uniquement aux valeurs immobilisées [MAR et al. 87]. Ainsi, sont généralement différenciés par nature de bien investi :

- les investissements corporels : actifs physiques repartis en actif immobilisé et actif circulant (principalement stocks) ;
- les investissements incorporels : actifs incorporels (fonds de commerce, marques, brevets, licences, procédés, etc.) et charges ;
- les investissements financiers : titres de participation, prêts à court terme, etc.

L'investissement implique "un arbitrage entre présent et passé". Il comporte toujours une part de risque lié à l'avenir incertain. En effet, la décision d'investir implique "l'acceptation du risque²² que les recettes futures soient inférieures à celles que l'on a prévues" [MAR et al. 87]. Ainsi, il ne peut y avoir de prise de décision sans mesure du risque encouru.

La décision d'investir fait intervenir "un sujet qui investit, un objet qui est investi, le coût d'une privation, la valeur d'une espérance" [MAS 68]. Le coût de l'investissement s'exprime en termes de perte immédiate et sa contrepartie en termes d'utilité espérée. Pour l'entreprise, le coût de l'investissement est un coût financier, composé d'une dépense immédiate et d'une recette espérée.

²⁰ Pierre MASSE, né en 1898 à Paris, polytechnicien, ingénieur des Ponts et Chaussées et docteur ès sciences, fut Directeur de l'Équipement, puis Directeur général adjoint de l'Électricité de France. Il a contribué à l'élaboration et à l'application des critères et de méthodes présidant au choix des investissements, il a été nommé, en 1959, commissaire général au plan (le IV^e plan a été préparé sous sa direction), puis, en janvier 1966, président du Conseil d'administration d'EDF.

²¹ Claude DORVAL est Ingénieur des Arts et Manufactures.

²² Pour une description des concepts d'acceptabilité et de mesure du risque, le lecteur peut se référer au Chapitre III – Gestion des risques.

3.2.2 Types d'investissements

Le bien investi peut être de nature très diverse. Nous avons précédemment différencié les investissements corporels, incorporels et financiers. Les investissements peuvent également être différenciés selon leur objectif. Les classes d'investissement présentées dans la littérature divergent selon les auteurs. Nous opterons pour les trois classes d'investissements suivantes :

- les investissements productifs composés d'investissements de modernisation, d'investissements d'expansion et d'investissements de diversification et d'innovation ;
- les investissements sociaux visant à améliorer les conditions de travail, de sécurité et plus généralement tout ce qui peut pérenniser les activités de l'entreprise ;
- les investissements réglementaires, au caractère obligatoire pour l'entreprise.

Nous nous intéresserons principalement à des investissements matériels (investissements d'expansion et de modernisation) ayant pour spécificité de contribuer à la fois au gain de productivité et à l'amélioration de la sécurité (investissements sociaux).

Les investissements d'expansion visent à accroître la production de l'entreprise en termes de capacité ou de produits (innovation, diversification). Ces investissements sont, selon les termes de J. MARGERIN²³, "plus risqués" [MAR et al. 87]. En effet, s'agissant des investissements de capacité, le risque est celui de voir le marché ne pas réagir comme prévu. S'agissant des investissements d'innovation, ils modifient l'entreprise en termes d'activité et d'organisation, la menant d'un état connu vers un état inconnu et dont le niveau de maîtrise est incertain.

Les investissements de modernisation peuvent être divisés en investissements de renouvellement (remplacement de biens "vieillis"), investissements de maintenance et investissements de gain de productivité (réduction des coûts de revient des produits et des coûts liés au processus de fabrication). Les investissements de renouvellement comportent peu de risques [MAR et al. 87]. En effet, les caractéristiques et les effets de ces investissements sont connus et donc maîtrisés. Ainsi, l'aspect lié à l'incertitude de ces investissements n'apparaît pas comme un critère de choix à retenir.

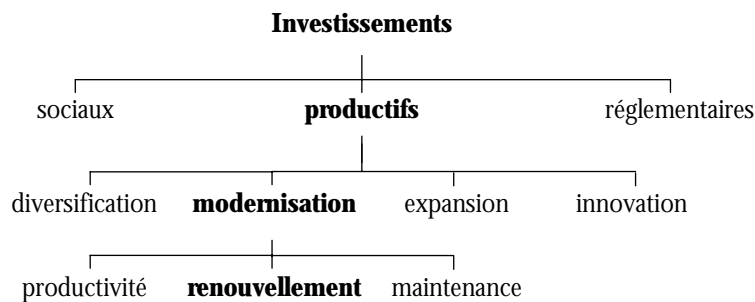


Figure I.5 : Types d'investissements

3.2.3 Processus d'investissement

Le processus d'investissement est un processus complexe. Selon C. DORVAL, il est composé des phases de planification, de décision, de suivi et de contrôle de réalisation :

²³ Jacques MARGERIN est docteur en droit.

- la phase de planification des investissements vise à estimer les investissements nécessaires à l'obtention d'un objectif et à répartir ces mêmes investissements sur une période donnée pour respecter des contraintes financières ;
- la phase de décision de réalisation est une phase d'étude détaillée des investissements à réaliser. Elle succède à l'évaluation globale faite en phase de planification et permet de dégager "la meilleure solution technique et économique" sur laquelle reposera la décision d'investir ;
- la phase de suivi et contrôle de réalisation débute dès l'investissement opéré et se poursuit tout au long de la réalisation de manière à détecter au plus tôt d'éventuels écarts. Cette démarche préventive peut être complétée par un bilan a posteriori qui permettra une capitalisation d'expérience et par voie de conséquence, un enrichissement du processus d'investissement.

Le processus d'investissement peut également être caractérisé en fonction de la constitution et de la consommation de l'investissement. Il est généralement différencié selon qu'il s'agisse d'un processus de type [FRI et al. 51] :

- "point input – point output" : la dépense d'investissement est opérée sur une période courte²⁴ et le produit d'investissement est également attendu sur une période courte, antérieure à la première ;
- "continuous input – point output" : les dépenses d'investissement sont échelonnées sur une durée déterminée alors que le produit d'investissement est attendu sur une période courte ;
- "point input – continuous output" : la dépense d'investissement est opérée sur une période courte et les produits de l'investissement sont échelonnés sur une période longue.

3.2.4 Plan d'investissement

Notre étude se situe au niveau du plan d'investissement. Aussi, les phases qui lui succèdent ne seront pas abordées.

Le plan d'investissement est l'une des composantes de la stratégie d'entreprise. Le plan d'investissement se compose des étapes de définition des objectifs et d'estimation des moyens (matériels, humains et financiers) nécessaires à leur satisfaction (l'aspect financier constitue la majeure partie de l'investissement considéré au sens économique du terme). Lui est associé un plan de financement dont le suivi permet d'ajuster progressivement les ressources financières disponibles [DOR 81]. Outre ces aspects, la durée du plan d'investissement et la périodicité d'élaboration constituent deux caractéristiques essentielles. Toutes deux sont propres à chaque entreprise et varient selon les domaines d'activité.

Le plan d'investissement varie selon le type d'investissement qui le concerne. Dans un premier temps, nous distinguerons donc plan d'investissement d'expansion et plan d'investissement de renouvellement. Notons la particularité de notre étude dans laquelle les investissements considérés s'inscrivent dans un contexte hybride associant conjointement investissements d'expansion, investissements de renouvellement et investissements sociaux. Le plan d'investissements d'expansion résulte des objectifs opérationnels de l'entreprise. Il est en effet déterminé par la capacité²⁵ supplémentaire à créer, déduite de la différence entre capacité souhaitée et capacité existante. Contrairement au plan d'investissements de modernisation, le plan d'investissement d'expansion est généralement défini par projets [DOR 81]. Constitué de nombreuses opérations, le plan d'investissements de renouvellement est généralement défini de manière globale. Tel est le cas des investissements de renouvellement des installations de distribution de gaz, constitués pour le renouvellement et le développement du réseau de distribution et

²⁴ Pour reprendre les termes de l'ouvrage de P. MASSE s'agissant d'une période courte il faut lire "à une seule époque" [MAS 68].

²⁵ Le terme capacité est à prendre au sens large puisqu'il désigne un ou plusieurs objectifs opérationnels tels que le volume de production, le niveau de qualité, etc.

attribués en début de programme ("point input") sur la base d'une évaluation quantitative des renouvellements à opérer sur la durée du programme ("continuous output"). L'investissement est opéré pour un ouvrage, à un instant donné. Les bénéfices de cet investissement sont espérés sur la durée de vie des installations renouvelées (voir § II.2).

3.3 Choix d'investissements

Dans ce paragraphe, nous introduisons le problème général du choix des investissements en présentant les méthodes traditionnelles de choix.

3.3.1 Problème du choix

Le choix des investissements est un choix sur la nature des investissements à réaliser. Parmi un ensemble de solutions, le choix consiste à identifier la meilleure solution possible dans le cadre fixé par le plan d'investissement [DOR 81]. Le choix repose sur l'aspect économique de l'investissement : la rentabilité. Pour améliorer les résultats de l'entreprise, un investissement doit être rentable. Il convient toutefois de mesurer la portée des méthodes d'aide au choix qui, sous l'intitulé "d'aide à la décision pour le choix des investissements", ne constituent qu'une aide à la décision, laissant la décision finale et la responsabilité associée à son choix, au décideur (voir § IV.2).

3.3.2 Actualisation

L'actualisation est à la base des méthodes de choix des investissements [DOR 81]. Le mot actualisation désigne à la fois une préférence pour le présent et la relation mathématique qui permet d'exprimer cette préférence [COL 93]. L'actualisation permet en effet la comparaison d'un revenu futur et d'un coût (revenu négatif) immédiat. En d'autres termes, l'actualisation permet d'établir des équivalences entre des sommes d'argent disponibles à des époques différentes [DOR 81]. En effet, une somme d'argent courant a pour équivalent dans un an cette même somme augmentée théoriquement des intérêts de son placement au meilleur taux d'opportunité possible.

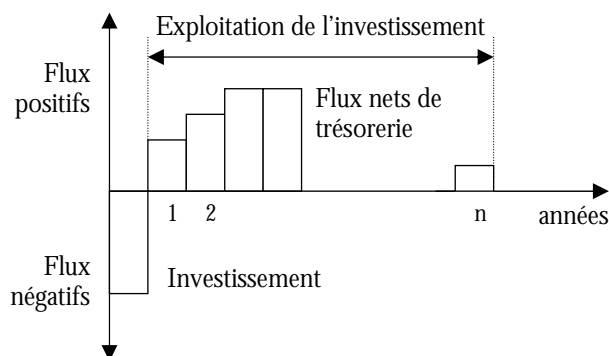


Figure I.6 : Flux de trésorerie [MAR et al. 87]

3.3.2.1 Données de base

Pour apprécier un investissement, il faut disposer des informations suivantes :

- le montant total de l'investissement, composé du coût de l'investissement (coût d'achat, coût d'installation, coût de mise en service, coût de formation, etc.) et du besoin en fonds de roulement d'exploitation (coût d'expansion induit par l'accroissement de capacité ou d'activité) [MAR et al. 87] ;

- la durée de vie effective du bien investi ou optimum d'exploitation, minimum entre la longévité physique (vieillesse) et la longévité technologique (obsolescence) ;
- les flux de trésorerie liés aux dépenses (flux sortant principalement constitué lors de la réalisation de l'investissement, puis de façon moindre par les dépenses d'exploitation) et recettes (flux entrant, généralement progressif et continu, lié à l'exploitation du bien investi).

Il est important de souligner que la détermination de ces valeurs, même dans le cadre d'une étude ponctuelle réalisée lors du plan d'investissement, est parfois difficile.

3.3.2.2 Taux d'actualisation

Pour qu'un investissement soit rentable, il faut que la somme de flux de trésorerie entrant permette de couvrir les flux de trésorerie sortant liés à la réalisation de l'investissement et au coût d'exploitation du bien investi.

Une unité monétaire disponible tout de suite et une unité monétaire disponible dans quelques années constituent deux biens économiques différents. Dans cette situation, le taux d'actualisation (de même nature qu'un taux d'intérêt) fait figure de lien entre le présent et l'avenir. Il joue donc un rôle fondamental pour le calcul de rentabilité d'un investissement. Dans l'hypothèse d'une prévision parfaite, avec la connaissance des taux d'actualisation a_n annuels des n années à venir, la valeur actualisée d'un investissement sur n années, correspondant au flux de revenus $R_0, R_1, R_2, \dots, R_n$ est :

$$VA = R_0 + \frac{R_1}{1+a_1} + \frac{R_2}{(1+a_1)(1+a_2)} + \dots + \frac{R_n}{(1+a_1)(1+a_2)\dots(1+a_n)} \quad (I.1)$$

et

$$C_n = \prod_{k=1}^n \frac{1}{1+a_k} \quad (I.2)$$

VA : désigne la valeur actualisée (également appelée le bénéfice total actualisé).

C : désigne le coefficient d'actualisation du revenu R_n .

Rappelons que dans le cas de l'investissement, la suite de revenus annuels débute par un ou plusieurs revenus négatifs, correspondant à la période d'investissement (continuous input ou point inout). Elle se poursuit ensuite par des revenus positifs (voir figure I.1).

Dans l'hypothèse d'un taux d'actualisation constant : $[a_1 = a_2 = \dots = a_n = a]$ la formule d'actualisation, formule de base des calculs de rentabilité, devient :

$$VA = R_0 + \frac{R_1}{1+a} + \frac{R_2}{(1+a)^2} + \dots + \frac{R_n}{(1+a)^n} = \sum_{k=1}^n \frac{R_k}{(1+a)^k} \quad (I.3)$$

En pratique, n est déterminé par la durée de vie utile du bien investi. Il est en effet nécessaire de faire intervenir la notion de temps afin de limiter le calcul de la valeur actualisée à un nombre n fini. Une continuation à l'infini pourrait soulever une difficulté théorique si la valeur actualisée augmentait indéfiniment avec n [MAS 68].

3.3.3 Valeur actuelle nette

La Valeur Actuelle Nette ou VAN peut être définie comme la somme du cumul des flux de trésorerie d'exploitation actualisés, calculés sur la durée de vie utile du bien investi, et le montant du capital investi.

Soit un investissement A supposé payé l'année précédant l'exploitation du bien investi. Soit D_k et R_k , respectivement les dépenses et les recettes d'exploitation d'une année quelconque k . Dans l'hypothèse d'un taux d'actualisation a constant, la valeur actuelle nette de l'investissement est :

$$VAN = -A + \frac{R_1 - D_1}{1+a} + \frac{R_2 - D_2}{(1+a)^2} + \dots + \frac{R_n - D_n}{(1+a)^n} = FLUX_0 + \sum_{i=1}^n \frac{FLUX_i}{(1+a)^i} \quad (I.4)$$

Si la VAN est positive (la recette totale actualisée est supérieure à la dépense totale actualisée) alors l'investissement est rentable pour le taux d'actualisation a choisi. Inversement, si la VAN est négative, l'investissement n'est pas rentable.

L'évaluation de la VAN présentée pour une situation d'investissement point output – continuous input, est également applicable aux situations point output – point input ou continuous output – point input.

La VAN constitue un critère de rejet [MAR et al. 87] et un critère de classement ou de sélection d'investissements [DOR 81]. Elle peut, en effet, être utilisée pour définir un ordre de préférence entre les suites de revenus. Soit B et B' , les valeurs actuelles nettes respectives des suites de revenus (R_0, R_1, \dots, R_n) et $(R'_0, R'_1, \dots, R'_n)$:

- si $B > B'$ alors B sera dit préférée à B' ;
- si $B = B'$ alors B et B' seront dites équivalentes.

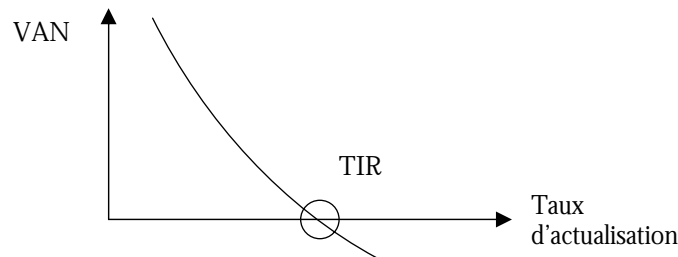


Figure I.7 : Taux Interne de Rentabilité

3.3.4 Taux interne de rentabilité

Le Taux Interne de Rentabilité ou TIR est défini comme le taux qui annule les flux de trésorerie. Ainsi, le taux interne de rentabilité noté r est la solution de l'équation :

$$-A + \frac{R_1 - D_1}{1+r} + \frac{R_2 - D_2}{(1+r)^2} + \dots + \frac{R_n - D_n}{(1+r)^n} = 0 \quad (I.5)$$

Lorsque la valeur actuelle nette de l'investissement est nulle, le montant des décaissements et des encaissements sont égaux et le taux d'actualisation de l'investissement est égal au TIR.

Un investissement est rentable tant que le TIR de l'investissement est supérieur au taux d'actualisation retenu par l'investisseur. Pour certains, le TIR constitue uniquement un critère de rejet [DOR 81]. Pour d'autres, il peut être à la fois critère de rejet et critère de choix [MAR et al. 87].

3.3.5 Autres méthodes de choix

Les méthodes traditionnelles de la VAN et du TIR reposent sur l'hypothèse du réinvestissement des flux de trésorerie d'exploitation à un taux de rentabilité unique. Moyennant la connaissance du taux de

rentabilité a^* , taux de rentabilité des investissements possibles pour le capital généré par le bien investi ou taux de réemploi des flux de trésorerie, les méthodes de la Valeur Actuelle Nette modifiée ou VAN* [KUC 97] et du Taux intégré ou TI [MAR et al. 87] permettent de lever cette hypothèse.

$$VAN^* = FLUX_0 + \sum_{i=1}^n \frac{FLUX_i (1 + a^*)^{n-i}}{(1 + a)^i} \quad (I.6)$$

Si $a = a^*$ alors $VAN = VAN^*$.

Le calcul de VAN peut être enrichi par d'autres indicateurs tels que :

- l'indice de rentabilité, encore appelé Indice de Profitabilité ou IP ;

$$IP = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{FLUX_i}{(1 + a)^i}}{FLUX_0} \quad (I.7)$$

- le délai de récupération du capital investi (de l'anglais pay-back).

3.4 Investissements de renouvellement

Rappelons que toute décision d'investissement implique l'identification d'un objectif, d'une technique et d'une durée de vie. Nous verrons à la suite que ces éléments figurent également dans le processus de gestion des risques dans lequel la planification des mesures de traitement à moyen terme implique également l'élaboration de plans d'investissement.

3.4.1 Définition

Nous avons situé l'investissement de renouvellement parmi les investissements de modernisation. Par opposition à l'investissement d'innovation, l'investissement de renouvellement, également appelé investissement de remplacement [MAR et al. 87] s'inscrit dans le cadre des activités existantes de l'entreprise. Pour ces dernières, il vise à maintenir le potentiel ou la capacité de production et de distribution, en assurant le renouvellement des moyens existants [MOU 94].

Par son rôle, l'investissement de renouvellement contribue à la continuité de l'activité de l'entreprise, mais également à la rationalisation et à la modernisation des moyens, selon la stratégie de réduction des coûts mise en place par l'entreprise et l'évolution technologique des domaines d'activités concernés.

3.4.2 Problème du renouvellement

Nous tentons de définir le problème du renouvellement tel qu'il est classiquement défini, hors prise en compte de la dimension sécurité. Au problème de renouvellement sont associés les problèmes d'estimation de la durée de vie utile du bien investi et de périodicité des renouvellements. En effet, pour un bien investi, le problème des durées²⁶ consiste à savoir quand ce dernier doit être déclassé ou remplacé par un bien équivalent en termes de capacité et plus moderne en termes de technicité²⁷ [MAS 68]. Considérant l'évolution continue des techniques, la périodicité de renouvellement tendrait en théorie à s'accélérer de manière à disposer du meilleur bien à un instant donné. Toutefois, celle-ci trouve sa limite dans les moyens financiers et humains disponibles mais également dans le niveau de priorité

²⁶ Le problème de choix des durées peut être généralisé à tout type de biens, qu'il soit ou non réalisé, dans le sens où il pose le problème du rythme de renouvellement.

²⁷ Nous parlerons de renouvellement de modernisation pour le cas du renouvellement d'un bien par un autre plus perfectionné.

donné aux investissements d'expansion, concurrents des investissements de renouvellement. Les principales questions posées par le renouvellement portent sur :

- la qualité : existe-t-il un bien de meilleure qualité ?
- les fonctionnalités : existe-t-il un bien assurant une fonction équivalente ou meilleure ?
- les coûts : existe-t-il un bien équivalent de coût global inférieur (coût d'acquisition, de mise en service, d'exploitation, d'entretien, etc.) ?

Au regard des réponses, un bien présentant une déficience en termes de qualité, de fonctionnalité ou de coût, par rapport à ses caractéristiques initiales ou par rapport à un bien équivalent sera qualifié de "vieilli" selon les termes de P. MASSE [MAS 68].

3.4.3 Usure et obsolescence

Un bien est dit "vieilli" lorsqu'il devient inapte à remplir la fonction pour laquelle il a été conçu. Le vieillissement peut être engendré par usure ou par obsolescence [MAS 68] :

- l'usure se manifeste par une baisse de productivité, de qualité ou par augmentation des coûts de maintenance pour leur maintien en activité du bien investi. L'usure peut être prévenue par une politique de maintenance appropriée ;
- l'obsolescence survient lorsque l'utilité du bien investi décroît plus vite qu'il ne s'altère physiquement. Dans la plupart des cas, l'obsolescence peut être évitée par une politique de renouvellement continue, fonction de l'évolution des techniques.

Usure et obsolescence peuvent être conjointement considérées par un mode de gestion prévisionnel, anticipant le renouvellement des biens investis à une date fixée et orientant en conséquence la politique d'entretien et de renouvellement associée.

3.5 Conclusion

Nous venons de présenter le corps de base de la théorie économique du choix des investissements. Rappelons les principaux éléments qu'il convient d'en retenir :

- s'agissant de la typologie des investissements, nous avons différencié : investissements de productivité, investissements sociaux et investissements réglementaires ;
- s'agissant des méthodes de choix des investissements, nous nous sommes attardés sur les "méthodes" les plus courantes que sont : la Valeur Actuelle Nette ou VAN et le Taux Interne de Rentabilité ou TIR, toutes deux reposant sur le concept d'actualisation.

Seul l'investissement de modernisation et plus particulièrement l'investissement de renouvellement sont concernés par notre étude (voir figure 1.5). L'aide au choix de ces derniers se situe dans un contexte où la qualité et la sécurité sont privilégiées et ce, en plus de la prise en compte de nombreuses contraintes de moyens (humains, économiques et techniques).

Les critères traditionnels de choix reposent sur la notion de rentabilité et donc de valeur économique obtenue selon les cas de manière directe ou indirecte lors de valorisation économique. Rappelons que l'investissement de renouvellement n'a pas pour vocation première de créer de nouvelles valeurs, mais d'améliorer l'existant par un gain de qualité et de productivité, ou par une diminution du coût global du bien renouvelé par rapport à l'ancien. L'évolution des exigences de l'entreprise, en particulier en termes de qualité, sécurité et environnement, nous conduit à proposer un nouveau critère de choix des investissements de renouvellement : le risque²⁸ ou mesure du danger [KER et al. 91]. En effet, si par le pas-

²⁸ Nous entendons par risque, le risque lié aux activités de l'entreprise.

sé, le choix des investissements était principalement conditionné par des aspects d'ordre économique, aujourd'hui, **la sécurité des personnes et des biens, ainsi que la prise en compte de l'environnement font figure de critères de choix d'investissement**. Certes si, in fine, les notions de rentabilité et de gain demeurent, seule la démarche permettant d'y aboutir change. Tel est l'objectif de la méthode d'Evaluation des Risques Agrégés ou ERA, destinée à évaluer le risque global, critère de choix des investissements.

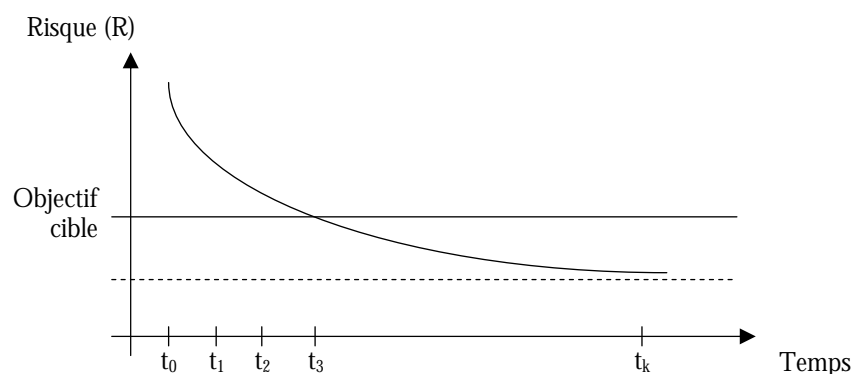
4 Evaluation du risque global

Dans les paragraphes précédents, nous avons montré que la qualité intègre aujourd'hui de nombreux aspects dont ceux liés à la santé, la sécurité et l'environnement (voir § 1.2). Nous avons également montré que l'amélioration de la qualité, à l'image de tout investissement, doit être un investissement rentable (voir § 1.3). Le présent paragraphe décrit la problématique associée à notre étude. Rappelons que cette dernière porte sur l'élaboration d'une méthodologie de prise en compte du risque aboutissant à l'évaluation d'un indicateur de risque global dont l'usage expérimenté dans ce mémoire porte sur le choix d'investissements de renouvellement.

4.1 Cadre expérimental d'étude

Notre étude se situe en phase de planification des investissements, étape préalable à l'élaboration de programmes pluriannuels de renouvellement (voir § 1.3.2.3). A cette étape, l'aide au choix des investissements est généralement destinée à fournir une estimation des moyens financiers nécessaires à la satisfaction des objectifs fixés par la stratégie d'entreprise. **Dans le cadre spécifique de programmes de renouvellement fondés sur une politique de maîtrise des risques et plus généralement dans le cadre de la mise en place de SMI, l'objectif recherché est de diminuer le risque afin de le rendre acceptable à échéance du plan d'investissements.**

La figure I.8 illustre l'évolution du risque d'exploitation d'un ensemble de n biens. Le risque R est représenté par une hyperbole dont l'asymptote est la valeur minimale espérée à très long terme, compte tenu des engagements pour la réduction des risques. La fonction objectif est une fonction constante dont la valeur est l'objectif cible défini dans le cadre de la politique de maîtrise des risques fixée pour une période donnée.



$$R = \sum_{i=1}^n RG_i \text{ avec } n : \text{nombre de biens, } i = 1, \dots, n \text{ et } RG_i : \text{risque global du bien } i$$

Figure I.8 : Evolution prévisionnelle du risque dans le temps

Outre l'aide au choix d'investissement, la prise en compte du risque global a également pour objectifs d'établir une hiérarchie dans les actions à entreprendre en priorité. Rappelons qu'un programme pluri-

annuel de renouvellement est constitué d'un grand nombre d'opérations planifiées sur une durée déterminée. Il est alors nécessaire d'ordonner ces opérations de manière à traiter en priorité les biens les plus "à risques" afin d'accroître la convergence vers l'objectif sécurité fixé.

4.2 Problématique générale

L'élaboration de la démarche de prise en compte du risque global selon la méthode ERA nécessite d'apporter une réponse aux questions suivantes :

- quels sont les risques principaux susceptibles de participer à l'évaluation du risque global ?
- quels sont les apports et limites des méthodes classiques en matière d'analyse des risques ?
- enfin, quel complément méthodologique développer pour compléter l'état des connaissances et permettre ainsi l'évaluation d'un indicateur de risque global ?

4.2.1 Quels risques ?

Une politique de maîtrise des risques débute nécessairement par une étape d'identification des principaux facteurs de risques propres à l'entreprise ou à son environnement (voir § III.2.3.2). Dans l'optique d'une évaluation du risque global, il convient au préalable :

- d'identifier les risques susceptibles de participer à cette évaluation ;
- de définir un référentiel permettant de les comparer.

L'utilisation de listes ou de grilles préétablies telles que celles proposées par certaines méthodes d'analyse des risques est de nature à faciliter la réalisation de cette tâche. Dans ce sens, nous proposons une typologie des principaux risques (voir § II.3). S'agissant des risques de l'entreprise en particulier, une attention particulière est portée sur la mise en exergue de leurs caractéristiques fondamentales (nature, source, effets, conséquences et assurabilité)

L'évaluation du risque global nécessite une estimation de l'importance relative des différents risques qui le composent sur la base d'une même échelle de mesure. Ce problème a été résolu à l'aide des méthodes multicritères d'aide à la décision (voir § IV.3 et § IV.4).

4.2.2 Limites et utilité des méthodes d'analyse des risques existantes

La méthode ERA est une extension méthodologique des méthodes traditionnelles d'analyse des risques. Elle s'intègre au processus de gestion des risques dont la portée se voit étendue d'une vision globale du système (analyse systémique) à une vision globale des risques (procédure d'agrégation multicritère).

Afin de situer la méthode ERA par rapport à l'existant en matière d'analyse et de gestion des risques, nous présentons une analyse bibliographique détaillée du processus de gestion des risques (voir § III.2). Nous présentons également les principales méthodes d'analyse des risques issues de la sûreté de fonctionnement (voir § III.3). Cet exercice de synthèse revêt une double utilité :

- d'une part, il permet de situer l'activité de gestion des risques au sein de l'entreprise, mettant en particulier en avant une croissance continue des exigences en matière de sécurité (voir § III – Analyse et gestion des risques) ;
- d'autre part et par rapport à ces évolutions, il met l'accent sur les apports et les limites des méthodes d'analyse des risques existantes (voir § III.3.1 et § III.3.2).

4.2.3 Comment évaluer un indicateur de risque global ?

L'évaluation du risque global est le cœur de la problématique de notre étude. Nous avons choisi de traiter cette problématique à l'aide de méthodes de décision multicritère. La méthode ERA tente ainsi

d'apporter des éléments de réponse à des besoins nouveaux pour lesquels les méthodes traditionnelles s'avèrent être mal appropriées (mesure d'importance relative des risques, évaluation du risque global d'une installation, évaluation du risque global d'un projet, etc.). La démarche de résolution de problèmes décisionnels est composée des phases d'identification, de regroupement et de pondération des critères descriptifs du problème étudié. Le transfert de cette démarche au domaine de la gestion des risques et de la gestion du risque global en particulier, pose les problèmes suivants :

- comment identifier et structurer les critères de risques participant à l'évaluation du risque global ?
- comment estimer l'importance relative de risques ou de critères de risques ?
- comment agréger les valeurs d'importance relative de risques ou de critères de risques, en une valeur unique, de synthèse ?

La suite de ce mémoire tente d'apporter des éléments de réponses à ces interrogations.

Chapitre II

Risques : concepts, typologie et cadre industriel

1 Introduction

La gestion des risques s'inscrit dans la ligne de management de l'entreprise. Aussi, une gestion efficace des risques passe nécessairement par la définition d'une politique intégrée à la stratégie d'entreprise. Afin de situer le cadre de notre étude, nous présentons d'abord le contexte et la problématique industriels liés au renouvellement des ouvrages de distribution de gaz naturel. Nous présentons ensuite, une taxonomie des principaux risques couverts par le champ d'application de la méthode ERA, en veillant à en approfondir et en clarifier le sens et les concepts.

2 Contexte et problématique liés à l'activité de distribution

Pour plus de 25 millions de français¹, le gaz naturel² est devenu un produit d'usage courant. Le gaz naturel "est responsable de moins de 0,2% des accidents mortels" [MIC 96]. Dans sa mission de distribution et plus largement dans le cadre d'une politique qualité de la chaîne de distribution du gaz naturel, Gaz de France s'est donné pour ambition d'améliorer durablement la qualité et la sécurité des installations en concessions, mais également des installations intérieures³ de ses clients. Pour atteindre cet objectif, Gaz de France consacre annuellement une part importante de ses investissements (plusieurs centaines de millions de francs) au renouvellement d'une partie de son patrimoine. Cet engagement est associé à une stratégie politique et commerciale s'appuyant sur l'image d'un produit sûr et de qualité, à l'image d'une entreprise industrielle responsable et à la volonté de maîtriser l'impact médiatique lié aux accidents. **Il est motivé par des aspects économique (maîtrise des coûts et des techniques, développement de nouvelles technologies et de nouveaux procédés, optimisation des investissements de renouvellement des réseaux existants), juridique (responsabilité du distributeur pour les installations en concession) et moral (sécurité des installations situées en dehors de la limite de responsabilité).** Notre étude, dont le champ d'application est limité aux installations à usage collectif (voir figure II.1), s'inscrit pleinement dans cet axe de progrès. Le traite-

¹ Sur la base d'une moyenne de 2,6 personnes par ménage (source INSEE, 1994).

² Le gaz naturel est un gaz non toxique. Il est rendu odorant de manière à être facilement décelé. Le gaz naturel est composé de méthane (entre 87,6% et 97,9% selon son origine), d'hydrocarbures saturés et de gaz inertes.

³ L'installation intérieure est la partie de l'installation en aval du compteur.

ment des risques à l'aide de l'approche globale proposée par la méthode ERA participe à l'élaboration des schémas directeurs d'évolution des réseaux (voir § II.2.3). Elle fournit une aide au gestionnaire dans la sélection des interventions de renouvellement permettant ainsi de conserver son patrimoine en état, d'améliorer la qualité et la sécurité de la distribution compte tenu d'un niveau d'exigences imposé ou objectifé tout en gardant la maîtrise des investissements opérés. Pratiquement, **la méthode ERA est appliquée à l'évaluation de la priorité de renouvellement des installations**. Ces apports se situent à deux niveaux. D'une part, elle fournit le diagnostic de chaque installation, au regard de dangers⁴ exprimés en termes de sécurité des personnes et des biens, mais également en termes de qualité de service. D'autre part, elle contribue à la mise en œuvre d'une politique de renouvellement proactive dans le cadre des schémas directeurs d'évolution des réseaux.

2.1 Généralités

Gaz de France est né de la loi de nationalisation des industries électriques et gazières du 8 avril 1946. Gaz de France a en charge l'importation, le transport, le stockage, la distribution et la commercialisation du gaz naturel. Gaz de France gère plus de 10 millions de clients en France et 2 millions à l'étranger. L'activité de distribution comprend la gestion technique des réseaux et installations, et les services à la clientèle. Garantir la sécurité des installations, développer les services offerts et améliorer leur qualité constituent trois priorités majeures. La figure ci-dessous présente les installations à usage collectif définies comme la "partie de l'installation d'un immeuble collectif comprise entre l'organe de coupure générale (inclus) et les compteurs individuels ou, à défaut de compteurs, les robinets de coupure individuelle [INS 94].

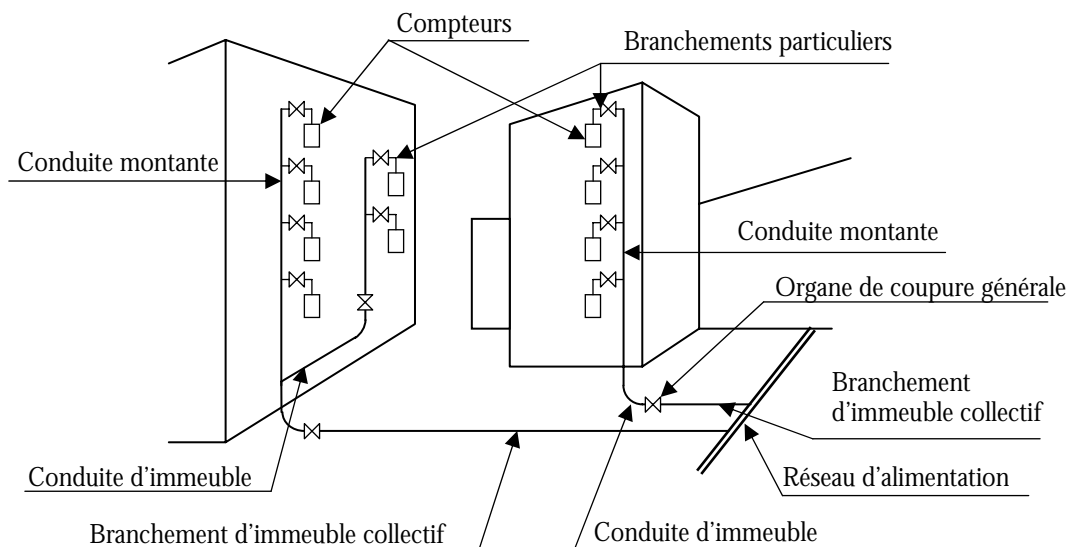


Figure II.1 : Installations à usage collectif – Installations en concessions

La distribution est assurée dans le cadre de concessions publiques. Le réseau urbain de distribution de gaz naturel avoisine les 140 000 km. De 1950 à nos jours, le réseau urbain a été multiplié par 4. Les canalisations réalisées à partir de matériaux (fonte grise ou ductile, plomb) et de procédés d'assemblage

⁴ Le CETG définit le terme "facteur de risque" comme un état ou une situation d'un ouvrage de distribution qui, compte tenu en particulier de l'environnement de l'ouvrage, comporte une potentialité d'accident. Le lecteur notera qu'ainsi défini le terme "facteur de risque" désigne un danger. A des fins de cohérences, le mot "danger" sera le seul employé à la suite du document.

d'époque présentent un certain niveau d'obsolescence, en particulier en termes de sécurité et sont l'objet de remplacement par des matériaux moins onéreux, plus faciles à poser et raccorder (raccords électrosoudables) et plus sûrs (acier soudé ou polyéthylène). Le remplacement des installations est mis en œuvre par les centres de distribution EDF⁵-GDF Services. Les centres de distribution EDG-GDF Services ont pour mission de garantir durablement les services à la clientèle. A cette fin, ils ont à charge l'entretien, le dépannage, le renouvellement et le développement du réseau de distribution. La sécurité étant une priorité forte, le renouvellement et le développement du réseau reposent sur un corps de doctrines visant à améliorer la qualité de la chaîne de distribution et d'utilisation du gaz naturel (voir § II.2.2). L'amélioration de la qualité du réseau et des installations, et leur développement à long terme, nécessitent l'établissement de schémas directeurs garants d'une meilleure maîtrise des techniques et des coûts (voir § II.2.3).

2.2 Qualité et sécurité

Dans une perspective prochaine d'ouverture du marché à la concurrence, Gaz de France se doit plus que jamais de renforcer sa relation de confiance avec sa clientèle et ses partenaires. Aussi trouve-t-on, parmi les objectifs de la politique de distribution du gaz, les aspects qualité de service, qualité des installations et relation avec les parties intéressées.

2.2.1 Qualité de service

La principale qualité d'un service réside dans sa performance. Cette dernière est généralement exprimée sous la forme d'un taux de disponibilité⁶. Dans le cas présent, nous définissons la performance de l'activité de distribution comme la résultante de la qualité des installations, la sécurité des installations et la continuité de l'alimentation. S'agissant des installations en concessions dont les installations à usage collectif font partie, ces aspects sont de la responsabilité du distributeur.

2.2.2 Qualité des installations

Les installations en concessions (voir figure II.1) sont les réseaux d'alimentation, situés sous voie publique ou privée, les branchements d'immeubles collectifs, les installations à usage collectif (conduites d'immeubles et conduites montantes principalement). La démarche d'amélioration de la qualité des installations est différenciée selon qu'il s'agisse d'installations nouvelles ou d'installations existantes. Bien que notre travail se focalise essentiellement sur le traitement des ouvrages existants, l'amélioration de la qualité des installations nouvelles est un aspect considéré puisque ce sont les évolutions techniques des installations nouvelles qui déterminent les solutions de remplacement de tout ou partie des installations existantes.

La démarche d'amélioration de la qualité des installations nouvelles porte sur l'ensemble des étapes du cycle de vie du réseau et des installations, à savoir l'étude, la conception, la réalisation et l'exploitation. Cette démarche a pour objectif principal d'améliorer la qualité intrinsèque des installations nouvelles (intégration dans l'architecture réseau, dimensionnement, conception technique, qualité de réalisation, durée de vie, etc.) tout en gardant la maîtrise des coûts et des techniques.

La qualité d'une installation existante se définit comme la composante de la qualité intrinsèque et de la qualité d'exploitation :

⁵ Electricité de France.

⁶ La disponibilité est l'aptitude d'une entité à être en état d'accomplir une fonction requise dans des conditions données et à un instant donné [AFNOR 77]. La durée de disponibilité est la période pendant laquelle une entité est en état d'accomplir sa fonction. Le taux de disponibilité, durant un intervalle de temps, est le rapport entre le temps effectif de disponibilité (durée de disponibilité moins durée d'indisponibilité) et la durée de disponibilité.

- la qualité intrinsèque des installations existantes dépend de la conception et de la réalisation à l'origine et après modifications éventuelles lors du renouvellement de parties ;
- la qualité d'exploitation est fonction de l'environnement d'exploitation et de l'engagement pour le maintien en l'état du patrimoine (maintenance et renouvellement).

Partant de cette définition, l'analyse des risques constitue un levier d'action pour l'amélioration de la qualité des installations existantes. En effet, en identifiant les déficiences de conception et de réalisation d'époque en termes de sécurité et en rapport avec l'environnement d'exploitation, elle fournit une aide au choix des renouvellements à opérer en priorité.

2.3 Schémas directeurs d'évolution des réseaux

Un schéma directeur est un échéancier des travaux prévisibles à moyen terme (vision pluriannuelle). Les résultats de l'application de la méthode ERA constituent une aide à la sélection des interventions. C'est en tant que telle, qu'elle participe à l'élaboration des schémas directeurs d'évolution des réseaux.

2.3.1 Généralités

L'activité de distribution du gaz naturel nécessite le maintien et le développement d'une infrastructure importante. Compte tenu de la durée de vie des installations et de la complexité des réseaux, il est essentiel de structurer leur évolution sur les bases d'une vision à long terme du développement en surface du réseau et d'une vision à moyen terme du renouvellement de l'existant. Les actions entreprises par le renouvellement doivent prendre en considération l'ensemble des paramètres suivants :

- améliorer la sécurité en traitant les dangers identifiés à partir de l'analyse a posteriori des accidents et de la capitalisation des savoir-faire ;
- augmenter la capacité du réseau en fonction des perspectives d'évolution des besoins ;
- réduire les coûts de réalisation et d'exploitation par l'introduction de technologies performantes.

Les schémas directeurs d'évolution des réseaux sont donc la mise en œuvre d'une politique destinée à améliorer durablement la qualité tout en optimisant les investissements.

2.3.2 Schémas directeurs d'évolution des réseaux existants

L'extension de la limite de concession aux installations à usage collectif, la rationalisation des budgets de renouvellement et le fort impact médiatique lié aux explosions de gaz ont conduit à passer d'un renouvellement systématique⁷ à un renouvellement sélectif fondé sur l'analyse des risques.

Dans une vision à très long terme, l'élaboration des schémas directeurs apparaît comme une préoccupation de premier ordre de par les enjeux qui lui sont associés :

- enjeu stratégique en termes d'image et de perception de la qualité et de la sécurité par le public ;
- enjeu économique en termes de développement en profondeur⁸ des réseaux existants, d'accroissement des ventes et d'optimisation des investissements (plusieurs centaines de millions de francs sont annuellement consacrés au renouvellement des installations existantes) ;
- enjeu juridique lié à l'application des textes réglementaires⁹, au respect de textes normatifs¹⁰ et au respect des conventions de concession¹¹.

⁷ Le renouvellement systématique a été pratiqué sur les anciennes canalisations en fonte grise ou ductile, aujourd'hui remplacées par des tuyaux en acier soudé ou en polyéthylène.

⁸ Le développement en profondeur (développement de zones desservies) représente la majorité des développements à venir (90% environ). Le reste est représenté par le développement en surface (nouvelles concessions).

2.3.3 Démarche d'élaboration des schémas directeurs d'évolution des réseaux

L'application de la méthode ERA participe à l'établissement des schémas directeurs. Le processus d'établissement des schémas directeurs est le suivant :

- diagnostic de l'existant : inventaire physique, forces et faiblesses en capacité de desserte et surtout qualité d'exploitation en termes de sécurité, fiabilité et coûts d'entretien ;
- prévision d'évolution des consommations ;
- intégration des travaux d'aménagement et de voirie ;
- définition de réseaux cible¹².

L'identification des configurations d'installations dangereuses est une étape fondamentale. La phase d'analyse des risques de la méthode ERA répond à cette interrogation. Au-delà, elle permet le diagnostic sécurité de chaque installation et la quantification de la part de réseau à traiter en priorité dans le cadre des schémas directeurs d'évolution des réseaux.

2.4 Expression des besoins

Notre étude porte sur les installations à usage collectif (installations existantes et en concessions). Le précédent paragraphe nous a permis de détailler la politique générale mise en place pour l'amélioration de la qualité et de la sécurité de la chaîne de distribution. S'agissant des installations à usage collectif, l'amélioration de la qualité repose sur le développement des réseaux (étude, conception, réalisation et exploitation); l'amélioration de la sécurité des installations (diminution en nombre et en gravité des accidents) et la satisfaction des attentes des parties intéressées (clients et collectivités locales). Bien que notre étude contribue à la satisfaction de chacun de ces objectifs, nous nous focalisons principalement sur le processus d'amélioration de la sécurité.

2.4.1 Démarche sécurité

L'amélioration de la sécurité est fondée sur l'analyse et le traitement des risques. L'analyse repose en priorité sur la prise en compte d'un référentiel de dangers identifiés au plan national. Elle repose également sur une analyse locale pour la prise en compte de dangers spécifiques. Le traitement des risques repose sur un ensemble de mesures préventives et correctives destinées à prévenir et à limiter les principales causes et conséquences d'accidents, et sur le développement d'une politique de communication et de sensibilisation destinée à diminuer les dégradations occasionnées par inadvertance (travaux de voirie ou de tiers) ou par vandalisme. Une démarche méthodologique fondée sur l'analyse des dangers a été formalisée par Gaz de France. Son énoncé et ses principaux attendus sont donnés à la suite.

2.4.2 Attendus sécurité

Sur la base d'un référentiel de dangers nationaux, il est demandé à chaque centre de distribution :

⁹ Le principal texte réglementaire est l'arrêté du 2 août 1977 (paru au Journal Officiel du 24.08.77) relatif aux règles techniques et de sécurité applicables aux installations de gaz combustible et d'hydrocarbures liquéfiés situées à l'intérieur des bâtiments d'habitation ou de leurs dépendances. Le guide [INS 94] a été rédigé à l'intention des installateurs et des responsables de bureaux d'étude, à partir de cet arrêté.

¹⁰ Document Technique Unifié (DTU) publié par le Centre Scientifique et Technique du Bâtiment : DTU 61.1 relatif aux installations de gaz (avril 1982) et DTU 65.4 relatif aux prescriptions techniques concernant les chaufferies au gaz et aux hydrocarbures liquéfiés (septembre 1978).

¹¹ La convention liant le concédant et le concessionnaire établit les devoirs et les obligations du concessionnaire en termes de sécurité, d'environnement, de service, de transparence, etc. En Ile de France, le Syndicat Intercommunal pour le Gaz et l'Electricité (SIGEIF) agit en tant que délégataire du pouvoir concédant de 133 communes.

¹² Le réseau cible décrit l'état du réseau restructuré.

- d'identifier les dangers (nationaux ou locaux) de ses installations ;
- d'identifier les zones sensibles aux risques ;
- d'évaluer les risques des installations et de les interclasser en fonction des dangers ;
- d'établir un programme pluriannuel de renouvellement tenant compte du schéma directeur d'évolution des réseaux et du traitement des risques.

Les budgets d'investissements sont attribués en fonction de ces éléments, d'où un enjeu fort à aider les gestionnaires dans l'évaluation de la priorité de renouvellement des installations, dans la quantification de la part de réseaux à traiter et dans la hiérarchisation des travaux à entreprendre.

2.4.3 Démarche méthodologique de prise en compte des dangers

Le traitement des risques a été l'objet d'une note de service décrivant les principes généraux d'une démarche méthodologique permettant de répondre aux attendus (voir § II.2.4.2). Cette démarche est largement inspirée de l'analyse des risques. Elle comprend : l'identification et l'évaluation des dangers principaux ; l'identification des mesures de traitement ; l'évaluation quantitative du parc d'installations à traiter ; l'établissement, la réalisation et le suivi d'un programme pluriannuel de renouvellement. La méthode ERA traite l'ensemble des étapes de la démarche, exception faite de la planification et de la réalisation des programmes travaux.

2.4.4 Attendus de l'étude

Les principaux attendus liés à l'application de la méthode ERA sont :

- positionner chaque centre de distribution par rapport aux référentiels de dangers nationaux ;
- identifier les dangers locaux¹³ propres à chaque centre de distribution ;
- fournir une évaluation de la priorité de renouvellement de chaque installation ;
- établir une hiérarchisation des installations en fonction de leur priorité de renouvellement ;
- quantifier les installations à renouveler en priorité par rapport à un objectif sécurité donné.

Outre les attendus énoncés précédemment, l'application de la méthode ERA doit également permettre une utilisation flexible du calcul de priorité de renouvellement de manière à intégrer les spécificités de fréquence et de gravité des dangers des réseaux de distribution. Préalablement à la présentation de son application, nous présentons une taxonomie des risques de l'entreprise et des risques majeurs.

3 Taxonomie du risque

Le risque occupe une place importante dans la société. Le mot "risque" est quotidiennement employé par tout un chacun. Il est employé partout : dans le milieu économique, dans le milieu financier, dans le milieu social, dans le milieu juridique, dans le milieu moral, dans le milieu médical, dans le milieu militaire [EWA 99]. La maîtrise des risques est un objectif clairement affiché par les entreprises et les autorités. Nombreux sont, dans tous les secteurs de la vie économique et sociale, les systèmes de prévention, de protection et de réparation au profit des personnes, du public et de l'environnement [BRE2 et al. 94]. **La gestion des risques constitue un ensemble de concepts, de démarches et d'outils destinés à identifier et à contrôler les risques qui pèsent sur la vie de l'entreprise afin**

¹³ Les dangers locaux sont définis comme l'ensemble des caractéristiques géographiques, géologiques, environnementales et techniques d'une installation, donnant lieu à une configuration ayant un certain potentiel à causer des dommages non considérée dans le référentiel de dangers nationaux.

de les réduire et de rechercher la meilleure couverture financière possible. Bien que l'analyse des risques et leur mode de management soient au cœur de nombreux travaux de recherche, le risque demeure un concept difficile à définir. La littérature compte différentes typologies de risques, proposant des regroupements sous forme de familles de risques différenciés selon leur nature (risque pur ou spéculatif), leur origine (risque interne ou externe à l'entreprise), leurs effets (dommages aux personnes, aux biens, à l'environnement ou à l'entreprise), leurs conséquences (financières, juridiques ou sociales), etc. Déterminer une liste des risques possibles représente un travail de titan qui se révélerait nécessairement incomplet. Nous nous limiterons à présenter les risques de l'entreprise et les risques majeurs.

3.1 Introduction

3.1.1 Gérer le risque

Toute activité de l'entreprise repose sur des décisions comportant une part plus ou moins importante d'enjeux et donc de risques, de natures différentes (social, environnemental, économique, juridique, etc.). Chaque fonction de l'entreprise (qualité, production, finance, etc.), chaque acteur est confronté à une prise de risque quotidienne. Qu'il s'agisse de pérenniser, de développer, ou d'entreprendre, toute activité de management consiste à prendre des décisions consciemment à la lumière des risques calculés. Dans leur rôle de "risk manager", les décideurs gèrent les risques pour les rendre supportables par l'entreprise. Selon G. LAMAND¹⁴, "gérer le risque, c'est utiliser au mieux des ressources limitées pour minimiser un ensemble de risques que l'on ne pourra jamais réduire à zéro". Bien que le management des risques soit spécifique à chaque entreprise, son objectif reste le même : "assurer la sécurité des personnes et des biens, pérenniser les activités et préserver les ressources et l'environnement, en deux mots : rendre plus sûr et durable" [BEN et al. 94].

3.1.2 Risques nouveaux

L'entreprise évolue dans un environnement mouvant dont les changements sont souvent difficiles à prévoir. L'émergence d'une société de l'information, l'importance prise par les moyens d'information au public, sont à l'origine de nouveaux risques (désinformation, erreur de communication, etc.). Les médias véhiculent des enjeux importants vis-à-vis de la stratégie d'entreprise, de l'image, de la notoriété, de l'occupation du marché, etc. L'opinion publique, l'acceptabilité sociale du risque et la médiatisation constituent de nouveaux facteurs aléatoires à prendre en compte [BEN et al. 94] pour la définition des niveaux d'acceptabilité¹⁵ des risques.

3.1.3 Nouveaux besoins de la maîtrise des risques de l'entreprise

La recherche de rentabilité, l'importance croissante des risques nouveaux (et une meilleure connaissance de la gestion des risques) conduisent les entreprises à développer les moyens de prise en compte des risques. En parallèle, la recherche poursuit ses travaux vers de nouvelles méthodologies permettant la prise en compte et le traitement global de risques différents et de leurs dépendances [SER 96].

3.1.3.1 Traiter le risque global

Dans une communication présentée lors du colloque "Risque & Société", tenu à Paris en novembre 1998, P. SONIGO¹⁶ exprime les manques perçus par les industriels en matière de gestion des risques [SON 99]. Dans un contexte :

¹⁴ Guy LAMAND est chargé de la maîtrise des risques à la COGEMA et ancien Président de l'Association pour le Management des Risques et des Assurances de l'Entreprise ou AMRAE.

¹⁵ Le concept d'acceptabilité des risques est détaillé dans § III.2.3.3.

¹⁶ Pierre SONIGO est Directeur de l'Environnement et de la Gestion des Risques Industriels de Pechiney.

- où l'occurrence d'un événement accidentel peut affecter durablement la gestion financière, l'image, les relations de partenariats, les motivations des employés ;
- où la non maîtrise des aléas est devenue inacceptable ;
- où la charge financière engendrée par le risque est difficilement supportable, "le « Risk Manager » manque d'outils pratiques pour traiter ces risques de façon globale".

Il met l'accent sur le nécessaire développement d'outils de maîtrise intégrée de différents risques : "Comment comparer des risques entre eux ? Quels critères retenir ?".

3.1.3.2 Maîtriser la complexité croissante

La complexité croissante des entités à risque (installation, projet, activité, etc.) impose, pour la gestion de leur sécurité ou la maîtrise de leur exécution, des exigences multiples combinant une démarche pluridisciplinaire (financière, juridique, technique, etc.) d'évaluation des risques et de gestion rationnelle de différentes formes de ressources. Cette évolution atteint les limites des méthodes d'analyse de risque classiquement définies comme méthode réactive [SER 96]. **La gestion des risques est désormais un processus intégrant une vision globale du système physique et de son interaction avec l'environnement : analyse du système, analyse économique et analyse des incertitudes.**

3.1.4 Elaborer une méthodologie de maîtrise intégrée des risques

Certains tentent aujourd'hui de normaliser la gestion des risques de l'entreprise¹⁷. Dans un domaine touchant la société dans sa globalité, il semble aussi difficile que nécessaire de définir une terminologie commune propre à favoriser les travaux de recherche. Il semble également opportun de mener une réflexion approfondie sur les méthodes et outils permettant une gestion intégrée des risques par l'adjonction d'une vue globale des risques et de leur gestion.

Nous tentons de satisfaire ces attentes en proposant une méthode novatrice de gestion des risques. La méthode d'Evaluation des Risques Agrégés, ou ERA, fait appel à l'analyse systémique, à l'aide multicritère à la décision et à l'ingénierie des connaissances. Utilisant les concepts de scénarios d'accident, d'évaluation multicritère et d'expertise, elle permet de modéliser et d'évaluer le risque global résultant de l'agrégation de l'ensemble des facteurs discriminants du risque, pondérés en fonction de leur importance relative. Le modèle analytique obtenu traduit un modèle cognitif d'évaluation du risque global résultant du recueil des savoir-faire. Appuyée par un Système Interactif d'Aide multicritère à la Décision ou SIAD, la méthode ERA permet d'accompagner la mise en œuvre des solutions techniques ou préventives destinées à accroître le niveau de maîtrise des risques.

3.2 Historique

L'homme a de tout temps été confronté aux dangers. Qu'il s'agisse de catastrophes naturelles (tremblement de terre, inondation, éruption volcanique, avalanche, cyclone, etc.), de maladies (sida, peste, choléra, etc.), de guerres ou de tout autre manifestation, l'homme fut amené à réagir face au danger du risque naturel. Dans son ouvrage "L'archipel du Danger", G.Y. KERVERN¹⁸ rappelle l'évolution du risque naturel vers le risque technologique [KER et al. 91]. Ainsi au XIX^{ème} siècle, à la naissance des

¹⁷ AFNOR Normalisation a mis en place une commission française "Terminologie de la gestion du risque" visant à organiser la participation de la France dans les travaux d'élaboration d'un document international ISO sur la terminologie de la gestion des risques dans les domaines d'activités professionnels et non professionnels (publication prévue en 2000).

¹⁸ Georges Yves KERVERN, polytechnicien, ingénieur des mines, et diplômé de l'Institut d'Etudes Politiques de Paris, est membre du comité scientifique de l'Institut Européen de Cindyniques.

grandes industries est associée celle du risque technologique. Au danger de l'ère du risque naturel succède le danger provoqué et délibérément assumé de l'ère industrielle.

La prise de conscience de la nécessaire gestion des risques dans les entreprises est à l'origine du métier de "Risk Manager". La Risk Insurance Management Society ou RIMS, anciennement dénommée dans les années 1930 Risk Research Institute ou RRI, fut fondée par les assurances de société new-yorkaises. Elle fut l'une des premières institutions à faire usage du terme Risk Manager, terme publié en 1956 par Russel Gallagher, responsable des assurances de la société Philco de Philadelphie. Dans les années 1950, la qualité "acheteur d'assurance" l'emporte largement sur la qualité "spécialiste du risque". A partir de 1970, les spécialistes du risque financier développent la gestion financière des risques (en anglais "financial risk management"). En parallèle, le développement de l'industrie est accompagné par une réflexion croissante sur le risque technologique. Ces spécialistes se regroupent dans la Society for Risk Analysis. En 1988, le Center for Risk Management est créé à Washington et traite le risque environnemental. Au milieu des années 1970, le domaine hospitalier entre dans les métiers de Risk Manager à la suite d'incidents médicaux graves. Dès lors, le terme Risk Manager couvre des domaines variés et donne lieu à des philosophies différentes dont les secteurs de la finance et de l'assurance se font les principaux instigateurs.

3.3 Concept

Le mot risque revêt une définition différente selon le domaine d'application auquel il fait référence. Nous tentons d'en préciser le concept tout en gardant à l'esprit le caractère ambigu lié au risque lui-même, tant différentes disciplines y ont recours.

3.3.1 Danger et risque

Qu'il s'agisse du domaine des technologies (sûreté de fonctionnement, management environnemental, gestion de projet, etc.), de l'économie (aide à la décision, choix des investissements, etc.) ou de tout autre domaine, risque et danger sont parfois source de confusion quant à leur définition et différence. Le Petit Robert définit un danger comme "ce qui menace ou compromet la sûreté, l'existence d'une personne ou d'une chose". **Un danger est une situation qui a en elle un certain potentiel à causer des dommages aux personnes et aux biens** : "Danger de mort¹⁹", "Attention, danger". Dans le langage courant, le risque est souvent défini comme étant l'événement ou la situation qui le produit. Ainsi, dans une première acception, Le Petit Robert définit un risque comme un "danger éventuel plus ou moins prévisible". Dans une seconde acception, le Risque est considéré comme "l'éventualité d'un événement ne dépendant pas exclusivement de la volonté des parties et pouvant causer la perte d'un objet ou tout autre dommage" ; cette définition se réfère à la vraisemblance de l'événement. Enfin, dans une troisième acception le risque est le "fait de s'exposer à un danger (dans l'espoir d'obtenir un avantage)". En d'autres termes, un risque est une évaluation du danger. Il implique éventualité et hasard, possibilité ou probabilité, certitude ou incertitude. Le terme risque est donc ambigu car il évoque à la fois le type de conséquences (ou dommages) et la probabilité de survenue de celles-ci. Dans les concepts de base des Cindyniques (Sciences du Danger, du grec Kindunos, le danger) décrits dans [KER et al. 91], le mot danger est défini comme : "la tendance d'un système à engendrer un ou plusieurs accidents...". Le risque est défini comme une mesure du danger.

3.3.2 Bilan des acceptions du mot "risque"

Au concept de risque est classiquement associé celui d'événement redouté dont l'occurrence peut entraîner des dommages : "A risk is a chance of loss" [LEN 71]. Nous verrons que le risque peut être qualifié de par son aspect positif, en particulier lorsqu'il est générateur de profits et non de pertes.

¹⁹ Le "danger de mort" illustre le fait que le danger est conçu dans sa nature, alors que le risque l'est dans ses conséquences redoutées .

Le mot risque revêt différentes acceptions. Sans prétendre être exhaustif, nous pouvons relever les principales formulations suivantes :

- le risque désigne l'événement aléatoire, fait générateur du dommage, dont la survenance est envisagée [BLA 92]. L'événement considéré est qualifié en termes de probabilité d'occurrence et de nature. Cette acception rejoint les définitions proposées par W.D. ROWE, "le risque consiste dans la réalisation d'un événement redouté, aux conséquences négatives" [ROW 77], W.W. LAURENCE, "une mesure de la probabilité et de la gravité d'événements dommageables" [LAU 76] ;
- le risque désigne la cible (personne, bien, environnement, etc.) menacée par l'événement qui lui est attaché. Cette acception rejoint la définition proposée par J. CHARBONNIER, "un risque est un péril mesurable, visant les biens ou activités précis, aux conséquences économiques dommageables" [CHA 82] ;
- le risque désigne les dommages survenus à l'objet fait de l'événement.

3.3.3 Définition

Nombreuses sont les propositions de définition du risque. Selon M. POUMADERE²⁰, la définition la plus répandue avance que "les risques constituent une menace pour les êtres humains et ce à quoi ils sont attachés" [POU 95]. Associé à la notion d'événement, le risque se définit comme une entité à deux dimensions : "probabilité d'une part et conséquence(s) d'autre part" [LER et al. 92], "mesure d'un danger associant une mesure de l'occurrence d'un événement indésirable et une mesure de ses effets ou conséquences [VIL 88], "le risque est la mesure du danger. En combinant par multiplication les deux dimensions du danger : sa probabilité et sa gravité" [KER et al. 91]. D'un point de vue statistique, la notion de risque est liée au concept de variabilité ou de dispersion. Le risque est une mesure de l'écart d'un résultat donné par rapport au résultat souhaité. Cette approche est focalisée sur la probabilité d'occurrence appliquée à une variable déterminant un événement à partir d'un seuil. Par la suite, nous retiendrons la définition donnée par G.Y. KERVERN : "**le risque est une mesure du danger**".

3.3.4 Cindyniques

Dans le présent paragraphe, nous abordons les bases des éléments fondamentaux des Cindyniques. L'exercice de présentation de cette conceptualisation est difficile, aussi le lecteur n'hésitera pas à se reporter aux ouvrages cités en références, tant le courant Cindynique nous semble porteur de développements à venir.

3.3.4.1 Naissance

Les 7 et 8 décembre 1987, l'Association française des CADres DIRigeants pour le progrès social et économique, ou ACADI, à l'époque présidée par G.Y. KERVERN, organisa un colloque international qui regroupa 1475 personnes originaires de 13 pays et représentant 30 secteurs industriels, 320 sociétés et 90 universités ou centres de recherche [KER et al. 91]. Les conférences-débats qui y furent menés montrèrent un intérêt marqué pour "les sciences du danger". Au cours de ce colloque, l'engagement de donner un nom à cette discipline fut pris. A cet effet, un institut, aujourd'hui l'Institut Européen de Cindyniques ou IEC, fut créé en 1990. Ainsi, du grec Kindunos signifiant le danger est né le nom de la science du danger : les Cindyniques.

3.3.4.2 Concepts

Les Cindyniques reposent sur les concepts de situation et de potentiel cindynique [KER 99].

²⁰ Marc Poumadère est professeur à l'E.N.S. de Cachan depuis 1994. Ses recherches dans le cadre du Groupe de Recherche sur le Risque, l'Information, la Décision ou GRID, portent sur les aspects organisationnels et démocratiques de la gestion des risques pour la santé et l'environnement.

a. Situation cindynique

Le concept de situation cindynique se réfère aux notions de champ d'étude (limites de temps, limites d'espace et réseaux d'acteurs) et de "regard". Le regard porté sur le danger (ou perception du danger) repose sur le principe de relativité de l'axiomatique cindynique : "la perception du danger est relative à la situation et à l'acteur qui la perçoit" [KER1 99]. La perception du danger est vue à travers les cinq dimensions de l'hyperespace du danger, qui sont : [KER et al. 91], [WYB 98], [KER1 99] :

- dimension épistémique : représentations et modèles élaborés à partir de l'axe mnésique ;
- dimension mnésique : données (faits, statistiques, etc.) issues de la mémoire et du retour d'expérience ;
- dimension téléologique : objectifs et finalités explicités par les réseaux d'acteurs ;
- dimension déontologique : normes, lois, règles, etc. régulant les réseaux d'acteurs ;
- dimension axiologique : valeurs dont le non respect entraîne l'évolution des réseaux d'acteurs et les conflits entre réseaux.

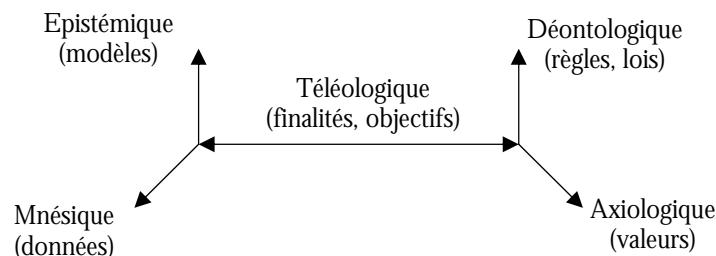


Figure II.2 : Les cinq domaines fondamentaux des cindyniques [WYB 98]

b. Potentiel cindynique

A chaque réseau d'acteurs est associée une image de l'hyperespace du danger. Le danger d'une situation cindynique est le résultat de dissonances (désaccord, contradiction, opposition) entre les réseaux d'acteurs de la situation considérée sur les cinq dimensions de l'hyperespace du danger. Le potentiel cindynique est alors une fonction croissante des dissonances [KER1 99]. La probabilité d'engendrer un dysfonctionnement entre réseaux d'acteurs est fonction des dissonances. Ainsi peut-on associer notion de seuil et notion de potentiel cindynique, puisque ce dernier peut être discretisé en fonction de son intensité. La séquence de franchissement suivante illustre la transition d'une situation normale vers une situation de crise : *{situation normale, première dénonciation minoritaire, signe avant-coureur, événements précurseurs, quasi incidents, incidents, phase de crise imminente, crise aiguë}* [KER1 99].

c. Déficit Systémique Cindynogène

L'analyse des situations cindyniques permet d'identifier des déficits sur chacune des dimensions de l'hyperespace du danger (écarts entre ce qui est – potentiel cindynique fort – et ce qui devrait être – potentiel cindynique faible –). L'analyse systémique des situations de danger a permis d'identifier un ensemble de Déficit Systémiques Cindynogènes ou DSC. Ces derniers constituent "la conceptualisation et la généralisation des listes de facteurs déclenchants ou aggravants de catastrophes" [KER2 99] et caractérisent ainsi l'existence de facteurs communs à chaque grande catastrophe. Regroupés à travers

la grille de lecture des megacindyniques²¹, ils ont été employés à l'analyse a posteriori des principales grandes catastrophes technologiques telles que Tchernobyl, Three Mile Island, etc. Les DSC sont au nombre de dix et sont regroupés en trois catégories [KER et al. 91] :

- déficits culturels : infaillibilité, simplisme, non-communication, nombrilisme ;
- déficits organisationnels : subordination des fonctions de gestion des risques aux fonctions de production, dilution des responsabilités ;
- déficits managériaux : absence de retour d'expérience, absence d'une méthode cindynique dans l'organisation, absence d'un programme de formation aux cindyniques, absence d'une planification de crise.

3.4 Risques de l'entreprise

Les risques de l'entreprise²² sont de deux natures : financiers d'une part, et juridiques d'autre part. Le risque financier est celui qui paraît le plus évident, dans la mesure où tout dommage s'accompagne en principe d'une perte et d'une réparation (pour certains, les entreprises ne connaissent qu'un risque, celui de perdre de l'argent [DAV et al. 97]). Le risque juridique est celui de se voir condamné à des peines d'emprisonnement ou des interdictions d'exploiter par exemple. Les risques de l'entreprise définis par la suite sont différenciés par nature, origine, conséquence, assurabilité et domaine d'activité.

3.4.1 Risques différenciés par nature

Nous l'avons vu, le risque est classiquement défini comme la mesure d'occurrence de tout type d'événement dont la survenance peut entraîner des dommages. Il faut attendre la fin des années 1970 pour que le risque ne soit plus considéré comme synonyme de pertes, mais comme moteur pour l'innovation et la création de valeurs nouvelles, tel que le souligne D. GOURC²³ [GOU 99]. Dans ce sens, M. HALLER présente un découpage structurel du risque basé sur l'espérance de gain dissociant les classes de "Pure Risk" et "Speculative Risk" [HAL 78]. En 1981, dans leur ouvrage "Gestion des Assurances de l'entreprise", M. SALVADOR et P. GONDE donnent une définition plus complète des risques purs et spéculatifs, en tentant de les caractériser [SAL et al. 81]. En 1993, une étude menée par la société SAGERI²⁴ auprès d'une quarantaine de sociétés françaises et européennes montre que la distinction entre risques purs et risques spéculatifs apparaît dans certaines entreprises [BEN et al. 94] : "il existe deux catégories de risques, même s'il est difficile de les partager. D'une part, les risques spéculatifs [...] , d'autre part, les risques accidentels et aléatoires". Concrètement, nous distinguerons des risques en général ceux liés à la fonction même de l'entreprise.

3.4.1.1 Caractéristiques des risques spéculatifs

Un risque est spéculatif lorsqu'il présente une chance de gain et une chance de perte.

Le risque spéculatif, ou risque d'entreprendre, est défini comme le fruit d'une décision de gestion qui est prise dans le but d'accroître des profits, mais qui comporte des risques de pertes [LAM 91]. Malgré

²¹ Les megacindyniques font référence aux risques majeurs, par opposition aux microcindyniques ou risques diffus. Risques majeurs et risques diffus seront détaillés par la suite.

²² En 1993, les chefs d'entreprise perçoivent le risque comme : "l'événement aléatoire susceptible d'avoir un impact financier sur le résultat de l'entreprise ; tout ce qui peut affecter le patrimoine ou le personnel de la société et qui ne fait pas partie des événements normaux ; un phénomène préjudiciable susceptible d'intervenir ; [...] l'ensemble des aléas qui peuvent survenir dans la vie économique d'une entreprise" [DAV et al. 97].

²³ Didier GOURC est enseignant-chercheur au Centre de recherche en Génie Industriel, à l'École des Mines d'Albi. Ses recherches portent sur le management de l'incertitude dans les projets de R&D.

²⁴ SAGERI est une société de conseil spécialisée dans la gestion des risques.

leur grande diversité, les risques spéculatifs possèdent un ensemble de caractéristiques communes [SAL et al. 81] :

- le risque spéculatif est accepté, il résulte d'un choix raisonné de l'entreprise ;
- le risque spéculatif est délimité dans le sens où les engagements pris par l'entreprise sont maîtrisés ;
- le risque spéculatif est contrôlé. Il est généralement précédé de signes précurseurs et peut être contrôlé à l'aide de leviers d'action, quelque soit son degré de réalisation.

C. MARMUSE²⁵, dans "Politique Générale" en donne la définition suivante : "Le risque spéculatif est [...] directement lié à des choix (stratégiques) faits par les décideurs de l'entreprise. Il est l'essence même de la stratégie" [MAR 92]. De par cette définition, **le risque spéculatif apparaît comme la résultante de deux composantes : d'une part, le risque stratégique lié à l'élaboration de la stratégie et d'autre part, le risque opérationnel lié à la mise en œuvre de la stratégie et au niveau de maîtrise du potentiel de l'entreprise.**

3.4.1.2 Caractéristiques des risques purs

Le risque pur est indépendant de la volonté du décideur. Il résulte de la manifestation d'événements non souhaités naturels ou fortuits. Le risque pur se situe à l'opposé du risque spéculatif [SAL et al. 81], [LAM 91] et ne présente qu'une chance de perte. Ses caractéristiques sont :

- la survenance du risque pur engendre des pertes pour l'entreprise, tandis que sa non réalisation ne constitue pas un gain ;
- le risque pur n'est pas délimité. Le coût des dommages qu'il fait supporter n'est pas décidable ;
- le risque pur n'est pas contrôlable du fait de son caractère aléatoire.

3.4.1.3 Interdépendance entre risque spéculatif et risque pur

Le management de l'entreprise conditionne la gestion des risques de l'entreprise. En 1989, C. MARMUSE souligne que "l'économie classique a souvent opposé ces deux types de risques en les dissociant. Seul le risque spéculatif intéresse véritablement le "management", le risque pur étant considéré comme ne relevant que du hasard ou de l'infortune" [MAR et al. 89]. Aujourd'hui, la réalité est autre, la vulnérabilité des entreprises conduit le "management" vers une gestion intégrée de ces deux risques.

3.4.2 Risques différenciés par origine

La vision traditionnelle de l'entreprise tendant à la définir comme un ensemble productif refermé sur lui-même est aujourd'hui dépassée. Jusqu'au milieu du XIX^{ème} siècle, le risque majeur considéré est "le risque dit de dommages et de pertes d'exploitation consécutives" [DAV et al. 97]. Aujourd'hui, l'entreprise évolue dans un environnement vaste, complexe et mouvant, source de multiples facteurs aggravants pour les risques de l'entreprise. Le développement des pôles industriels et la prise de conscience de la non existence du "risque nul" ont contraint le gestionnaire de risques à ne plus faire abstraction des interactions existant entre l'entreprise, la population et l'environnement.

L'origine des risques peut être interne à l'entreprise (technologie, facteur humain, etc.) ou externe lorsqu'ils sont le fait d'acteurs qui ont un lien de travail ou de proximité avec l'entreprise. Aussi, l'environnement de l'entreprise peut être une source de risques. Identifier les risques, c'est souvent déceler les sources de danger qui proviennent de l'extérieur. L'environnement de l'entreprise peut être décomposé en un ensemble d'entités élémentaires. Le modèle d'environnement d'entreprise présenté

²⁵ Christian MARMUSE est professeur à l'Ecole Supérieure des Affaires (Université de Lille II) et conseiller scientifique du département "Politique Générale et Stratégie" du groupe EDHEC.

par L. DAVID et L. BARNAUD [DAV et al. 97] (voir § I.2.3.2 et figure I.2) est composé de trois sphères : la sphère économique (clients, fournisseurs, concurrents, réseaux de distribution, etc.), la sphère financière (marchés monétaires, marchés à terme, opérations spéculaires d'achat d'entreprise, etc.) et la sphère sociétale composée des acteurs institutionnels et des groupes de pressions (législateurs, juges, environnement, société, valeurs, etc.). A chaque sphère est associée une liste de risques qui lui est propre :

- la sphère économique comprend les aléas du marché (évolution des besoins, etc), l'ouverture des marchés, la concurrence, l'espionnage industriel et le pouvoir de la distribution sur la production ;
- la sphère financière comprend principalement la variation des marchés monétaires ;
- la sphère de la clientèle regroupe le risque commercial lié au caractère volatile de la demande²⁶, le risque des dommages causés aux tiers (protection des consommateurs) et le risque crédit ou de non solvabilité de la clientèle ;
- la sphère sociétale comprend les risques liés : aux décisions législatives ou réglementaires (norme, directive, variation de taux de TVA, etc.), au pouvoir des juges (se reporter au système judiciaire américain), à la défense de l'environnement (association, directive SEVESO²⁷, etc.), à la société (image de l'entreprise, pouvoir des médias, etc.).

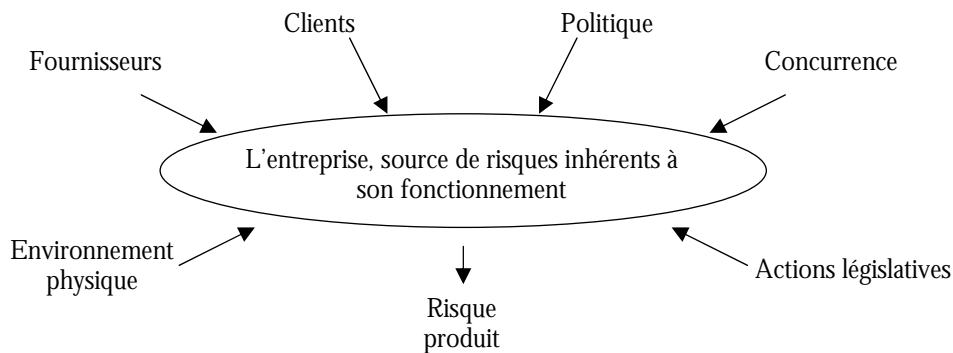


Figure II.3 : Risques et origine [MAR et al. 89]

3.4.3 Risques différenciés par leurs conséquences

La réalisation du risque est une source de dommages pour l'entreprise. Qu'il s'agisse du risque spéculatif ou du risque pur, il peut se traduire par des conséquences multiples. Nous identifions trois types de conséquences : conséquences financières ; conséquences juridiques et conséquences sociales²⁸.

²⁶ Le caractère volatile de la demande est illustré par l'épisode malheureux vécu par Perrier aux Etats-Unis. Suite à un incident de production survenu en 1991 et ayant entraîné la présence de traces infimes de benzène dans les bouteilles, la firme perdit une part importante du marché des eaux gazeuses. Trois ans après, les parts de marché de Perrier ont chuté de 30% à 10%.

²⁷ L'émotion suscitée par le rejet accidentel de dioxine en 1976 sur la commune de Seveso en Italie a incité les états européens à se doter d'une politique commune en matière de prévention des risques industriels. Le 24 juin 1982 la directive dite "SEVESO" demande aux états et aux entreprises d'identifier les risques associés à certaines activités industrielles dangereuses et de prendre les mesures nécessaires pour y faire face.

²⁸ Les conséquences liées à la survenance d'un risque sont différentes selon le point de vue choisi. Ainsi, nous aurions pu dresser une typologie des risques basée sur les conséquences propres au risque telle que C. MARMUSE la propose, en dissociant les risques affectant les personnes, les biens de l'entreprise ou la sécurité financière de l'entreprise [MAR et al. 89].

3.4.3.1 Conséquences financières

Les risques ont tous d'éventuelles conséquences financières. Il peut s'agir de pertes directes (pure perte d'argent par spéculation par exemple) ou de pertes beaucoup plus indirectes (remise en état d'une installation, retrait d'un produit, indemnisation de tiers, etc.). Le risque affectant les biens de l'entreprise se traduit de manière indirecte par des pertes financières (cessation d'activité). La réalisation du risque pur (risque humain, risque technologique, risques naturels, etc.) est le principal fait générateur de ce type de dommages, qu'il provienne de l'entreprise elle-même ou de son environnement. Les nouveaux risques peuvent se traduire par de lourdes pertes de chiffres d'affaires liées à une dégradation de l'image de marque²⁹. Dans certains cas, l'accumulation de pertes peut remettre en cause la pérennité de l'entreprise. Le risque touche alors la sécurité financière de l'entreprise [MAR et al. 89].

3.4.3.2 Conséquences juridiques

L'entreprise peut être à l'origine de préjudice et donc être exposée à des poursuites judiciaires. Selon la nature des faits, on distingue les affaires civiles (litiges entre particulier) des affaires pénales³⁰ (infraction à la réglementation). Le responsable désigné peut être le chef d'entreprise, les autres responsables de l'entreprise, ou l'entreprise elle-même. La question de la désignation du responsable revêt tout son sens lorsqu'il s'agit d'installations en concession, comme des ouvrages de distribution de gaz à usage collectif. Dans ce cas, par décision du Conseil d'Etat du 10 juin 1992, le concessionnaire de l'ouvrage public est responsable des dommages liés à l'existence ou au fonctionnement de l'ouvrage.

Les régimes de responsabilité divergent selon la nature des affaires. Dans le cas d'affaire pénale sans dommages à autrui, la responsabilité pénale peut conduire à une condamnation seule (amende, emprisonnement, etc.). Dans le cas dommages à autrui, il peut y avoir responsabilité pénale et responsabilité civile (indemnisation des préjudices et donc pertes financières [MAR et al. 89]).

3.4.3.3 Conséquences sociales

La réalisation d'un risque est susceptible d'avoir des conséquences sur les employés de l'entreprise. C'est le cas des risques affectant les personnes (dommages corporels, accidents affectant les employés, perte de ressource humaine clé, chômage par suite d'un arrêt d'exploitation, etc.) [MAR et al. 89], mais également des risques sociaux liés aux ressources humaines de l'entreprise (mouvement social, actes de malveillance, etc.). De même, les tiers victimes de dommages causés par l'entreprise peuvent engager la responsabilité de l'entreprise (conséquences juridiques) ou percevoir celle-ci comme une source de nuisances et transmettre cette image négative au public par les médias (nouveaux risques).

3.4.4 Risques différenciés par leur niveau d'assurabilité

Malgré toutes les mesures et précautions visant à diminuer les risques, il est nécessaire d'envisager les conséquences des risques résiduels et les modalités visant à les réduire. A cette fin, la couverture financière de l'entreprise, par le recours à l'assurance³¹ apparaît comme fondamentale. L'assurance raisonne à partir de la notion d'assurabilité d'un risque et définit cette notion de la manière suivante : "l'assurabilité du risque [...] s'articule autour de quatre idées : le risque assurable est un risque pur, mutualisable, statistiquement prévisible, et sans hasard moral" [DAV et al. 97]. Un risque n'est pas assura-

²⁹ En juin 1999, suite à une intoxication alimentaire en Europe, Coca-Cola, numéro un mondial des boissons sans alcool, a dû retirer des millions de canettes de la vente en Belgique, au Luxembourg et en France. Le coût de cette affaire est estimé à un montant total de 300 à 430 millions de francs. L'entreprise a consenti un effort marketing important pour essayer de retrouver la confiance des consommateurs. Dans plusieurs pays d'Europe, dont la France, des films publicitaires ont été réalisés dans le but de remercier les consommateurs de leur fidélité.

³⁰ Par exemple, une pollution de rivière entraînant la mort de poissons constitue une infraction au Code Rural, et sera donc jugée en tant que telle.

³¹ Les notions d'auto-assurance, de rétention et de transfert sont abordées dans § III.2.3.4.

ble s'il n'y a pas d'aléa³². En effet, il est inconcevable d'assurer un risque qui fatalement se réalisera. Le fondement du métier d'assureur est de mutualiser les risques et de payer les sinistres avec les primes versées par tous, sachant qu'une proportion réduite des assurés aura un sinistre. L'estimation du coût pour l'assureur et de la prime de l'assuré repose sur les statistiques issues de la "sinistralité" existante³³.

3.4.5 Risques différenciés par domaine d'activité

La nature des risques est différente selon le domaine d'activité de l'entreprise. Le risque peut donc être différencié selon qu'il concerne les produits de l'entreprise, les projets de l'entreprise ou l'entreprise elle-même en tant qu'entité physique.

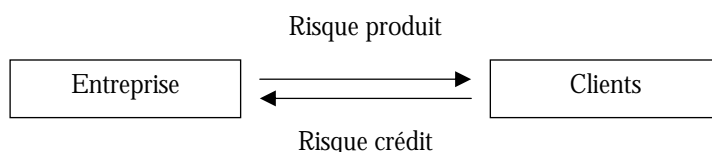


Figure II.4 : Risque "Produit" commercialisé

3.4.5.1 Risque "Produit"

Les risques liés aux produits utilisés ou commercialisés par l'entreprise peuvent être l'échec commercial (mauvaise qualité, quantité insuffisante, etc.), la non conformité d'un produit ou encore sa dangerosité. Considérant uniquement les produits utilisés dans l'entreprise, "les risques produits sont d'abord ceux qui relèvent de la sûreté de fonctionnement du produit : ils touchent les utilisateurs du produit et son environnement" [VOL et al. 96].

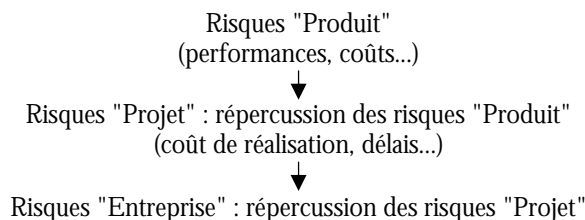


Figure II.5 : Risque produit utilisé

3.4.5.2 Risque "Projet"

L'AFITEP³⁴ et AFNOR définissent le risque projet comme étant "la possibilité que se produise un événement, généralement défavorable, ayant des conséquences sur le coût ou le délai d'une opération et qui se traduit mathématiquement par un degré de dispersion des valeurs possibles autour de la valeur probable quantifiant l'événement et une probabilité pour que la valeur finale reste dans les limites de

³² Aléa : événement imprévisible, tour imprévisible que peuvent prendre les événements (Le Robert).

³³ L'assurance des installations nucléaires est une exception puisqu'elle ne se base pas sur des statistiques.

³⁴ L'AFITEP ou Association Française des Ingénieurs et Techniciens en Estimation et Planification, est une association loi 1901. Elle a été créée en 1982 à l'initiative de spécialistes de gestion qui participaient à l'organisation et au suivi de projets dans l'entreprise (voir <http://www.afitep.fr/>).

l'acceptable". Cette approche probabiliste, fondée sur la mesure de probabilité d'un événement unique a été complétée par V. GIARD, [GIA 91]. Le risque projet est "la possibilité qu'un projet ne s'exécute pas conformément aux prévisions de date d'achèvement, de coût et de spécifications, ces écarts par rapport aux prévisions étant considérés comme difficilement acceptables voire inacceptables". Le risque est ainsi étendu à la prise en compte d'un ensemble d'événements, dont l'enchaînement peut conduire à l'événement redouté. Les événements "causes" peuvent être qualifiés d'aléas, d'imprévus ou d'incertitudes³⁵. Dans son ouvrage [COU 98], H. COURTOT précise que cette dernière définition présente la particularité d'introduire la notion "d'acceptabilité du risque" et de "niveau de risque".

Risque (de)	technologique	de surcoût	de retard	de réalisation	d'interface	de sous-traitance
conception	×	×				
réalisation		×	×	×	×	×

Tableau II.1 : Risques "Projet" hors risques financiers - source Gan Industrie Services

Le risque projet est composé d'un ensemble de risques de second niveau, susceptible de survenir à différentes étapes de la réalisation du projet. Pour une typologie détaillée de ces risques, le lecteur peut se rapporter à [COU 98]. H. COURTOT identifie un ensemble de caractéristiques des risques associés à un projet [COU 98]. Hormis les caractéristiques de probabilité d'occurrence et de gravité (sur lesquelles nous reviendrons en détail) figurent :

- leur nature : techniques, financiers, humains, organisationnels, managériaux, etc. ;
- leur origine : pays débouché, client, produit, fournisseur, pouvoirs publics, etc. ;
- leurs conséquences : insatisfaction des bénéficiaires, abandon du projet, etc. ;
- leur détectabilité : capacité à prévoir leur occurrence (signes précurseurs) ;
- leur contrôlabilité : différenciation entre risques choisis (proches des risques spéculatifs) et risques subis (proches des risques purs).

3.4.6 Autres risques de l'entreprise

Les risques de l'entreprise sont nombreux et variés. D'ores et déjà, les typologies énoncées précédemment apparaissent incomplètes. En particulier, les risques internes à l'entreprise (risques de management, risques organisationnels, risques politiques, risques stratégiques, risques informatiques, etc.), de par leur importance, mériteraient d'être plus longuement détaillés. Nous citerons en complément :

- le risque décisionnel défini comme le risque encouru lors de prise de décision par les acteurs de l'entreprise. Il se décompose en trois risques : le risque pré-décisionnel lié à la qualité des informations disponibles, le risque d'opportunité généré par les conséquences de la décision prise et le risque post-décisionnel ou risque de non satisfaction par rapport aux attendus initiaux³⁶ [BLA 92] ;

³⁵ Les concepts d'aléa, d'imprévu et d'incertitude font état d'une possibilité de survenue d'un événement susceptible de mettre en péril les objectifs (du projet) en termes de coût, de délai ou de performance [GOU 99].

³⁶ Ainsi défini, le risque post-décisionnel rejoint la définition du risque projet (voir § II.3.4.5.2).

- les risques environnementaux (pollution, dégradation de paysage, etc.) concernant tout ce qui entoure le site de l'entreprise (faune, flore, milieux et population) et consistant en une atteinte à l'environnement³⁷.

Enfin, les risques liés à l'activité de l'entreprise n'ont que partiellement été abordés (risques environnementaux, risques technologiques, etc.). Ils seront largement détaillés dans le paragraphe traitant des risques majeurs.

3.4.7 Synthèse des caractéristiques du risque de l'entreprise

Au regard des paragraphes précédents, les risques de l'entreprise peuvent être caractérisés par leur nature (purs ou spéculatifs), leur source ou origine (internes ou externes), leurs effets sur les systèmes cibles (personnes, biens ou environnement), leurs conséquences (financières, juridiques ou sociales) et leur niveau d'assurabilité (non assurables, tout ou partie assurables). Ainsi, qu'il s'agisse de risques environnementaux, de risques industriels, de risques commerciaux, de risques stratégiques, de risques sociaux ou de risques financiers, chaque type de risque peut être caractérisé par ces paramètres.

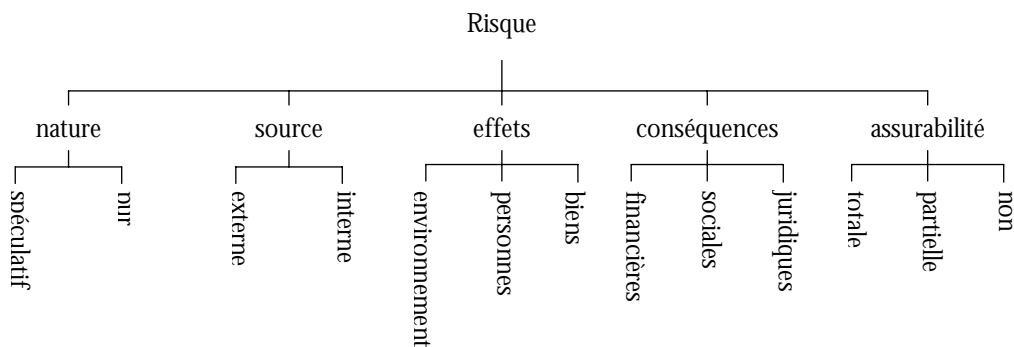


Figure II.6 : Caractère multidimensionnel des risques de l'entreprise

3.5 Risques majeurs

Les différents types de risques auxquels nous pouvons être exposés de manière individuelle ou collective sont regroupés en grandes familles, nous en dénombrerons 3 principales : les risques naturels, les risques technologiques (incluant les risques de transport et les risques sanitaires) et les risques diffus ou risques de la vie quotidienne. Le risque majeur ou risque collectif se caractérise par une faible fréquence et une forte gravité (nous revenons sur les notions de fréquence d'occurrence et de gravité dans § III.2.3.3). Ainsi, seuls les risques naturels et les risques technologiques en font partie (les risques liés aux conflits armés, que nous n'abordons pas, sont également caractérisés de la sorte et peuvent donc être assimilés aux risques majeurs).

3.5.1 Définition

La Direction de la Prévention des Pollutions et des Risques ou DPPR du Ministère de l'aménagement du territoire et de l'environnement définit le risque majeur comme la confrontation d'un aléa (probabilité d'un événement qui peut affecter le système considéré) avec des enjeux (personnes,

³⁷ Selon le Livre Vert de la Commission Européenne, une atteinte à l'environnement se définit comme toute détérioration importante, physique, chimique ou biologique de l'environnement. Au sens de l'OCDE (Organisation de Coopération et de Développement Economiques), la dégradation de paysage suite à l'implantation d'une usine peut être considérée comme une atteinte à l'environnement.

biens, équipements, environnement menacés par l'aléa et susceptibles de subir des préjudices ou des dommages) [MIN 90]. En effet, un événement ne mène à un état potentiellement dangereux que s'il s'applique à une zone où des enjeux humains, économiques ou environnementaux sont en présence. Un aléa sismique en plein désert n'est pas un risque. Un séisme touchant une zone de forte densité urbaine est un risque majeur³⁸. D'ailleurs, le risque sismique est défini comme l'espérance mathématique³⁹ des pertes subies, directement proportionnelle au nombre de vies humaines et à la valeur des biens exposés [GOD et al. 85]. Citons également Haroun TAZIEFF : "La définition que je donne du risque majeur, c'est la menace sur l'homme et son environnement direct, sur ses installations, la menace dont la gravité est telle que la société se trouve absolument dépassée par l'immensité du désastre".

3.5.2 Risques environnementaux

Parmi les risques de l'entreprise, nous avons évoqué l'existence de risques environnementaux définis comme le risque d'atteinte à l'environnement. Risques majeurs et risques environnementaux sont étroitement liés. En effet, le risque majeur peut conduire à une dégradation de l'environnement (inondation, risque nucléaire, etc.). Inversement, les modifications anthropiques (occasionnées par l'homme) de l'environnement peuvent constituer des facteurs aggravants.

3.5.3 Risques naturels

La famille des risques naturels se compose du risque avalanche, du risque cyclonique⁴⁰, du risque feu de forêt, du risque inondation, du risque mouvement de terrain (ou géologique), du risque sismique et du risque volcanique. Une personne cherchant des informations simples et complètes sur ces phénomènes pourra se reporter aux publications du Ministère de l'aménagement du territoire et de l'environnement, en particulier [MIN 90].

3.6 Risque technologique

La famille des risques technologiques compte un grand nombre de risques de natures différentes. Nous détaillerons les principaux que sont les risques industriels, les risques de transport de matières dangereuses, les risques sanitaires et le risque nucléaire.

3.6.1 Eléments historiques

La technologie apporte progrès et confort, pourtant son histoire est jalonnée d'accidents ayant frappé l'homme. La révolution industrielle du XIX^e siècle est à l'origine du débat sur le tribut à payer au modernisme. L'homme accepte de plus en plus difficilement que le danger ne soit pas maîtrisé. La responsabilisation succède alors au fatalisme, ainsi les premières études comparatives destinées à étudier le comportement de systèmes identiques furent réalisées à la fin de la Première Guerre Mondiale dans le

³⁸ Le séisme majeur de Kobe (Japon) en 1995, marquait 7,2 sur l'échelle de Richter. Il a fait près de 5 400 morts, détruit complètement ou partiellement 75 000 bâtiments, provoqué l'effondrement de douzaines d'autoroutes, de voies ferrées et de ponts, et ravagé 100 milles d'installations portuaires. Les dommages sont évalués à plus de 100 milliards de dollars.

³⁹ Le risque est parfois considéré comme le calcul de l'espérance mathématique de la variable aléatoire résultant du produit de la probabilité d'occurrence avec la sévérité des conséquences (voir § III.2.3.3).

⁴⁰ Le risque naturel de tempête s'est récemment manifesté en France. Les 26 et 27 décembre 1999, deux tempêtes ravagent le paysage français. Soixante départements sont déclarés en état de catastrophe naturelle. Le bilan de deux jours d'intempéries est lourd : plus de 70 morts, jusqu'à 15 000 points d'interruption de trafic ferroviaire, plusieurs centaines de milliers d'abonnés privés de téléphone (fixe et mobile), plus de 30 millions de mètres-cubes de bois détruits. Pour l'ensemble de l'Europe, la Scor, premier réassureur français, évalue le sinistre à 5 milliards d'euros. M. TIBERI, maire de la ville de Paris, estime à près de 450 millions de francs les dommages subis par les parcs, jardins, bois, établissements scolaires ou sportifs de la ville.

domaine de l'aéronautique⁴¹ [LER et al. 92]. Destiné à comparer des événements passés, le "taux de défaillance" fut dès les années 1930 employé pour le calcul prévisionnel d'événements à venir. Dès lors naquit la théorie de la fiabilité, élément constitutif d'une discipline nouvelle : la "sûreté de fonctionnement".

3.6.1.1 Sûreté de fonctionnement

La sûreté de fonctionnement regroupe un ensemble de techniques mises en œuvre pour "identifier, analyser, gérer et éventuellement réduire les risques" [LER et al. 92] liés aux systèmes industriels : fiabilité, maintenabilité, disponibilité, sécurité, confidentialité, intégrité. Dans son ouvrage A. VILLEMEUR en détaille les principaux faits marquants [VIL 88].

Les origines de la sûreté de fonctionnement remontent au début de l'ère industrielle. Les exigences de fiabilité des équipements concernaient d'abord les systèmes mécaniques et les systèmes source de puissance électrique. Les premières collectes d'information sur les pannes et les accidents furent menées dans le domaine de l'aéronautique dans les années 1930. Les premiers modèles fiabilistes apparaissent en Allemagne lors de la Deuxième Guerre Mondiale, où se développaient les projets de missiles V1, dont la première série fut peu fiable⁴². Dans les années 1940, les cours, les livres et les communications sur les problèmes de fiabilité et les techniques statistiques associées se multiplient.

La fiabilité, discipline de l'ingénieur, naquit dans les années 1950 où la complexité croissante des systèmes électroniques conduisit à la prise de conscience de la nécessaire qualification des interventions de maintenance, seules à même d'améliorer le taux de disponibilité des matériels et de réduire les coûts d'exploitation⁴³. L'idée d'intégrer la fiabilité au processus de développement de manière à concevoir des équipements plus fiables fut initialement préconisée par l'Advisory Group on Reliability of Electronic Equipment ou AGREE. Cette dernière recommanda également le calcul de métriques tels que : Mean Time To Failure ou MTTF (temps moyen de fonctionnement), Mean Time To Repair ou MTTR (temps moyen pour réparer), ou Mean Time Between Failures ou MTBF (temps moyen entre deux défaillances).

Dans les années 1960, le domaine d'application des techniques de fiabilité fut élargi. C'est le début de l'analyse des défaillances et de leurs effets sur le fonctionnement des systèmes, ou sur la sécurité des personnes ou des biens. Le concept et la méthode de construction des Arbres des Causes sont développés dès 1961 par les laboratoires "Bell Telephone" et employés à grande échelle par la société Boeing. Toujours dans le domaine de l'Aéronautique, la méthode de l'Analyse des Modes de Défaillance et de leurs Effets, ou AMDE, fut créée au début des années 1960 et devint réglementaire à la fin de la décennie aux Etats-Unis. Cette période voit la naissance de la revue "IEEE Transactions on Reliability" créée par l'Institute of Electrical and Electronic Engineers ou IEEE.

L'industrie nucléaire contribua au développement des méthodes d'analyse de risques. La première étude complète du risque lié à une installation industrielle fut relative à deux centrales nucléaires. Elle fut menée par une cinquantaine d'ingénieurs placés sous la responsabilité du professeur Rasmussen et fut publiée en 1975 [REA 75]. Plus qu'une évaluation des risques, cette étude permit une hiérarchisation des problèmes de sûreté. Parallèlement, dès le début des années 1970, de nouvelles techniques de

⁴¹ Les spécialistes de l'aéronautique calculèrent un "taux de défaillance" : rapport de nombre de pannes sur le nombre d'heures de vol, après avoir constaté que les avions bimoteurs et quadrimoteurs étaient moins sujets aux pannes que les monomoteurs.

⁴² Les premiers missiles V1 explosèrent sur la rampe de lancement ou tombèrent dans la manche. L'usage fut fait de l'axiome de Pierce énoncé en 1926 : "la résistance d'une chaîne est celle de son maillon le plus faible". La formulation mathématique de cet axiome permit d'accroître le taux de lancements réussis.

⁴³ Les études du « Department of Defense » des Etats-Unis d'Amérique montrèrent l'importance du travail de maintenance sur les équipements électroniques : il fallait ainsi dépenser chaque année 2 dollars pour maintenir en état de fonctionner l'équivalent d'un dollar d'équipement électronique [HEN et al. 81].

fiabilité émergent dans les usines de fabrication de produits de grande consommation afin d'améliorer la qualité. C'est le début de l'existence des cercles qualité.

3.6.1.2 Sûreté de fonctionnement logiciel

Depuis le début des années 1980, l'usage des techniques de la sûreté de fonctionnement s'est généralisé dans le domaine industriel, ainsi que dans le domaine du logiciel. La fiabilité logicielle fut considérée dès les premiers développements de l'informatique. Aujourd'hui, les systèmes informatiques interviennent dans la plupart des applications et des équipements, rendant crucial le problème de leur fiabilité. Le domaine de la conception logicielle a développé de nombreuses techniques pour obtenir rapidement des logiciels aussi fiables que possible. Ainsi, des procédures d'analyse, de conception et de développement portant sur les langages et les méthodes de programmation ont été progressivement définies [VIL 88].

Dans les années 1990, la complexité croissante des logiciels ainsi que "l'évolution des procédés de développement vers un accroissement de productivité et de réactivité des entreprises" sont à l'origine d'une nouvelle technique de conception logicielle : l'animation de spécifications formelles [FUM 97]. L'animation de spécifications formelles permet l'observation du comportement d'un futur logiciel à travers la simulation de son exécution. Ainsi, l'animation conduit à la validation d'un ensemble de spécifications par la mise en évidence de propriétés inexactes ou contradictoires issues de la traduction des besoins [FUM 97]. D'un coût très inférieur aux techniques de simulation réelle, elle est utilisée pour affirmer la sécurité de logiciels critiques.

3.6.2 Quelques grandes catastrophes technologiques

"Les catastrophes ne sont pas des accidents", citation du docteur Zebrowski⁴⁴ reportée dans [KER et al. 91]. Les megacindyniques ont permis, de par leur analyse, la mise en évidence de Déficits Systémiques Cindynogènes ou DSC (voir § II.3.3.4), facteurs communs ayant engendré les grandes catastrophes. L'analyse et la reconstitution a posteriori du scénario d'accident met en évidence ce que J.L. NICOLET⁴⁵ identifie comme la naissance et le développement d'une séquence accidentelle au sein d'un système technologique complexe [WYB 98].

- Bhopal, 3 décembre 1984 : 40 tonnes de méthyle isocyanate (MIC) de l'usine chimique de la firme multinationale Union Carbide formèrent un nuage au dessus de Bhopal (Inde). L'isocyanate de méthyle est un produit inflammable, volatil, toxique et explosif si sa concentration dans l'atmosphère dépasse 6%. Les chiffres officiels annoncent à ce jour 6 495 morts. Selon P. RUBISE et Y. GAUTIER [RUB et al. 95], quatre lacunes furent conjointement présentes pour engendrer une catastrophe : (1) les incidents et accidents précurseurs n'avaient pas été pris en compte, (2) le personnel indien ne pouvait pas lire ni comprendre les consignes de sécurité en anglais, (3) le personnel de sécurité était absent des phases d'entretien des réservoirs et n'était pas préparé à la gestion de crise, (4) aucune entité responsable n'était identifiée entre les autorités indiennes et les responsables de l'usine ;
- Challenger, 28 janvier 1986 : 73 secondes après son lancement, la navette spatiale américaine Challenger explose, entraînant la mort des 7 personnes à bord. La commission Rogers, constituée pour enquête par le président des Etats-Unis Ronald Reagan, conclut que l'accident est dû à une fuite de gaz, causée par la défaillance d'un joint dans la "Solid Rocket Motor". Des incidents précurseurs existaient et avaient mis en évidence l'aspect critique des joints. La non prise en compte et la non exploitation de ces constats démontrent les rôles essentiels joués par le Retour d'Expérience, ou REX, et la communication en matière de sécurité [KER et al. 91] ;

⁴⁴ Le docteur Zebrowski est membre de l'Académie Nationale d'Ingénierie américaine et responsable du Nuclear Safety Analysis Center, Palo Alto, Californie.

- Tchernobyl, 26 avril 1986 : à 01 h 23 minutes et 44 secondes, heure locale, le réacteur n° 4 de la centrale Lénine située à proximité de Tchernobyl (Ukraine) explose et provoque le rejet de plusieurs tonnes de combustible dans l'atmosphère. Cet accident causera l'irradiation de deux cents personnes, la mort immédiate de 31 personnes, l'évacuation de 135 000 personnes dans un rayon de 30 kilomètres, la contamination de plusieurs millions d'hectares de terres agricoles et la mise sous contrôle médical d'un million de personnes. Les réacteurs de type Reactor Bolchoie Molchnastie Kipiachie ou RBMK peuvent se révéler instables à faible puissance, il est donc formellement interdit de passer au dessous des 700 MW. Or cette consigne fut violée au cours d'essai de baisse de puissance. En quelques secondes, la réaction s'emballa et passa à 300 000 MW thermiques. L'énergie dégagée a vaporisé le combustible qui a vaporisé l'eau, provoquant une colossale surpression de vapeur dépassant rapidement les résistances mécaniques des matériaux, d'où l'effet d'explosion.

3.6.3 Risque industriel

Né de l'ère industrielle [KER et al. 91], le risque industriel peut se définir comme tout événement accidentel se produisant sur un site industriel et entraînant des conséquences immédiates graves pour les populations, les biens ou l'environnement [MIN 90]. Le risque industriel concerne les systèmes industriels dont les activités ou les procédés de fabrication nécessitent des quantités suffisantes de produits ou d'énergie pour qu'en cas de dysfonctionnement la libération intempestive de ces énergies ou produits ait des conséquences graves. Les principales manifestations de ce risque industriel sont :

- l'incendie (risque incendie) : inflammation d'un produit au contact d'un autre, d'une flamme ou d'un point chaud, avec risque de brûlures et d'asphyxie ;
- l'explosion (risque explosion) : réaction entre des produits débouchant sur une libération brutale de gaz avec augmentation de pression (souffle de l'explosion) et de température (radiation), et risque de traumatismes soit directs, soit par l'onde de choc ;
- la dispersion dans les milieux (air, eau, sols) de produits dangereux avec toxicité par inhalation, ingestion ou contact.

Le risque industriel peut donc se développer dans chaque établissement dangereux. Les établissements les plus dangereux sont répertoriés par l'Etat et soumis à réglementation. La loi de 1976 sur les Installations Classées pour la Protection de l'Environnement, ou ICPE, distingue trois types d'installations :

- les installations assez dangereuses, soumises à déclaration ;
- les installations plus dangereuses, soumises à autorisation ;
- les installations les plus dangereuses, dites "installations SEVESO" assujetties à une réglementation spécifique (loi n° 76-663 du 19 juillet 1976 relative aux installations classées pour la protection de l'environnement, loi n° 87-565 du 22 juillet 1987 relative à la prévention des risques majeurs et leurs décrets d'application et directive "SEVESO II" n°96/82 du conseil du 9 décembre 1996 - JOCE du 14 janvier 1997 -).

3.6.3.1 Directive "SEVESO II"

La directive "SEVESO II" n°96/82, extension de la directive "SEVESO" n°82/501CEE aux établissements (et non aux installations, comme dans le précédent texte), fixe les directives que doivent prendre les états membres de l'Union Européenne pour que :

- les établissements susceptibles de créer un risque technologique majeur (secteurs de la chimie, du pétrole, des gaz liquéfiés ; stockage de produits dangereux tels que agropharmaceutiques, phytosa-

⁴⁵ Jean Louis NICOLET est consultant en risques industriels et facteur humain.

nitaires, explosifs, poudres ; établissements susceptibles de générer des rayonnements ionisants, etc.) soient tenus de mettre en place les moyens de prévention appropriés ;

- les autorités publiques, la population et les travailleurs soient informés des risques ;
- les autorités publiques exercent un contrôle sur les activités industrielles dangereuses ;
- des échanges d'informations entre les états membres soient mis en œuvre.

3.6.3.2 Application de la directive "SEVESO" en France

La directive ne s'applique pas directement à l'intérieur des états membres. Elle n'y introduit ses effets qu'à travers une législation et une réglementation internes. La France a engagé très tôt une politique publique d'information des citoyens sur les risques technologiques (loi de 1987 relative au droit à l'information du public sur les risques majeurs) et ce, sans même attendre la traduction complète dans les textes français des exigences imposées à ce sujet par la directive [LAL 99]. En France, les établissements visés doivent en particulier : réaliser une ou plusieurs Etudes de Dangers, établir un Plan d'Opération Interne ou POI, faire l'objet d'un Plan Particulier d'Intervention ou PPI, assurer l'information préventive des populations exposées au risque, faire l'objet de mesure de limitation de l'urbanisation dans les zones concernées par les risques [DAN 97].

3.6.4 Risque nucléaire

Le risque nucléaire concerne le risque d'accident d'une centrale nucléaire (la fusion du cœur du réacteur étant l'accident majeur), mais également les pollutions ou contaminations liées au fonctionnement des centrales nucléaires. En France, la responsabilité de la définition et de la mise en œuvre de la politique des pouvoirs publics en matière de sûreté nucléaire est confiée à l'Autorité de sûreté nucléaire.

L'irradiation naturelle moyenne en France par an varie de 1 à 6 mSv (1,5 en région parisienne, 6 en Bretagne) selon [MIN 90], [VRO 99]. Sur recommandation faite dès 1959 par la Commission Internationale de Protection Radiologique ou CIPR (organisation non gouvernementale, reconnue par les Etats-Unis), la limite annuelle pour la population est fixée à 5mSv et 50 mSv pour les travailleurs. Les effets de l'accident de Tchernobyl en France sont de 0,005 à 0,97 mSv selon [MIN 90].

La réalisation du risque nucléaire peut entraîner une dégradation de l'environnement se manifestant par une atteinte à la flore (destruction ou pollution), à la faune (mêmes effets que sur l'homme), et aux terres (contamination, produits de consommation pollués, etc.).

3.6.5 Risque transport de matières dangereuses

Le risque Transport de Matières Dangereuses ou risque TMD se caractérise par un risque d'accident ayant des conséquences aggravées par les effets du produit dangereux⁴⁶ transporté (incendie, explosion, pollution des eaux ou des sols, etc). Le TMD concerne essentiellement les voies routières (2/3 du trafic) et ferroviaires (1/3 du trafic) ainsi que les voies d'eau (maritime ou fluviale) et les voies aériennes. Le risque d'accident est accru par le développement des infrastructures de transports la hausse de la capacité de transport et l'augmentation de la vitesse. Le transport par voie d'eau se caractérise surtout par des déversements présentant des risques de pollution tels que les marées noires⁴⁷.

⁴⁶ Une matière dangereuse est une substance qui, par ses propriétés physiques ou chimiques, ou bien par la nature des réactions qu'elle est susceptible de mettre en œuvre, peut présenter un danger grave pour l'homme, les biens ou l'environnement. Elle peut être inflammable, toxique, explosive, corrosive ou radioactive [MIN 90].

⁴⁷ Le 16 mars 1978, au nord de l'île d'Ouessant, l'Amoco Cadiz (230 000 tonnes de pétrole brut) tombe en avarie de gouvernail. A 21 h 04 (soit 11 heures après la première avarie constatée), le pétrolier échoue une première fois, puis définitivement à 22 heures. La marée noire qui suivit pollua 250 km de côtes bretonnes et nécessita l'engagement de 10 000 hommes mobilisés durant 13 semaines [RUB et al. 95].

3.6.6 Risque sanitaire et risque alimentaire

Risque sanitaire et risque alimentaire sont étroitement liés. Tous deux sont au premier plan de l'actualité (citons "l'affaire" de l'Encéphalopathie Spongiforme Bovine ou ESB et la forme spécifique de maladie de Creutzfeld-Jacob chez l'homme⁴⁸, ou bien encore la listériose). Le risque sanitaire est aujourd'hui l'objet de réflexions volontaristes fortes, relatives à la prévention, l'évaluation et la gestion qui peuvent en être faites. Les enjeux multiples qui lui sont associés l'expliquent, nous ne citerons que les principaux que sont [GRZ et al. 98] :

- les enjeux sanitaires : pathologie infectieuse, cancer, etc. ;
- les enjeux sociaux : exposition des couches sociales les plus défavorisées, le développement des zones périurbaines, etc. ;
- l'enjeu des équilibres écologiques : respect de l'environnement et des écosystèmes, améliorer la qualité des milieux (air, eau, sols) ;
- les enjeux internationaux : les travaux relatifs aux risques sanitaires liés à l'environnement ont une portée internationale ;
- les enjeux financiers : coûts liés à l'assurance maladie, coûts relatifs aux décisions à visée sanitaire et environnementale (pour lesquelles l'analyse coût-bénéfice est un préalable nécessaire à toute décision) ;
- les enjeux pédagogiques et civiques : incertitude scientifique, débat public, éducation, sensibilisation, etc.

Le risque sanitaire est susceptible d'atteindre l'homme ou l'environnement. Les risques sanitaires majeurs (épidémie, mortalité élevée, etc.) ont été réduits. Aujourd'hui, les risques sont surtout liés à l'exposition à de faibles doses à long terme [GRZ et al. 98].

Le risque alimentaire, sous-classe du risque sanitaire, est associé à des agents chimiques et biologiques [BOR 99]. Il se manifeste dans le temps, de manière immédiate (cas des allergies et des toxi-infections alimentaires), ou différée (processus de cancérisation par exemple). G. BORIES⁴⁹ le définit de la manière suivante : "le risque alimentaire consiste dans une interaction entre un agent causal, complexe et variable (l'aliment) et le fonctionnement intime d'un organisme vivant (l'homme)".

Le risque sanitaire peut être différencié en fonction du degré d'incertitude scientifique [GRZ et al. 98] :

- le risque identifié, dont la preuve est établie (cas du saturnisme ou de l'amiante) ;
- le risque controversé, pour lequel le débat scientifique n'a pas encore abouti à un consensus (cas des dioxines et des Organismes Génétiquement Modifiés ou OGM) ;
- le risque émergent pour lequel le débat scientifique en est à ses prémises (cas de l'hygiène et de l'immunologie).

Plus récemment, les 11-12 décembre 1999, lors de sa traversée par gros temps du golfe de Gascogne, le pétrolier maltais Erika (30 000 tonnes de fioul n°2) a été victime d'une défaillance de sa structure, ayant entraîné la cassure de sa coque. Une partie importante de la cargaison s'est répandue en mer et a ensuite souillé plusieurs centaines de kilomètres de côtes depuis la pointe de la Bretagne jusqu'à l'embouchure de la Gironde [CPEM 00].

⁴⁸ Le 14 novembre 2000, en réponse à la pression de l'opinion publique, Lionel Jospin, Premier ministre, a présenté un renforcement du dispositif de santé publique pour tenter d'enrayer la psychose provoquée par la crise de la "vache folle". Ce plan, qui sera accompagné de mesures de soutien et d'accompagnement pour les filières d'élevage, comprend notamment la suspension de l'utilisation des farines animales dans l'alimentation de tous les animaux d'élevage et domestiques.

⁴⁹ Georges BORIES est Directeur de Recherche de l'INRA (Institut National de la Recherche Agronomique), Laboratoire des Xénobiotiques, Toulouse.

3.7 Risque urbain

Le risque urbain est devenu un véritable phénomène de société, dont l'actualité⁵⁰ est quasi quotidienne. Il concerne principalement les grandes agglomérations dont le développement (occupation des sols, urbanisme, concentration d'activités, pôles industriels, etc.) accroît leur vulnérabilité aux accidents. Les risques urbains sont de différentes natures, ils regroupent les risques naturels, les risques technologiques, ainsi que les risques liés au développement du tissu social (mal-vivre, violence, délinquance, stupéfiants, insécurité, incivilités, criminalité, etc.) et aux nouvelles structures de la ville (grandes surfaces, transports urbains, quartiers dégradés, établissements scolaires, etc.). Notons de nouveaux risques tels que :

- le risque technologique lié aux réseaux d'énergie (gaz, électricité) et aux réseaux d'eau, sur lesquels nous aurons largement l'occasion de revenir ;
- les risques conflictuels (attentats, conflits⁵¹, mouvements de révolte, etc.) ;
- et le risque sanitaire lié à l'insalubrité.

Notons également le développement d'institutions de prévention des risques urbains telles : les Conseils Nationaux de prévention de la délinquance (Etats-Unis, Canada, etc.), le National Crime Prevention Council (Etats-Unis) ou encore l'Institut de Prévention et de Gestion des Risques urbains ou IPGR⁵².

4 Conclusion

Au regard des développements des mouvements de pensée écologique et de protection des consommateurs, il semble raisonnable d'estimer qu'à moyen terme, les risques les plus préoccupants pour l'entreprise relèvent des questions d'environnement et de responsabilité civile [BEN et al. 94]. Ce constat est aujourd'hui relayé presque quotidiennement par les médias. Nous citerons pour seul et unique exemple la marée noire provoquée par le naufrage du pétrolier maltais Erika et dont les conséquences vont bien au delà d'une catastrophe écologique [CPEM 00].

Dans le contexte actuel, la gestion des risques, classiquement définie par les méthodes de gestion dites réactives, atteint ses limites⁵³. En effet, l'ensemble des méthodes et outils disponibles préconise une prise en compte individuelle des risques au détriment de sa gestion globale [SON 99]. Aussi, les dépendances existant entre les risques nés de l'ère industrielle et les nouveaux risques et concepts qui leur sont associés (perception des événements médiatisés, intégration des aspects technique, économique et social, politique de communication, etc.) ne peuvent être considérées.

⁵⁰ Suite à de nombreux cas d'incivilités (trafics en tout genre, vols, séquestrations, dégradation de matériels, etc.), les établissements scolaires sont l'objet d'une préoccupation forte de la part des autorités. Le Monde, édition électronique du 25 novembre 1999, publie un article sur l'enracinement de la violence à l'école : " De nouvelles formes de violence, plus radicales, émergent dans les établissements scolaires : telle est la conclusion de Jacqueline Costa-Lascoux. Cette chercheuse au Centre d'études de la vie politique française, qui a participé au suivi du plan Allègre, relève ainsi les atteintes à la dignité des personnes, le racisme, le sexisme, les agressions sexuelles entre élèves, une collectivisation de la violence débouchant sur des phénomènes fascisants ou d'émeute".

⁵¹ Du fait de leur forte gravité, les risques liés aux conflits peuvent également être assimilés aux risques majeurs.

⁵² L'Institut de Prévention et de Gestion des Risques urbains, IGPR, a été créé en 1991. Cet organisme développe l'application des Cindyniques à la ville avec pour objectif de fournir à tout responsable urbain les éléments de base de la gestion de son activité. Rappelons que selon la législation en vigueur, le maire est doté de pouvoir et de responsabilité dans le domaine de la prévention des risques urbains.

⁵³ La gestion des risques (principes, méthodes et outils) est traitée dans le Chapitre III – Analyse et gestion des risques. Les aspects réactivité, évaluation, traitement, analyse coût-bénéfice y sont détaillés.

Le dilemme de la gestion des risques évoqué dans [BRE1 et al. 94] est réel. Le gestionnaire de risques, au sein de l'entreprise, propose le niveau de risque qu'il considère comme acceptable. Son jugement résulte d'une agrégation mentale de :

- **l'acceptabilité technique** (jugement des techniciens et ingénieurs) ;
- **l'acceptabilité économique** (mise en balance des coûts et bénéfices) ;
- **l'acceptabilité sociale** (compromis des avantages et inconvénients générés par le produit, le service ou l'activité étudiée).

Rappelons que le seul et unique risque pour l'entreprise se solde toujours finalement sur une base financière [DAV et al. 97]. Ce risque objectif, que nous identifions sous l'appellation de **risque global, est déterminé par la prise en compte conjointe de l'ensemble des risques supportés par l'entreprise**. Si l'exercice se veut ambitieux, il n'en demeure pas moins qu'il doit être tenté. La méthode d'Evaluation des Risques Agrégés, ou ERA, tente de répondre à ce besoin. Ainsi, dans le cadre de l'élaboration d'une politique unique pour la qualité, la sécurité et l'environnement, nous proposons un modèle et une méthodologie de prise en compte du risque global.

Nous venons de présenter le cadre d'étude, ainsi que les principaux risques auxquels elle se rapporte.

La politique de choix de renouvellement des installations de distribution repose principalement sur l'analyse et la prise en compte des risques d'exploitation. Ces derniers sont des risques purs dont les effets sur les personnes et les biens peuvent se traduire par des conséquences juridiques et financières, à plus ou moins long terme, du fait du fort impact médiatique lié aux explosions de gaz et du défaut d'image de marque d'une énergie potentiellement dangereuse.

Nous présentons ensuite de manière détaillée le processus de gestion des risques, ainsi que les principales méthodes d'analyse des risques, afin de situer la place dans de la méthode ERA parmi les connaissances du domaine (voir § III.2). Nous présentons également l'étude de sécurité principale des installations de distribution de gaz à usage collectif (voir § III.5) identifiant les différents risques (risques industriels et risque urbain) liés à l'exploitation des ouvrages.

Chapitre III

Analyse et gestion des risques

1 Introduction

Les risques prennent de plus en plus d'importance dans la ligne de management de l'entreprise, et ce en raison des forts enjeux supportés. Toute activité d'une entreprise ou d'une organisation ne peut désormais être raisonnablement envisagée sans considérer les risques qui y sont associés. La gestion des risques est aujourd'hui pour les entreprises une préoccupation forte et un élément indispensable à leur performance. On assiste ainsi à la mise en place d'une gestion active des risques par des mesures offensives, préventives, pro-actives, etc. Traditionnellement, la gestion des risques est vue comme un processus participatif, structuré et itératif, décomposé en phases dont les principales sont :

- identification des risques : quels sont les risques résultant de l'activité de l'entreprise ou de son environnement ?
- évaluation des risques : quantification des risques généralement à partir d'échelles de mesure de probabilité et de gravité, hiérarchisation des risques ;
- traitement des risques : mise en place de mesures de réduction, traitement du risque résiduel (plan de gestion et couverture financière), sensibilisation et formation du personnel de l'entreprise ;
- suivi et capitalisation : actualisation par retour de boucle, mise en place d'une cellule de veille (réglementaire, concurrentielle, stratégique, prospective, etc.), capitalisation des connaissances et Retour d'Expérience, ou REX.

Ce chapitre décrit les concepts, méthodes et techniques de gestion des risques et aborde les principales différences de la gestion des risques en fonction de son domaine d'application (nucléaire, chimie, transport de matières dangereuses, etc.) ou de l'activité considérée (gestion de projet, sûreté de fonctionnement, protection de l'environnement, etc.). Il est organisé en trois parties. La première partie donne une description détaillée du processus de gestion des risques. La seconde partie présente les principales méthodes d'analyse des risques traitant principalement du risque technique. La dernière partie décrit l'étude de sécurité principale réalisée sur les ouvrages de distribution de gaz naturel.

2 Processus de gestion des risques

Historiquement, la gestion des risques est issue de la nécessité de prévenir les accidents technologiques majeurs et de concevoir un ensemble de méthodes et de moyens destinés à éviter la survenue de l'inacceptable [ABR 96]. Au-delà des aspects purement techniques, l'entreprise est devenue un système complexe. Elle évolue au sein d'un environnement mouvant et instable. L'emploi des nouvelles tech-

nologies, l'évolution des exigences et des performances, la sensibilité du citoyen et du consommateur envers les atteintes à l'environnement, etc. font encourir de nombreux risques aux entreprises. Ces risques là, s'ils ne sont pas majeurs, peuvent avoir des conséquences désastreuses. Dans ce contexte, chaque entreprise se doit d'assurer la protection de son patrimoine et garantir la pérennité de ses activités par une compétitivité et une rentabilité accrues, en d'autres termes et selon [BLA 92] :

- fournir des prestations de qualité conformes aux exigences clients (coût, délai et performance) ;
- rentabiliser ses interventions ;
- utiliser au mieux ses ressources humaines (gestion des compétences [FRA et al. 98]), techniques et financières ;
- accroître son opérabilité (organisation par projet, structure matricielle, etc.) ;
- maîtriser l'environnement dans lequel elle évolue.

A ces paramètres, il convient aujourd'hui d'adjoindre les nouveaux risques et enjeux liés à la société de l'information tels que les Nouvelles Technologies de l'Information et de la Communication, ou NTIC, dont le concept accroît le niveau de concurrence et occulte parfois la liberté et la confidentialité de l'information. Ainsi, l'exigence nouvelle de performance liée à la maîtrise des points exposés ci-dessus appelle une approche associant des aspects humains, techniques et économiques. A cet aspect multidimensionnel du risque, il convient d'associer la vulnérabilité de l'entreprise. C. MARMUSE, dans son ouvrage "Politique Générale" [MAR 92], rappelle que l'entreprise est soumise à de multiples facteurs de vulnérabilité, la vulnérabilité étant considérée comme une manifestation du risque subi par l'entreprise (voir § II.3.4). Ainsi, il ne peut y avoir de politique de gestion des risques sans une connaissance précise des objectifs et orientations générales de l'entreprise, ces derniers constituant les référentiels pour la prise en compte des risques. La gestion des risques est à part entière une fonction stratégique de l'entreprise (voir § V.3.2). A ce titre, elle peut se définir en termes : **d'objectifs ciblés** (niveaux de sécurité par type de risques et grands domaines) ; **de contraintes à respecter** (sociale, économique, réglementaire, juridique, etc.) ; **de moyens techniques, humains et financiers à engager** ; **de solutions de traitement à privilégier** (choix d'investissements, assurances, etc.) ; de priorités intra-domaines ou inter-domaines, etc. [BEN et al. 94].

2.1 Principe et définition

Nous l'avons montré dans § II.3, toute entreprise est confrontée à une multitude de risques de natures différentes. La gestion des risques, bien que menée de diverses façons selon les domaines traités, repose toujours sur un processus séquentiel et itératif de même structure, consistant à réaliser successivement l'analyse, le traitement et le suivi des risques. Ce chapitre a pour objectif d'en traiter les principaux concepts, sans pour autant prétendre être exhaustif.

La gestion des risques est une démarche :

- intégrée au mode de fonctionnement de l'entité concernée. Le domaine de la gestion de projet l'illustre fort bien, H. COURTOT insiste sur la nécessaire intégration du management des risques¹ au processus global de management de projet [COU 98] ;
- continue et itérative puisqu'elle s'inscrit dans la stratégie d'entreprise.

La gestion des risques est le processus d'appréciation et de pondération des différentes actions possibles et de sélection de l'option la plus appropriée [BRE1 et al. 94]. Ce processus consiste à intégrer les

¹ Par souci de clarté envers le lecteur, nous avons opté pour le seul usage du terme "gestion des risques". Les termes de même sens, tels que "management des risques", ne figureront dans le corps du texte que lors de citations tirées de la littérature.

résultats de l'évaluation des risques avec les données technologiques sociales et économiques, afin de parvenir à une décision. Cette définition lui confère un domaine d'application varié. Ainsi, en gestion de projet, la gestion des risques se définit comme "l'ensemble des techniques qui permettent l'analyse, la gestion et la maîtrise des risques" [LOU 97].

2.2 Groupe de travail et gestionnaire de risques

La mise en place d'une gestion des risques performante nécessite de disposer de ressources humaines, mais également d'informations relatives au vécu de l'entreprise. Nous distinguerons ainsi trois acteurs ou groupes d'acteurs principaux, à savoir : le groupe de travail affecté à l'analyse des risques, le gestionnaire de risques et l'animateur méthode.

Le processus d'analyse des risques fait appel aux différentes connaissances et compétences, présentes ou vécues de l'entreprise. Le domaine des Hautes Technologies l'illustre². La gestion des risques est confiée à un groupe de travail "nécessairement pluridisciplinaire" [GAR 94]. Dans les grandes entreprises, le gestionnaire de risques est maître d'œuvre de la sécurité.

La tâche de gestion des risques est confiée à une ou plusieurs personnes, dont le décideur porte la qualité de "gestionnaire de risques" ou "Risk Manager". Dans leur métier, les gestionnaires de risques devront, en accord avec la stratégie d'entreprise, définir les niveaux de protection et de sécurité pour les différents systèmes cible (les individus, la population, les milieux et l'entreprise elle-même) impactés par l'activité de l'entreprise. Ce besoin fut mis en évidence dès le début des années 1980 où "l'analyse et la gestion des risques" étaient considérées comme "un nouveau champ de recherche et d'études : nouvelles relations homme-machine dans les systèmes de conduite en partie automatisée ; analyse probabiliste de la sûreté de systèmes techniques complexes ; introduction à la rationalité économique en matière de "gestion" de la sécurité et de la protection ; quantification pragmatique du risque à travers l'interrogation des experts et constitution de nouvelles bases de données ; problèmes de responsabilité légale et institutionnelle, problème d'équité et de transferts..." [FAG 83]. L'efficacité de cette activité est en partie conditionnée par la création d'une structure indépendante adaptée, ayant une vue transversale des activités de l'entreprise. Les méthodes d'analyse de risques telles que l'Analyse des Modes de Défaillance, de leurs Effets et de leur Criticité, ou AMDEC, ou bien la Méthode Organisée Systémique d'Analyse de Risques, ou MOSAR [PER 97], recommandent la présence d'un animateur indépendant. Ce dernier est garant du bon suivi de la méthode. Son indépendance permet d'accroître le niveau d'objectivité de l'analyse³.

2.3 Processus détaillé

Pour la plupart nées de l'industrie, les différentes approches de la gestion des risques présentes dans la littérature proposent une démarche de prise en compte des risques fondée sur une même structure. Nous présentons dans un premier temps les éléments fondamentaux du processus de gestion des risques "standard". Ce dernier sera par la suite différencié en fonction des principaux domaines dans lesquels il est mis en œuvre. La figure ci-après schématise l'analyse des risques comme l'enchaînement des phases d'identification, d'évaluation et de traitement des risques. Le caractère itératif du processus est représenté par les phases de suivi et de capitalisation.

² La démarche de gestion des risques mise en place dans le programme Ariane 5 en est l'exemple : "le processus de maîtrise des risques s'appuie sur :

- l'utilisation de toutes les compétences,
- l'utilisation de l'expérience du passé" [CAR et al. 99].

³ "Risk Manager" et animateur méthode sont souvent une seule et même personne.

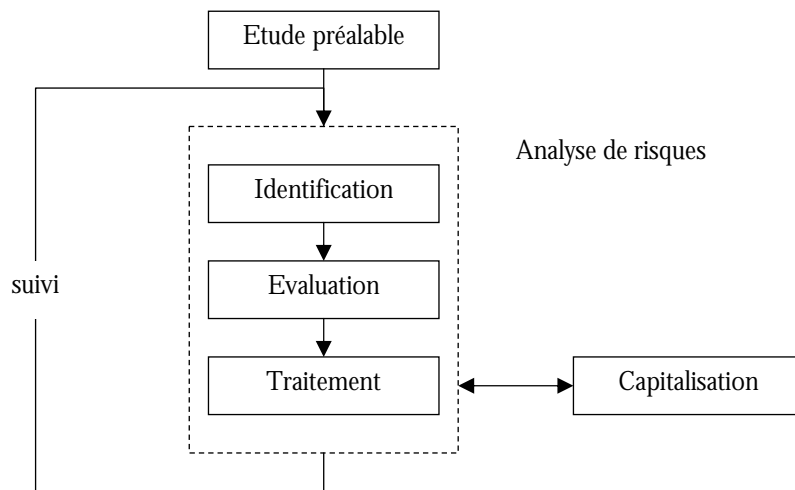


Figure III.1 : Processus synthétique de gestion des risques

2.3.1 Etude préalable

Le processus de gestion des risques débute par une phase d'étude préalable⁴ visant à :

- préciser les politiques et objectifs de l'entreprise, en particulier situer la gestion des risques dans la ligne de management de l'entreprise ;
- définir les objectifs à plus ou moins long terme ;
- constituer un groupe de travail et fixer les modalités de l'étude (statut et rôle des participants, disponibilité, etc.) ;
- fixer le champ et le délai de l'analyse des risques ;
- collecter les informations utiles (données techniques, historiques, statistiques, etc.).

La maîtrise des risques ne peut être performante que s'il s'agit d'une volonté affirmée de l'entreprise. A cette fin, elle fixe une politique à suivre, des objectifs à atteindre, des stratégies possibles, dont la connaissance est de nature à faciliter le déroulement des phases du processus de gestion des risques. Comme pour toute activité, il est nécessaire de mettre en place une structure projet [BEN et al. 94]. Lorsqu'il s'agit des risques liés à un projet, l'activité de gestion des risques devient partie intégrante de la gestion de projet, au même titre que la gestion des coûts, des délais, de la qualité, etc., mais avec une difficulté supplémentaire liée à l'approche transversale des actions à mener [WEKA 99]. Dans le cadre de l'analyse de risques pratiquée sur des installations, l'identification du champ de l'étude est primordiale. Un champ d'étude trop important peut conduire à mener un exercice complexe aux résultats médiocres [GAR 94]. Pour le cas qui nous concerne, à savoir la gestion des risques d'un réseau d'installations, nous verrons qu'il est intéressant et nécessaire d'identifier un Sous-Ensemble Représentatif (ou SER) afin de satisfaire les délais de réalisation de l'étude et de réduire la complexité inhérente à la modélisation du système.

⁴ Le terme "étude préalable" est emprunté à la méthode MERISE, née en 1977 de la volonté du Ministère de l'industrie. MERISE est une méthode de conception et de spécification qui aborde conjointement l'organisation et le système d'information de l'entreprise. Notons que cette phase figure également parmi les étapes de l'AMDEC [GAR 94] sous le terme "préparation de l'étude".

2.3.2 Identification des risques

Identifier les risques consiste à mettre en évidence les menaces ou vulnérabilités auxquelles l'entité considérée est confrontée, ainsi que les enchaînements des événements pouvant conduire à l'événement non souhaité de plus forte gravité [ABR 96].

2.3.2.1 Objectif

L'identification des risques est, dans bien des cas, un problème d'expérience et de bon sens [RUB et al. 95]. Elle constitue la première phase de l'analyse des risques et vise à établir une liste aussi exhaustive que possible de tous les risques pour l'entité⁵ considérée. L'identification des risques inclut celle de leurs causes et de leurs effets. Dans ce sens, nombre d'auteurs insistent sur l'identification des événements perturbateurs⁶ qui pèsent sur l'entité [BEN et al. 94], [WEKA 99], [DAV et al. 94] et dont nous savons qu'ils représentent une transition d'un état "cause" vers un état "effet" [LIG 99]. Le modèle MADS ou Méthodologie d'Analyse de Dysfonctionnement des Systèmes, sur lequel repose la méthode MOSAR, représente cette transition sous le terme "flux de danger".

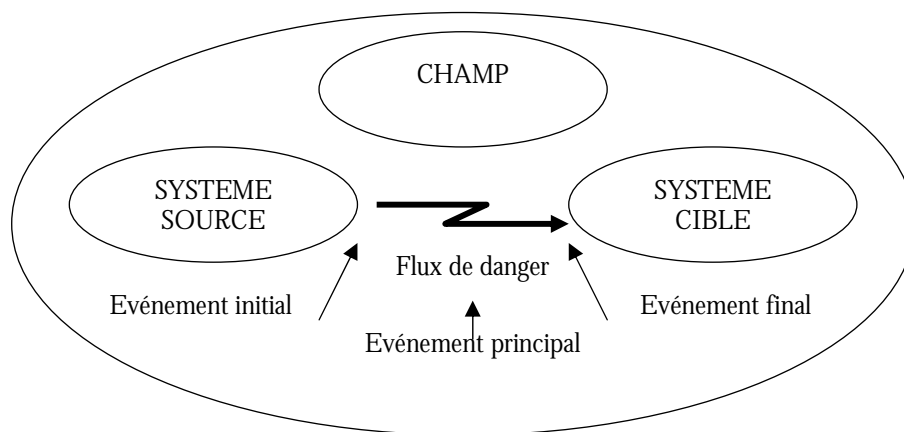


Figure III.2 : Flux de danger – Transition d'état extrait du modèle MADS [PER 97]

2.3.2.2 Etapes

Identifier les risques suppose de multiplier, au plus tôt, les "vues" sur l'entité considérée. Dans le cadre de la gestion des risques liés à un projet, cette étape est coûteuse mais déterminante. Les étapes de la phase d'identification des risques sont différentes selon les méthodes. Toutefois, nous pouvons raisonnablement en identifier trois dont la réalisation nous paraît essentielle, à savoir : modéliser, collecter et inventorier.

L'étape de modélisation consiste à réaliser un découpage de l'entité considérée. Selon les approches systémiques ou fonctionnelles, nous distinguerons une décomposition en sous-systèmes (méthode MOSAR) ou une décomposition fonctionnelle (méthode AMDEC) également appelée approche séquentielle par "phases projet" pour les méthodes spécifiques à la gestion de projet [GIA 91]. L'étape de collecte d'informations est fondamentale car la survenance d'événements non considérés constitue les risques les plus graves [WEKA 99]. Cette étape cadre avec les attendus d'une gestion active des connaissances de l'entreprise. Nous ne nous attarderons pas sur le "Knowledge Management", tant ce

⁵ Le mot *entité* désigne l'entreprise, l'organisation ou le projet, cible de l'analyse de risques.

⁶ Les événements perturbateurs sont également appelés selon les méthodes "événement redouté, événement non souhaité [PER 97], défaillance [GAR 94], vulnérabilité, etc.".

domaine est riche d'enjeux pour l'avenir des entreprises. Toutefois, il est important de souligner le parallèle qu'il y a entre "identification des risques" et "acquisition des connaissances"⁷. L'identification des risques s'inscrit parfaitement dans un objectif de capitalisation du patrimoine informationnel de l'entreprise (cet aspect sera également abordé en phase de capitalisation) et peut donc être menée à partir de méthodes spécifiques à la gestion des connaissances. Aussi différencie-t-on les outils "simples" employés au cours d'entretiens ciblés ou de réunions (brainstorming, visite, audit, interview, questionnaire, check-lists, etc.) et les méthodes plus complexes, mais également plus lourdes de mise en œuvre telles que DELPHI, KADS⁸, etc. [AUS et al. 96]. La dernière étape consiste à dresser l'inventaire des risques plausibles. Outre les données collectées lors de la précédente étape, l'animateur peut avoir recours à des listes préétablies telles les typologies de risques [COU 98], [LIG 99], les catégories de causes [WEKA 99], la grille de lecture des megacindyniques (liste de Déficits Systémiques Cindynogènes ou DSC) [KER et al. 91] ou la grille des Systèmes Sources de Dangers ou SSD de la méthode MOSAR [PER 97].

2.3.2.3 Approches et méthodes

a. Méthodes a priori et a posteriori

Les méthodes d'identification des risques se distinguent selon que l'identification a lieu *a priori* ou bien *a posteriori*. Ces approches, qualifiées de "logiques" par opposition aux approches intuitives [WEKA 99], nécessitent de représenter la survenance des risques comme l'aboutissement d'un processus logique sur lequel l'homme peut intervenir [ABR 96]. Nous verrons par la suite que ces méthodes sont complémentaires et que leur utilisation conjointe est fréquente. Les méthodes d'identification a posteriori sont utilisées lors de l'analyse d'accidents. Ces méthodes furent les premières employées par la sûreté de fonctionnement : "l'apprentissage par la panne ou par l'accident a été, pendant des millénaires, le premier moyen disponible pour mieux maîtriser la fiabilité et la sécurité" [VIL 88]. Elles doivent permettre d'établir les causes⁹ de l'accident et rendre ainsi possible des actions de prévention [ABR 96]. La détermination des causes de l'accident permet de prévenir les accidents futurs en prévenant la reproduction des causes (voir § III.2.3.4).

L'identification des risques a priori consiste à analyser l'entité considérée par rapport aux conséquences de la survenance d'événements non souhaités initiateurs, afin d'évaluer le risque associé à l'événement non souhaité final. Son développement est dû à l'évolution des technologies vers des systèmes industriels complexes pour lesquels l'identification des risques nouveaux ou très rares fut nécessaire [ABR 96]. Son objectif est d'identifier les risques avant qu'ils ne deviennent effectifs (caractère prédictif) à l'aide d'outils de simulation par exemple.

b. Approches inductive et déductive

L'analyse causale des accidents, ainsi que l'étude comparative d'un référentiel (réglementaire, juridique, etc.) à une situation donnée [BEN et al. 94] relèvent d'une approche déductive dans le sens où le processus d'analyse "remonte" des conséquences vers les causes. Lors d'une recherche par approche déductive, les risques sont identifiés à partir des effets non souhaités. L'approche déductive peut être menée à l'infini. En pratique, l'analyse est achevée lorsque les configurations causales sont jugées suffisantes. A l'inverse, l'analyse inductive ou descendante est une démarche cause-effet. Cette approche va

⁷ Le système Knowledge Acquisition for Risk Data Store (ou KARDS) illustre ce parallèle en utilisant plusieurs approches de l'acquisition des connaissances pour la constitution d'une base de connaissances orientées risques [GUR et al. 95].

⁸ Knowledge Acquisition and Documentation System ou KADS est une méthode de modélisation de l'expertise et de développement de systèmes à base de connaissances.

⁹ La notion de cause renvoie à l'idée de principe, de lois. En particulier lors de l'analyse d'accidents, l'hypothèse est faite de l'existence d'une relation de cause à effet stable et reproductible.

du particulier au général, de l'observation à la modélisation, des causes vers les conséquences selon un enchaînement d'événements [BEN et al. 94].

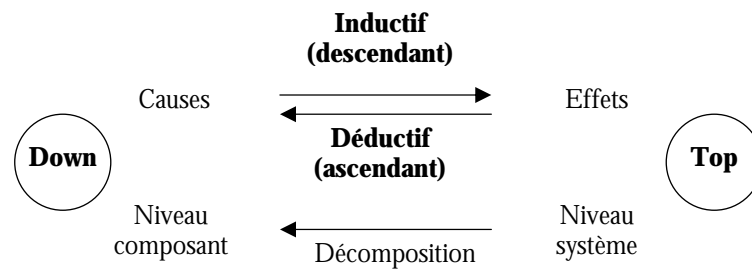


Figure III.3 : Approches inductive et déductive [CRA 95]

2.3.3 Evaluation des risques

A cette étape de l'analyse des risques, un grand nombre d'entre eux de natures différentes sont identifiés. Dans le cadre des approches probabilistes (voir § III.3.1), la phase d'évaluation des risques a pour objet de classer ces risques et de les différencier selon leur acceptabilité. L'objectif principal de cette phase n'est donc pas tant l'évaluation des risques, mais l'identification d'un seuil d'acceptabilité.

2.3.3.1 Retour historique

Les avancées techniques et scientifiques majeures du début du XX^{ème} siècle ont eu deux conséquences : d'une part un accroissement des dangers inhérents aux activités industrielles, d'autre part la demande continue d'une plus grande protection par la population. Aux origines de la sûreté de fonctionnement, la conception des installations était basée sur l'approche déterministe et donc sur la notion d'accident maximal (voir § III.3.1). En 1975, le rapport WASH 1400 de RASMUSSEN [REA 75] met en évidence l'utilité des approches probabilistes. Dès lors, le concept d'acceptabilité prit de l'importance et fut imposé à la gestion des risques [BRE1 et al. 94]. Désormais, et nous le verrons par la suite, l'évaluation tend à se baser sur des critères quantitatifs avec une estimation de la probabilité d'occurrence d'un événement et de ses conséquences. Dans ce contexte, l'évaluation des risques doit essayer de situer un niveau ou une frontière d'acceptabilité du risque. Le modèle de détermination du risque acceptable le plus simple est le modèle de la courbe de FARMER¹⁰. Dans ce dernier, la valeur limite du risque est déterminée à partir de la probabilité d'occurrence sur une période donnée et des conséquences sur la même durée. La frontière d'acceptabilité est ensuite établie à partir de la courbe "isorisque" associée au seuil d'acceptabilité (voir figure III.7) et aboutit à un découpage du plan probabilité-gravité (voir figure III.8).

2.3.3.2 Objectif

L'évaluation des risques est la phase fondamentale de la gestion des risques. **Gérer le risque revient à réaliser l'articulation entre optimum économique et acceptabilité du risque¹¹ (acceptabilité technique, économique et sociale).** En d'autres termes, il s'agit de distinguer l'inacceptable de l'acceptable en déterminant un niveau de frontière en consensus avec les sphères technique, économique (gestionnaire et rationalité économique) et sociale (prise en compte du public) [BRE2 et al. 94]. L'importance prise par le public a entraîné l'intégration de l'acceptabilité sociale dans la gestion des

¹⁰ F.R. FARMER est un chercheur anglais du United Kingdom Atomic Energy Agency, ou UKAEA.

¹¹ Le Health and Safety Executive ou HSE propose trois niveaux d'acceptabilité. Il distingue l'inacceptable (refusé a priori), le niveau intermédiaire où s'exerce l'optimisation (discuté), et le négligeable (accepté).

risques et ce malgré une réelle difficulté de prise en compte des critères du public par les gestionnaires. L'un des moyens de prise en compte de ces critères est l'information. Il est nécessaire de développer l'information car l'acceptabilité du risque passe par le jugement de son niveau de maîtrise et le degré de participation du public dans le processus de décision [BRE2 et al. 94]. A cet effet, nous verrons que la prévention des risques passe inévitablement par l'information, la communication et la sensibilisation.

2.3.3.3 Etapes

Le processus d'évaluation des risques varie selon le domaine d'application et la nature des données manipulées. Nous présenterons d'abord les méthodes qualitatives, puis les méthodes quantitatives. Notons d'ores et déjà que la pratique montre leur complémentarité, en particulier lors de l'analyse de situations pour lesquelles la collecte des mesures est difficile.

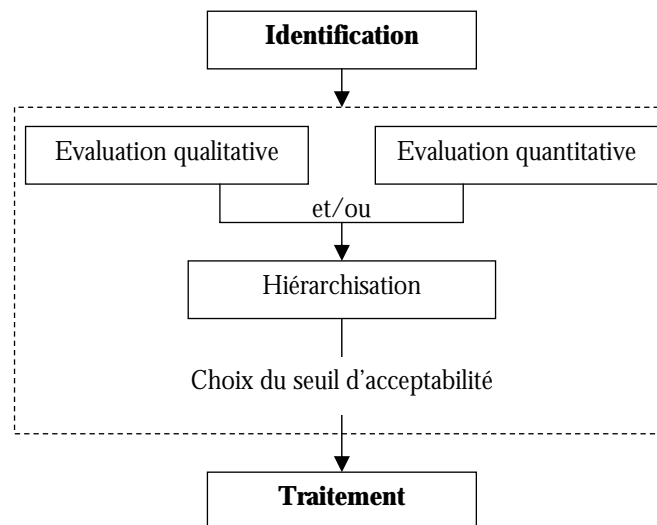


Figure III.4 : Processus d'évaluation des risques

a. Evaluation qualitative

Une étude menée en 1998 sur une centaine d'entreprises des secteurs du bâtiment, du pétrole et du gaz montre que l'usage mixte d'une évaluation quantitative et qualitative des risques est présent dans plus de 95% des analyses de risques [BAK 98]. Les dires d'experts et l'analyse de scénarios figurent respectivement parmi les méthodes qualitatives et quantitatives les plus utilisées. Malgré cela, le choix d'une méthode d'évaluation demeure une difficulté.

L'analyse qualitative a pour objectif d'identifier les risques présentant un niveau de gravité important et devant faire l'objet d'une analyse détaillée, à l'aide de méthodes quantitatives. Selon F. FRISH¹², une étude qualitative est définie comme l'enchaînement des tâches de choix des interviewés, du recueil de l'information et d'analyse et de synthèse de l'information recueillie [FRI 99]. Ainsi définie, l'analyse qualitative débute dès la phase d'identification des risques et constitue un préalable à la quantification des risques. Certains auteurs, soucieux de différencier l'identification des risques et l'évaluation qualitative, parlent de pré-analyse en référence à la phase d'identification et d'analyse détaillée en référence à l'analyse qualitative [BEN et al. 94].

¹² Françoise FRISCH, psychosociologue, a créé et dirige SYNESIS, l'institut spécialisé dans la réalisation des études de motivation. Elle est également consultante auprès de l'IFOP (Institut Français d'Opinion Publique).

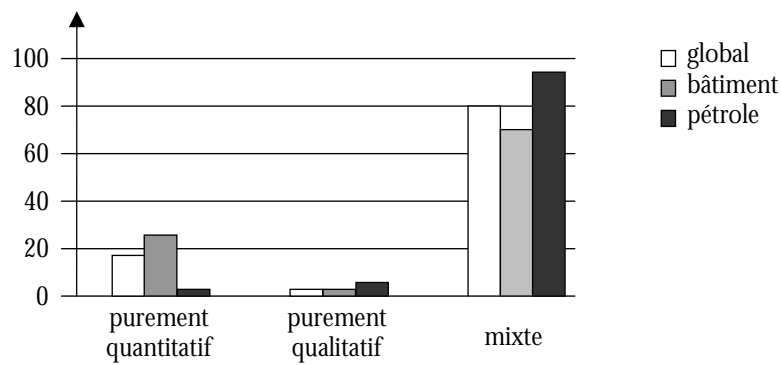


Figure III.5 : Répartition des méthodes d'évaluation des risques par secteur d'activité [BAK 98]

b. Evaluation quantitative et hiérarchisation

Nous savons que le risque est une mesure du danger [KER et al. 91]. La quantification du risque repose sur différents paramètres dont les principaux sont : la mesure d'occurrence ou probabilité d'un événement non souhaité et la mesure de ses conséquences ou gravité.

Nous définirons la probabilité d'occurrence¹³ comme la mesure de la fréquence à laquelle un événement se produit. Cette mesure peut s'exprimer sous la forme d'une fréquence (par exemple nombre d'événements par an), d'une probabilité sur une période donnée¹⁴, ou d'une probabilité conditionnelle lors de la prise en compte d'événements précurseurs. En d'autres termes, la probabilité d'occurrence d'un événement correspond aux chances raisonnables qu'il a de se réaliser [BEN et al. 94]. Cette mesure peut être acquise à partir de l'observation ou tirée de l'expérience (la probabilité comme fréquence). Elle peut également être obtenue à l'aide d'une modélisation mathématique, en particulier pour la prise en compte d'événements rares [BRE2 et al. 94]. Le risque peut alors être obtenu en considérant le nombre d'apparitions d'un événement sur un intervalle de temps donné.

¹³ La probabilité d'occurrence est également qualifiée de "probabilité de survenance ou d'apparition".

¹⁴ L'échelle de temps associée à une probabilité d'occurrence est très variable. S'agissant des risques liés à un système (matériel, produit, etc.) elle fait généralement référence à la notion de durée de vie (durée de vie utile pour les matériels par exemple, voir tableau III.1). Dans le cas de risques majeurs, il s'agit généralement d'une probabilité par an, estimée à partir de données historiques collectées dans le temps.

Int Def Stan 00-56 (1989)	NF F 71-011 (1990)	MIL-STD-882C² (1993)	NF F 00-101 (1993)	NF F 00-126¹ (2000)
<i>Frequent</i> <i>Likely to occur often.</i>	(A) Apparaît de nombreuses fois pendant la vie du système.	<i>Frequent (A)</i> <i>Likely to occur frequently. (Item) Continuously experienced (Fleet)</i>	Fréquent (A) L'événement est susceptible d'apparaître de nombreuses fois au cours de la vie du système.	Fréquent (A) Surviendra probablement souvent. Le risque de concrétisation du danger sera continuellement présent ($P > 10^{-3}$)
<i>Probable</i> <i>Likely to occur several times during life.</i>	(B) Apparaît plusieurs fois pendant la vie du système.	<i>Probable (B)</i> <i>Will occur several times in the life of an item. (Item) Will occur frequently. (Fleet)</i>	Probable (B) L'événement est susceptible d'apparaître quelques fois au cours de la vie du système.	Probable (B) Surviendra plusieurs fois. Le danger se concrétisera fréquemment. ($10^{-3} < P < 10^{-4}$)
<i>Occasional</i> <i>Likely to occur some time during life.</i>	(C) Apparaît très peu souvent pendant la vie du système.	<i>Occasional (C)</i> <i>Likely to occur some time in the life of an item. (Item) Will occur several times. (Fleet)</i>	Occasionnel (C) L'événement est susceptible d'apparaître au moins une fois au cours de la vie du système.	Occasionnel (C) Surviendra probablement plusieurs fois au cours de la vie du système. Le danger se concrétise à plusieurs fois. ($10^{-4} > P > 10^{-5}$)
<i>Remote</i> <i>Unlikely to occur, but possible</i>	(D) N'apparaît normalement pas pendant la vie du système	<i>Remote (D)</i> <i>Unlikely but possible to occur in the life of an item. (Item) Unlikely but can reasonably be expected to occur. (Fleet)</i>	Rare (D) L'événement est susceptible d'apparaître une fois au cours de la vie du système, mais le risque d'apparition pendant la vie du système est extrêmement faible	Rare (D) Surviendra probablement au cours de la vie du système. On peut raisonnablement s'attendre à la concrétisation de ce danger. ($10^{-5} > P > 10^{-7}$)
<i>Improbable</i> <i>Very unlikely to occur</i>	(E) Tel qu'on peut considérer que l'événement ne se produira pas pendant la vie du système	<i>Improbable (E)</i> <i>So unlikely, it can be assumed occurrence may not be experienced. (Item) Unlikely to occur, but possible. (Fleet)</i>	Improbable (E) L'événement est très peu probable mais le risque d'apparition pendant la vie du système n'est pas nul	Improbable (E) Peu probable mais possible. On peut admettre que ce danger se concrétisera exceptionnellement. ($10^{-7} > P > 10^{-9}$)
<i>Incredible</i>			Extrêmement improbable (F)	Hautement improbable (F)
<i>Extremely unlikely, given the assumptions recorded about the environment and the system, that the event will occur at all.</i>			L'événement est si peu probable que le risque d'apparition pendant la vie du système peut être considéré comme nul	Extrêmement improbable. On peut admettre que ce danger ne se concrétisera pas. ($10^{-9} > P$)

1. P est la probabilité d'occurrence par heure de fonctionnement du système.
2. La norme MIL-STD-882C (DOD 93) décrit différemment les niveaux de probabilité pour un élément spécifique (specific individual item) et ceux pour un parc d'éléments (fleet or inventory).

Tableau III.1 : Niveaux de probabilité d'occurrence d'un événement selon les normes NF F 00-101 (93), NF F 71-011 (90), NF F 00-126 (2000), Int Def Stan 00-56 (MOD 89), MIL-STD-882C2 (DOD 93)

Tel que le montre le tableau précédent, les normes définissent chacune cinq à six niveaux de probabilité d'occurrence d'un accident potentiel ou d'un événement dangereux. Les niveaux de mesure proposés reposent sur une échelle qualitative (à l'exception de la norme NF F 00-126 proposant une équivalence entre qualitatif et quantitatif) dont l'usage est précieux lorsque la quantification est trop complexe, voire impossible.

Nature de l'accident	Nombre de décès en 1969	Risque individuel et annuel
Véhicules	55791	3.10^{-4}
Chutes	17827	9.10^{-5}
Incendies	7451	4.10^{-5}
Noyades	6181	3.10^{-5}
Poisons	4516	2.10^{-5}
Armes à feu	2309	1.10^{-5}
Machines (1968)	2054	1.10^{-5}
Transport sur eau	1743	9.10^{-6}
Voyage aérien	1778	9.10^{-6}
Chute d'objets	1271	6.10^{-6}
Electrocution	1148	6.10^{-6}
Chemin de fer	884	4.10^{-6}
Foudre	160	5.10^{-7}
Tornades (moyenne 1953 – 1971)	118	4.10^{-7}
Ouragans (moyenne 1901 – 1972)	90	4.10^{-7}
Divers	8695	4.10^{-5}
Toutes causes confondues	115000	6.10^{-4}

Tableau III.2 : Risques individuels et annuels de décès dus aux accidents parmi la population américaine (1969) – Etats-Unis [VIL 88]

Dans certains cas, le risque est restreint à la mesure de gravité ou de sévérité des conséquences de l'événement. Telle en est la définition perçue du public qui s'intéresse généralement plus aux conséquences (nombre de morts, dégradation de l'environnement, etc.) d'un accident ou d'une catastrophe naturelle qu'à sa probabilité d'occurrence [BRE1 et al. 94]. Selon G.Y. KERVERN, **la gravité est le dommage maximum correspondant à un accident ou à un danger** [KER et al. 91]. La mesure de gravité considère uniquement l'effet, omettant la cause [GAR 94]. Les conséquences peuvent être de natures diverses, la survenance d'un accident ayant dans la plupart des cas des conséquences multiples, sur des systèmes de nature différente (les personnes, le système, l'écosystème, etc.).

Les échelles de mesure de gravité sont diverses et comptent en général quatre moments. Quelques applications de l'AMDEC en comptent dix. A titre d'exemple, l'échelle internationale de gravité des événements nucléaires ou INES¹⁵ (de l'anglais "International Nuclear Event Scale") en compte huit (voir figure III.6). La probabilité et la gravité représentent les deux dimensions du risque. Une pratique courante consiste alors à calculer le produit de ces deux dimensions. Sous le terme criticité¹⁶, si l'on se

¹⁵ L'INES est destinée à couvrir les événements se produisant dans toutes les installations nucléaires civiles et pendant le transport des matières nucléaires. Notons que l'INES est une échelle de communication et est destinée à faciliter la perception par les médias et le public de l'importance en matière de sûreté des incidents et des accidents nucléaires.

¹⁶ Selon la terminologie AMDEC, la criticité du mode de défaillance résulte de l'évaluation du couple (probabilité P ; gravité G) associé à un mode de défaillance donné. La criticité augmente lorsque la probabilité de défaillance et la gravité des effets induits augmentent. Notons également que le calcul de criticité intègre parfois le risque de non-détection (ND) défini comme la probabilité que la cause et le mode étant apparus, la défaillance atteigne l'utilisateur. L'indice de criticité devient alors $C = P \times G \times ND$.

réfère à l'AMDEC, le risque a une structure d'espérance mathématique¹⁷ [BRE1 et al. 94], [KER et al. 91]. Ce type de quantification pose deux difficultés : les conséquences sont souvent exprimées dans des unités de mesures différentes ; des situations différentes peuvent conduire à la même valeur moyenne, tel le risque majeur caractérisé par une faible fréquence et une forte gravité et le risque domestique caractérisé par une forte fréquence et une faible gravité (voir figure. III.7.). Pour pallier à la difficulté de prise en compte de conséquences de nature différente, W.D. ROWE propose de les évaluer dans une unité de mesure commune (valorisation monétaire par exemple). Ainsi, le risque se définit comme le triplet (probabilité d'occurrence ; gravité ; valeur de conséquences) [ROW 77].

niveau	définition	conséquences à l'extérieur du site	conséquences à l'intérieur du site
7	Accident majeur	rejet majeur : effets étendus sur la santé et l'environnement	
6	Accident grave	Rejet important susceptible d'exiger l'application intégrale des contre-mesures prévues	
5	Accident	Rejet limité susceptible d'exiger l'application partielle des contre-mesures prévues	Endommagement grave du coeur du réacteur / des barrières radiologiques
4	Accident	Rejet mineur : exposition du public de l'ordre des limites prescrites	Endommagement important du coeur du réacteur / des barrières radiologiques / exposition mortelle d'un travailleur
3	Incident grave	Très faible rejet : exposition du public représentant une fraction des limites prescrites	Contamination grande / effets aigus sur la santé d'un travailleur
2	Incident		Contamination importante / surexposition d'un travailleur
1	Anomalie		
0	Ecart	Aucune importance du point de vue de la sûreté	
-	Evénements hors échelle	Aucune pertinence du point de vue de la sûreté	

Figure III.6 : Echelle internationale des événements nucléaires

Une fois les risques quantifiés selon l'évaluation du danger retenue, les risques sont reportés dans une matrice d'analyse des risques sur laquelle les axes de gravité et probabilité sont divisés en sous-ensembles de même valeur (échelle de mesure qualitative ou quantitative, voir figure III.12). Ils sont ensuite classés (ou hiérarchisés) en fonction des menaces qu'ils représentent. L'ordre établi par la hiérarchisation va conditionner l'ordre de priorité des actions de la phase de traitement des risques.

c. Choix du seuil d'acceptabilité du risque

L'objectif de la gestion des risques est de ramener les risques résiduels¹⁸ à un niveau satisfaisant ou acceptable. La notion de valeur acceptable du risque ou de frontière d'acceptabilité est l'objet de nombreux écrits quant à sa définition. Pour en clarifier le sens, il convient d'abord de définir les sens du concept d'acceptation. Accepter peut prendre trois sens différents : un sens favorable (recevoir) ; un

¹⁷ Rappelons la définition de l'espérance : "l'espérance d'une variable aléatoire est la moyenne des diverses valeurs que peut prendre cette variable, pondérée par la probabilité attachée à ces valeurs" [JAC74]. Exprimé sous la forme du produit (probabilité P, gravité G), le risque présente la même structure.

¹⁸ Partant du constat que "le risque nul n'existe pas", nous définirons le risque résiduel comme le risque persistant en dépit des mesures de sécurité prises. Nous reviendrons sur cette définition dans le paragraphe consacré au traitement du risque (voir § III.2.3.4).

sens indifférent (admettre, tolérer) ; et un sens défavorable (subir). L'acceptation se définit comme "le fait d'accepter" (*Le Robert*). Il s'agit d'un comportement consenti, d'où le caractère stratégique de son choix.

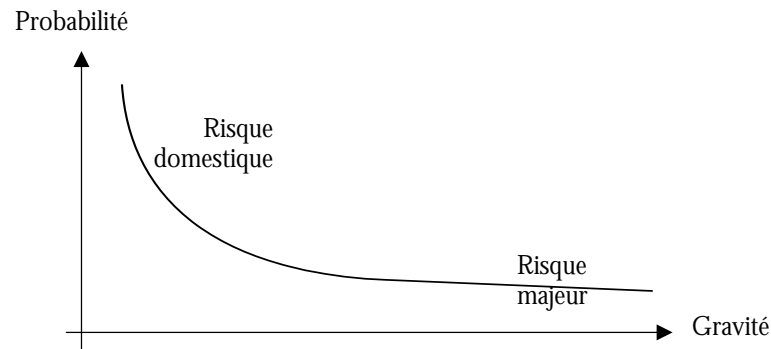


Figure III.7 : Courbe "isorisque" ou risque constant [KER et al. 91]
(probabilité x gravité = constante)

Quelque soit l'entité considérée, le gestionnaire de risques doit déterminer le niveau de risque qu'il considère comme acceptable. Ainsi, définir l'acceptable est un acte de gestion pour lequel chaque sphère définira sa propre acceptabilité [BRE1 et al. 94]. Concernant précisément la problématique qui nous concerne, nous différencierons :

- l'acceptabilité technique du risque définie par les "opérationnels", fonction des solutions et moyens techniques connus et maîtrisés ;
- l'acceptabilité économique du risque définie par les "gestionnaires", fonction des moyens financiers disponibles au regard de l'analyse coût / bénéfice relative aux investissements pour la qualité et la sécurité (protection et sûreté) ;
- l'acceptabilité du public, fonction de facteurs rationnels, émotionnels, culturels, etc. et dont l'information et la communication conditionnent la perception.

La hiérarchisation des risques aboutit à un classement basé sur différents critères. Ce résultat est utilisé pour juger du niveau de sécurité au regard des objectifs généraux définis au cours de la phase préparatoire. Ainsi, la difficulté réside dans la définition d'un niveau de sécurité suffisant compte tenu de contingences matérielles et financières pour l'entreprise. La notion d'acceptabilité est issue des domaines du nucléaire et de la radioprotection dont nous rappelons les principes fondamentaux de gestion des risques :

- principe de justification : aucune activité impliquant des expositions aux rayonnements ne peut être adoptée à moins que son introduction ne produise un bénéfice social net positif ;
- principe de limitation : les doses pour les individus ne doivent pas dépasser les limites de doses recommandées ;
- principe d'optimisation : toute activité "susceptible d'entraîner une exposition de l'homme doit s'exercer dans des conditions de protection telles que les expositions aussi bien des travailleurs que du public soient maintenues au niveau le plus bas que l'on puisse raisonnablement atteindre, compte tenu des facteurs économiques et sociaux" [BRE1 et al. 94].

Ce dernier principe s'exerce dans de nombreux domaines. Citons la radioprotection sous l'appellation ALARA ou As Low As Reasonably Achievable, ou encore le domaine industriel au Royaume-Uni sous l'appellation ALARP ou As Low As Reasonably Practicable. En définissant les notions de valeur inter-

dite et de valeur acceptable, il constitue la clé de voûte de toute activité de gestion des risques. A partir du principe d'optimisation, nous pouvons définir les niveaux relatifs à l'acceptabilité du risque en les reportant sur la matrice des risques. F.R. FARMER initia ces réflexions dès 1960 en admettant l'existence d'une probabilité maximale admissible fonction décroissante de leur gravité [FAR 82]. La courbe de FARMER est utilisée pour traiter le risque majeur.

La conception de l'acceptabilité du risque est différente selon le point de vue où l'on se place (technique, économique, administratif ou social). Les approches et définitions de la valeur acceptable du risque dépendent du contexte analysé et des paramètres retenus pour son évaluation. Les deux exemples suivants illustrent une conception essentiellement technique de l'acceptabilité du risque :

- s'agissant des effets stochastiques¹⁹ des rayonnements : le risque acceptable pour un individu, identifié ici à la dose admissible, est "celle qui accumulée pendant une longue période ou reçue au cours d'une exposition unique, entraîne dans l'état actuel de nos connaissances une probabilité non négligeable de dommages somatiques ou génétiques graves ; de plus, elle est telle que les effets qui en résultent plus couramment sont limités à ceux, de nature bénigne, qui pourraient être jugés acceptables par l'individu exposé et les autorités médicales compétentes" [CIPR 66] ;
- s'agissant du risque individuel de décès, certaines approches cherchent une référence dans les normes établies naturellement (*approche de minimis*) : "les risques statistiques de décès par maladie constituent un seuil psychologique caractéristique de l'acceptabilité des risques" [STA 69]. Ainsi, un risque supérieur à 10^{-3} par an est considéré comme inacceptable, alors que le risque de décès par hydrocution (6.10^{-6} par an) peut constituer une valeur de référence, tandis qu'un risque de probabilité inférieure sera considéré comme acceptable (voir tableau III.2).

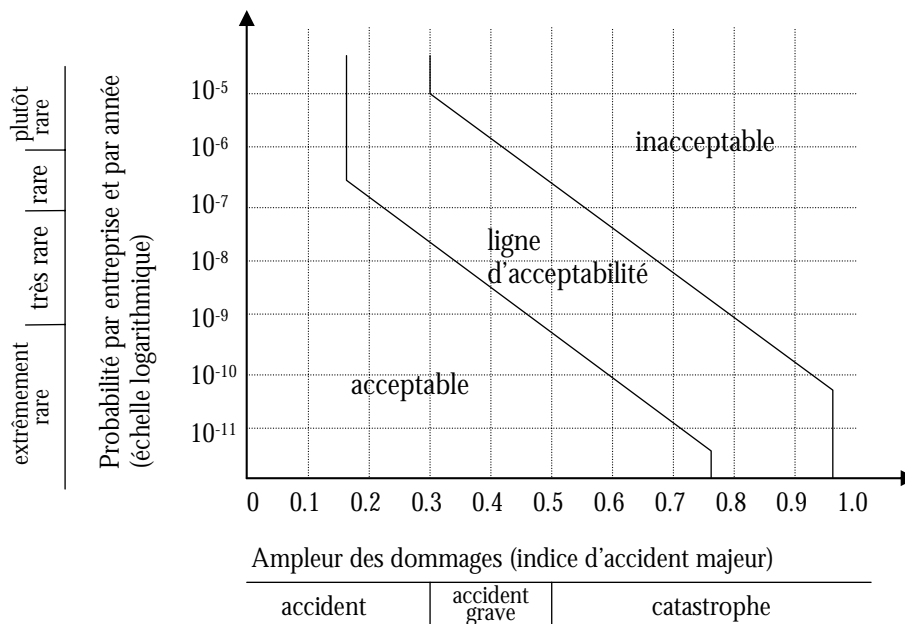


Figure III.8 : Acceptabilité, découpage du plan probabilité-gravité [OPA 91]

¹⁹ Un effet stochastique est dit aléatoire (survenance d'un événement non souhaité tel un cancer), en opposition à un effet non stochastique, dit certain (survenance certaine d'un événement non souhaité au-delà d'un certain niveau d'exposition telles les brûlures).

Les deux exemples ci-dessus reposent sur la proposition de normes comme valeur du risque acceptable. La radioprotection est un exemple de détermination d'une valeur limite basée sur un risque quantifié à partir d'études expérimentales de biologie et d'enquêtes épidémiologiques sur des populations exposées [BRE1 et al. 94]. Elle s'appuie sur la modélisation d'une relation dose-effet. L'approche *de minimis* fait référence à des normes fixées naturellement puisque déterminées par comparaison avec des expositions historiquement tolérées [BRE1 et al. 94]. Plus généralement, l'identification du seuil d'acceptabilité est réalisée à l'aide d'une démarche comparative. Cette dernière consiste à comparer les risques acceptés dans les entités similaires. Tel est le principe employé pour l'identification des risques majeurs liés à un projet [ECO 93].

La courbe de FARMER scinde le plan probabilité-gravité en zones de même importance. La gestion de projet différencie différents niveaux d'acceptabilité [COU 98] tels : les risques faibles (peu graves et peu probables) et donc non pris en compte ; les risques acceptables (graves et peu probables ou probables et peu graves) auxquels il convient de prêter une attention particulière ; et les risques inacceptables (graves et probables) qui doivent faire l'objet de mesures préventives et curatives immédiates. Ainsi, le plan probabilité-gravité peut faire l'objet d'un découpage en zones selon le niveau d'acceptabilité des risques, et ce quelque soit le domaine d'activité concerné (voir figure III.8).

d. Remarque sur la perception du risque

L'évaluation étant la phase ultime de l'analyse des risques, nous ne pouvons considérer la notion d'acceptabilité du risque sans évoquer la problématique de perception qu'elle induit. La perception du risque fait l'objet de nombreuses recherches [KAS 88], [BUR et al. 93], [BOH 98], [BRE 99], dont nous nous limiterons à ne citer que quelques principes.

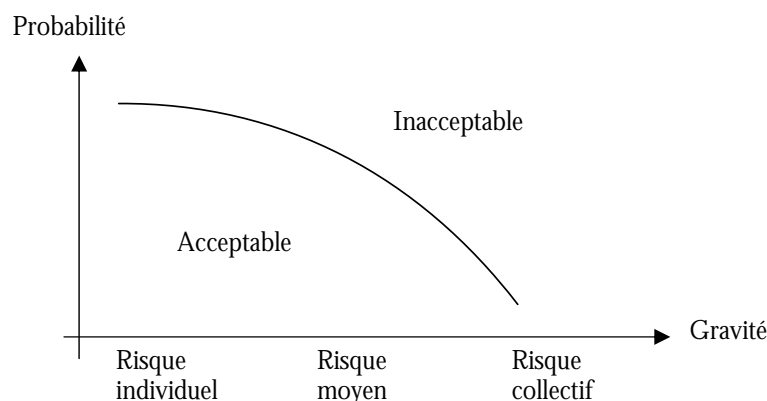


Figure III.9 : Perception du risque acceptable

A la notion de perception sont associées celles de mesures objectives et subjectives. De nombreux obstacles s'opposent à une perception objective des risques, que ce soit par le public, le gestionnaire de risques ou l'expert. Parmi ces obstacles, citons :

- le point de vue sociologique, variant selon le mode de vie et les valeurs collectives et pour lesquelles le risque peut être source de croissance, de prudence, d'aversion ou bien encore de menace ;
- le point de vue cognitif variant selon : la nature même du risque (selon la loi d'accoutumance aux risques, un risque connu est préféré à un risque inconnu) ; le niveau de conviction d'un risque (la théorie de l'amplification sociale du risque [KAS 88] montre que les risques les plus graves, tel le risque nucléaire, sont plus appréhendés que les risques de la vie quotidienne, voir figure III.9) ; et enfin la perception des solutions permettant de les réduire (la notion de valeur subjective explique

le fait que les chances de gains ou de pertes consécutives à une décision sont évaluées de manière non linéaire [KAH et al. 99].).

Ces obstacles peuvent conduire à une hausse des exigences de sécurité pour un coût parfois très élevé. Nous reviendrons sur le ratio coût de la sécurité et coût des risques dans le paragraphe analyse coût-bénéfice (voir § III.2.3.4.2).

2.3.4 Traitement des risques

Le traitement des risques est la dernière phase de la gestion des risques à proprement parler. Si l'identification est à juste titre considérée comme déterminante pour la qualité de l'analyse et l'évaluation comme la phase la plus difficile de mise en œuvre, le traitement des risques est vraisemblablement (avec le choix du seuil d'acceptabilité) la phase la plus lourde de responsabilité pour les gestionnaires de risques [WEKA 99].

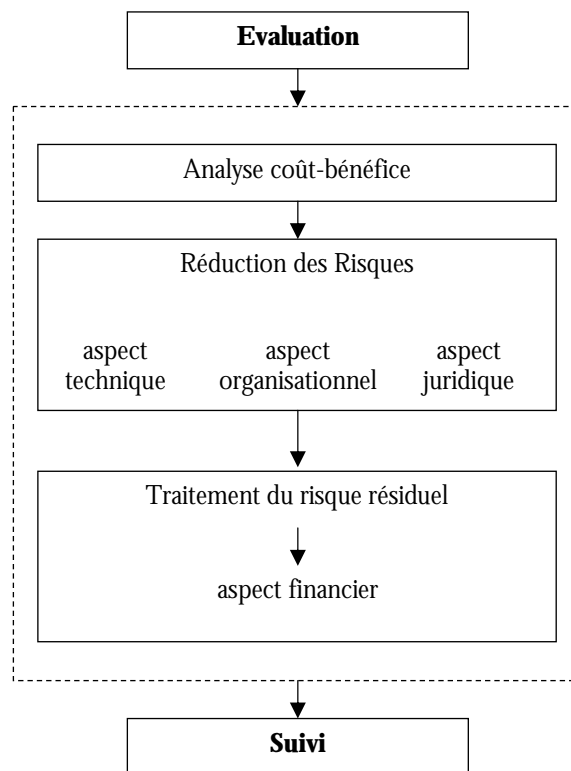


Figure III.10 : Processus de traitement des risques

2.3.4.1 Objectifs

L'objectif du traitement des risques est double. **Il s'agit d'une part de prévenir et de réduire les risques inacceptables par la mise en place de mesures de prévention ou de protection afin d'atteindre le niveau de sécurité souhaité. D'autre part, il s'agit de traiter les risques résiduels en élaborant des solutions de couverture pour l'entité considérée.**

Le traitement des risques inacceptables nécessite l'engagement de moyens financiers, humains et techniques. Dans la plupart des situations, l'estimation de ces moyens repose sur l'analyse coût-bénéfice. Elle peut également être complétée par la prise en compte de paramètres spécifiques à l'entreprise tels des exigences de conformité, de qualité, etc. Le cadre de la politique de gestion des risques défini lors de la phase préparatoire précise ces paramètres. Outre les aspects réglementaires, les critères de choix peuvent concerner la marque et l'image de l'entreprise, ou bien la responsabilité de ses acteurs. Le trai-

tement du risque résiduel nécessite de prendre en considération les effets des risques persistants en dépit des mesures de sécurité prises. Différents choix s'offrent au gestionnaire de risques que nous classerons en deux familles :

- conservation des risques résiduels, soit par l'absence de prise en compte, soit par rétention ou "auto-assurance" ;
- transfert partiel ou total des risques résiduels à l'assurance.

2.3.4.2 Etapes

Une fois les divers risques identifiés et évalués, l'objectif de maîtrise des risques conduit à se poser la question suivante : "comment réduire leurs conséquences pour l'entreprise ?". Deux voies s'offrent alors au gestionnaire de risques : réduire le risque en lui-même et réduire ses conséquences. L'exploration de ces voies doit être menée sur les aspects technique, organisationnel, juridique et financier.

a. Analyse coût-bénéfice

Pour toute entreprise ou organisation, l'optimisation des investissements est une règle de base. L'analyse coût-bénéfice issue de la littérature économique [LAY et al. 94] cherche à mesurer les coûts et bénéfices en partant de la rentabilité d'activités ou d'investissements spécifiques. Appliquée à la gestion des risques, l'analyse coût-bénéfice permet d'introduire le concept de risque économiquement acceptable par le biais d'une valorisation économique. Fixer un niveau de risque économiquement acceptable permet d'estimer les ressources financières à allouer en fonction d'un niveau de risque [BEN et al. 94] et ce afin d'éviter une allocation de ressources sous-optimale et de dégager un gain social net (selon les principes de justification, limitation et optimisation).

Si la quantification du risque est parfois imprécise et sa valorisation économique parfois impossible, l'estimation du coût global²⁰ de son traitement est facilitée par l'emploi des méthodes comparatives dans le cas de risques généraux ayant fait l'objet de prise en compte par d'autres entreprises [BEN et al. 94]. Ce dernier comprend en particulier :

- le coût global des mesures de prévention et de protection (aspect technique) ;
- le coût lié aux moyens humains mis à disposition (aspect organisationnel) ;
- le coût de sensibilisation et de formation des personnels (aspect organisationnel) ;
- le coût pour provisionnement ou assurance (aspect financier) ;

La figure III.11 montre que l'absence de sécurité coûte cher. Inversement, il n'y a aucune utilité économique à trop de sécurité. L'optimum économiquement acceptable, minimum du coût total, se situe à l'intersection des courbes représentant le coût lié à la non sécurité (coût des dommages) et le coût de la sécurité. Ainsi, de façon simpliste, si le bénéfice (réduction du coût global) l'emporte sur le coût, l'effort de réduction du risque est efficace et doit être réalisé. L'optimum est déterminé par l'intégration de l'évaluation des risques et de l'ensemble des considérations de l'entreprise, dont les aspects politique et stratégique. Ce processus de choix, par rapport à un seuil d'acceptabilité, fait intervenir une pluralité d'acteurs ayant des intérêts différents et, nous l'avons vu, une conception différente de l'acceptabilité. Aussi, le choix de l'optimum est le résultat d'un compromis entre critère de rentabilité économique de l'investissement pour la sécurité (voir § I.2) et enjeux réglementaires et stratégiques (voir § I.2.3.3). Notons qu'il est illusoire de vouloir associer à chaque risque une valeur d'acceptabilité économique.

²⁰ Le coût global est défini comme la somme des dépenses sur l'ensemble de la vie d'un produit pour un usage donné (Norme AFNOR NF X 50-150, Analyse de la Valeur, Analyse Fonctionnelle, vocabulaire, août 1990). Dans le cas d'une installation, le coût global comprend le coût d'acquisition, le coût d'utilisation (énergie et main-d'œuvre), le coût de maintenance, le coût de démantèlement, etc.

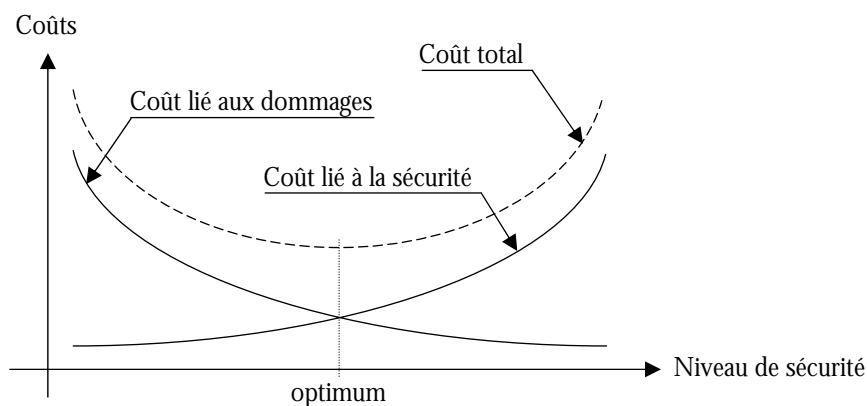


Figure III.11 : Analyse coût-bénéfice

Pour décisives que soient ces approches chiffrées, elles ne doivent pas faire oublier la prise en compte de la perception sociale du risque. Une meilleure connaissance de ces données permettrait aux organismes d'anticiper la réaction de l'opinion publique face à une décision, et donc de mieux fonder celle-ci par une intégration amont des préoccupations des individus. Ce constat est développé dans la théorie de l'amplification sociale du risque de KASPERSON [KAS 88], [BUR et al. 93]. Il peut toutefois être diminué par le développement de l'information et de la communication, absents des aspects classiquement traités. Enfin, comme le souligne C. GOLLIER²¹, le fondement de l'évaluation des coûts et des bénéfices par la réduction des risques n'est pas sans poser de difficultés. Rejoignant ainsi les obstacles soulevés par la perception des risques lors de leur quantification (voir § III.2.3.3.3.d.), il met en évidence deux difficultés :

- l'évaluation d'une réduction du risque (bénéfice) ;
- le bénéfice attendu dont le fait qu'il soit différé dans le temps implique d'en estimer la valeur future en francs d'aujourd'hui [GOL 98].

b. Réduction des risques

La réduction des risques et de leurs conséquences peut être opérée selon les aspects technique, organisationnel et juridique (l'aspect financier étant considéré lors du traitement du risque résiduel). Pour chacun de ces aspects, il convient d'identifier l'ensemble des moyens (prévention, protection, formation, consignes, etc.) permettant de ramener les risques à un niveau acceptable et donc supportable.

Aspect technique

L'aspect technique est basé sur les concepts de prévention et de protection mis en œuvre dans le cadre de plans d'actions [LOU 97]. **La réduction des risques repose donc sur la mise en œuvre soit de mesures de prévention²² visant à réduire la probabilité de survenance d'un risque, soit de me-**

²¹ Christian GOLLIER est docteur en sciences économiques de l'Université catholique de Louvain, Professeur à l'université de Toulouse.

²² Par exemple, s'agissant du risque de contrefaçon (risque spéculatif), le dépôt d'un brevet ou d'une marque est une mesure de contrôle préventif qui, outre la réduction du risque, permettra le cas échéant la réussite d'une action en justice [MAR et al. 89].

sures de protection^{23,24} visant à diminuer la gravité d'un risque. Pour cette dernière, C. MARMUSE emploie le terme d'action de contrôle prévisionnel permettant de "réduire les dimensions du risque grave à celles d'un risque normal" [MAR et al. 89].

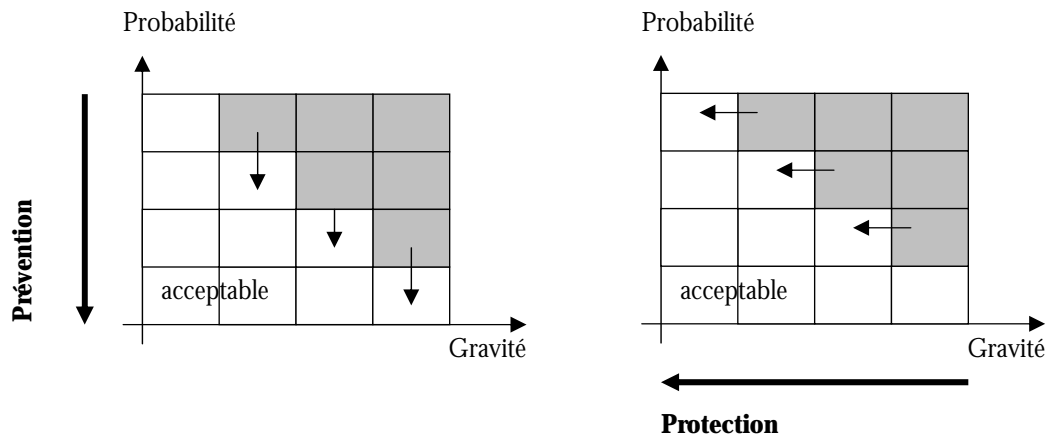


Figure III.12 : Prévention et protection – Matrice des risques

La méthode MOSAR associe la notion de mesure de réduction du risque à celle de barrière, dont elle donne la définition suivante : "élément matériel ou procédure destinée à interrompre ou à modifier le scénario d'un accident de façon à en réduire la probabilité et/ou la gravité" [PER 97]. Les barrières de prévention (barrière qui permet de réduire la probabilité d'enchaînement et de neutraliser des événements constitutifs de l'événement non souhaité) et les barrières de protection (barrière qui permet de réduire l'impact de l'événement non souhaité sur la ou les cibles) agissent respectivement sur le système source et le système cible.

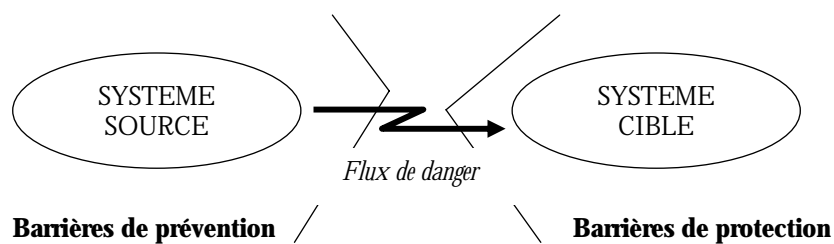


Figure III.13 : Prévention et protection – modèle MADS

Il appartient de différencier les efforts de prévention et de protection en fonction du domaine et de la nature du risque considéré. En effet, l'existence même de solutions n'est pas toujours vérifiée, ni même connue si l'on considère le cas des risques émergents. De fait, les difficultés associées à leur mise en

²³ Par exemple, s'agissant de la gestion des risques environnementaux, une distinction est faite entre les mesures de protection passive (comme la mise sur rétention d'une cuve) et les mesures de protection active nécessitant la mise en place d'un dispositif d'urgence. Nous revenons sur ces mesures dans le paragraphe relatif à l'aspect organisationnel.

²⁴ Les éléments constitutifs de la protection d'une automobile sont : les ceintures de sécurité, les coussins d'air, les renforts latéraux des portières, la déformation de l'habitacle, etc.

œuvre ne seront pas les mêmes. Concernant les risques majeurs, une part importante des efforts est consacrée à la prévention. L'approche globale préconisée par le ministère de l'aménagement du territoire et de l'environnement [MIN 90] repose sur :

- la mise en place de mesures de prévention : connaissance des risques, parades, prise en compte du risque dans l'aménagement, surveillance ;
- la mise en place de mesures de protection collectives et individuelles ; alerte, plans de secours et gestion de crise²⁵ ;
- l'information et la formation des milieux professionnels et éducatifs.

Aspect organisationnel

Les notions de détection au plus tôt et de réactivité sont prépondérantes, en particulier lorsqu'il s'agit de risques liés à un projet pour lesquels l'action de maîtrise des risques sera d'autant plus efficace qu'elle sera organisée de manière préventive [COU 98].

L'aspect organisationnel du traitement des risques consiste à élaborer différents programmes pour la sécurité et la sûreté de l'entreprise, en fonction de paramètres réglementaires, des risques identifiés et des aspects matériels et humains. Il repose sur les notions d'anticipation, de réactivité et de communication appliquées aux différents modes de fonctionnement de l'entreprise (situation normale, dégradée ou de crise). A l'image de l'incident du tunnel routier du Mont Blanc²⁶, l'histoire compte nombre d'accidents ou catastrophes nous rappelant l'importance de l'organisation et de la communication en cas de dysfonctionnement majeur. Le traitement amont de l'aspect organisationnel lié aux risques est déterminant en cas de crise. Il est composé de mesures de prévention et de protection "coordonnées" et prévues, qu'il convient de différencier selon :

- le mode de fonctionnement considéré : fonctionnement normal (procédure et consignes de travail et d'utilisation des moyens de prévention et de protection [BEN et al. 94]) et fonctionnement dégradé (plan d'urgence, gestion de crise, etc.) ;

²⁵ Les notions de procédures, consignes et gestion de crise sont traitées par l'axe organisationnel de la réduction des risques.

²⁶ Le 24 mars 1999 à 10 h 53, un camion circulant dans le sens France – Italie et ayant constaté qu'il dégagait de la fumée, s'immobilise à 6 700 m du péage. L'incendie, d'une gravité exceptionnelle par son fort pouvoir calorifique, a nécessité 53 heures pour en venir à bout. Le bilan humain du sinistre est de 38 victimes dont un sapeur pompier. Le rapport de la mission administrative d'enquête technique [MIS 99], chargée de l'analyse des circonstances, conclut que l'incendie est la conséquence de plusieurs causes concomitantes dont : le probable non respect des feux de consigne mis au rouge quelques minutes après l'alerte ; l'absence de galerie de sécurité permettant de faciliter l'arrivée des secours ou l'évacuation de personnels bloqués dans des refuges ; les difficultés de coordination dues à l'existence de deux postes de commande distincts (un à la tête Italie et un à la tête France) et à l'exploitation du tunnel par deux sociétés différentes ; la non adaptation des consignes de sécurité (datant de 1985 et non appropriées aux incendies) ; l'insuffisance d'exercices incendie ; l'insuffisance de moyens de première intervention.

La mission a proposé, en étroite collaboration avec la mission italienne, des recommandations destinées à "éviter l'enchaînement tragique des séquences qui vont de l'incident technique à la catastrophe" dont nous citerons : la mise en place d'un système de détection automatique d'incidents ; la mise en place d'un poste de commande unique ainsi qu'une gestion unique de l'ensemble des installations ; la mise en place d'un dispositif technique d'aide à l'exploitation permettant de connaître en permanence le nombre de véhicules présents dans le tunnel afin d'assurer la rapidité et la fiabilité des premières mesures à prendre par l'exploitant ; la sécurisation des réseaux à l'intérieur du tunnel, afin d'assurer la communication indispensable en cas de crise ; l'organisation par l'exploitant d'un service de première intervention identique sur chaque plate-forme, permettant une intervention permanente et susceptible d'intervenir dans les cinq minutes suivant l'alerte ; la constitution par l'exploitant d'un plan de secours interne s'appuyant sur un diagnostic de sécurité, composé de fiches réflexes communes et bilingues, et prévoyant les conditions d'alerte des services publics, les formations continues des secouristes et les exercices à réaliser.

- le système cible impacté : les personnes, les biens ou l'environnement ;
- le caractère obligatoire (Code du travail, Directive SEVESO, etc.) ou volontaire (Système de Management Environnemental ou SME) des mesures prises.

Hors situation dégradée, l'aspect organisationnel revêt un caractère préventif. Selon [GEI et al. 98], il comprend la mise en place de deux programmes distincts :

- un programme sécurité pour la prise en compte de l'environnement, de l'hygiène, de la sécurité et des conditions de travail²⁷ au regard des risques propres à l'activité de l'entreprise ;
- un programme sûreté pour la prise en compte des sources de dangers externes (environnement géographique et périmètre extérieur) et internes à l'entreprise (contrôle d'accès, périmètre intérieur, protection du patrimoine).

S'agissant des industries à risques (voir § II.3.6), le programme sécurité environnement repose sur la réglementation en vigueur en matière de protection de l'environnement. Chaque installation fait l'objet d'un dossier administratif spécifique. A titre d'exemple, les établissements visés par la directive SEVESO doivent en particulier [DAN 97] : réaliser une ou plusieurs études de danger²⁸ ; établir un Plan d'Opération Interne ou POI²⁹; assurer l'information préventive des populations exposées au risque ; faire l'objet de mesures de limitation de l'urbanisation dans les zones concernées par les risques ; faire l'objet de Plan Particulier d'Intervention ou PPI. Au-delà de cet aspect réglementaire, l'entreprise a la possibilité de développer une politique environnementale et un programme d'action par la mise en place d'un Système de Management Environnemental, ou SME. Ce dernier revêt un caractère volontaire et fait l'objet des normes AFNOR³⁰.

En mode de fonctionnement dégradé, l'aspect organisationnel repose sur les notions de réactivité et de communication. Dans son ouvrage "La gestion des crises", P. LAGADEC³¹ [LAG 94] distingue trois modes de fonctionnement d'un système : la marche normale, la situation perturbée et la dynamique de crise. Il définit la crise comme "la perte de l'univers de référence" provoquée par le passage d'un état perturbé à un état de crise lors de la survenance d'un événement majeur entraînant le franchissement du seuil de déséquilibre du système. Un plan de gestion de crise (tel que le POI) vise à limiter l'extension de la crise, à gérer la désorganisation (assurer la communication et l'information vers l'interne et vers l'externe, maintenir l'activité, etc.), revenir rapidement à un état d'activité normal (assurer la reprise d'activité, rechercher de nouvelles ressources logistiques, etc.). La gestion de crise est un apprentissage permanent dont le succès est déterminé par les efforts consacrés à l'avant crise et par la capitalisation des enseignements de l'après crise [COL 87].

La prise en compte de l'avant crise conduit à développer :

²⁷ Le programme "hygiène, sécurité et condition de travail" garantit la protection des personnes et des biens. Il repose sur des aspects réglementaires divers tels que : la nature des bâtiments (Immeuble de Grandes Hauteurs, ou IGH, Etablissement Recevant du Public ou ERP, etc.), le type d'installations (installation classée, installation soumise en déclaration, etc.), le Livre 2 du Code du Travail, etc.

²⁸ L'étude de danger est réalisée par l'exploitant et est annexée à une demande d'autorisation ou d'approbation d'exploitation. Elle a pour objet d'exposer les dangers liés aux installations et les risques qu'elles occasionnent pour l'environnement et la sécurité des populations, de justifier les mesures propres à limiter ces risques, et de préciser les moyens de secours disponibles pour combattre les effets éventuels d'un sinistre.

²⁹ Le POI est un outil de gestion de situations de crise. Il est élaboré en collaboration avec les Services Incendie et de Secours, de manière préventive, afin de disposer le moment venu d'une tactique et de moyens en cas d'accident [GEI et al. 98].

³⁰ ISO-14-001 : Systèmes de management environnemental. Spécification et guide pour son utilisation ; ISO-14-004 : Systèmes de management environnemental. Lignes directrices générales concernant les principes, les techniques et les systèmes mis en œuvre.

³¹ Patrick LAGADEC est chercheur à l'Ecole polytechnique et codirecteur du groupement de recherche du CNRS sur les risques majeurs et les situations de crise post-accidentelles.

- des actions de capitalisation de connaissances et de partage d'expériences sur des situations vécues et sur des systèmes conduisant à des risques de crise ;
- actions de prévention pour réduire la probabilité de survenance des accidents majeurs conduisant à l'état de crise ;
- actions de protection destinées à limiter les conséquences d'une crise ;
- actions de préparation à la gestion de crise (élaboration de plan d'intervention, simulation, entraînement sur site, etc.).

L'après crise consiste à :

- identifier et suivre les victimes (directes ou indirectes) ;
- évaluer les conséquences de la crise (économiques, collectives, écologiques, etc.) et assurer une réponse appropriée dans les plus brefs délais ;
- tirer les enseignements relatifs au déroulement de la crise afin d'améliorer ou de corriger l'organisation, les moyens ou les consignes.

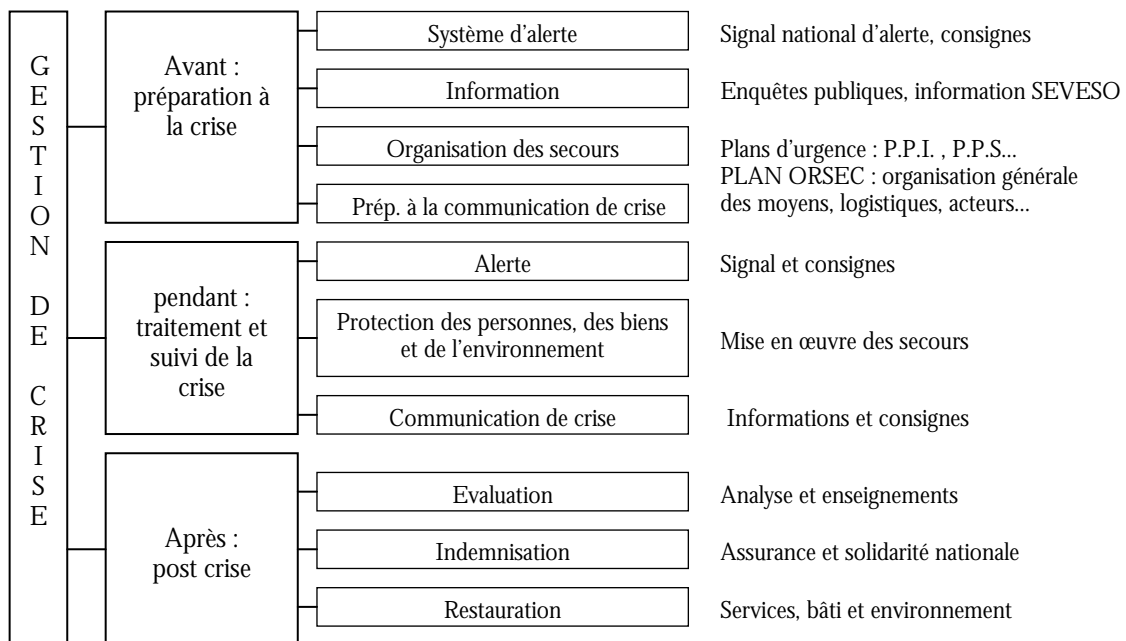


Figure III.14 : Gestion de crise – risques majeurs [MIN 90]

Aspect juridique

La réduction des conséquences juridiques liées à l'engagement de la responsabilité de l'entreprise ou de ses dirigeants peut se faire selon deux axes :

- s'assurer du respect des textes réglementaires en vigueur afin de pouvoir apporter à tout moment la preuve du caractère irréprochable du produit ou service³² ;

³² Dans le système juridique français, le critère de conformité aux normes n'est pas exonérateur de responsabilité, même si l'on peut considérer que la normalisation va dans le sens du développement de la sécurité technique.

- fixer contractuellement des clauses de transfert de risques ou d'abandon de recours sur un co-contractant de l'entreprise (sous-traitant ou fournisseur) [DAV et al. 97].

c. Traitement du risque résiduel

L'étape de traitement des risques a abouti à la mise en place de mesures techniques, organisationnelles et juridiques destinées à réduire les risques inacceptables à un niveau plus supportable pour l'entreprise. En dépit de ces mesures, et partant du constat que le risque nul n'existe pas, l'entreprise demeure sous la menace du risque résiduel. Les solutions permettant de réduire les effets de ces risques sont : le transfert total ou partiel vers d'autres acteurs économiques ou la conservation par rétention partielle ou totale.

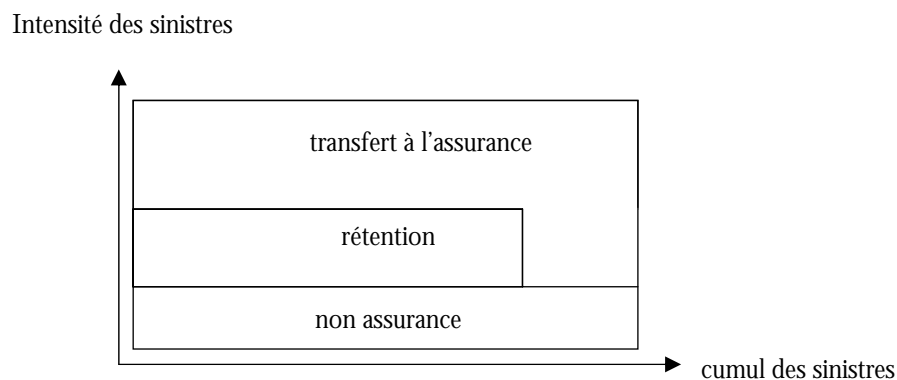


Figure III.15 : Aspect financier du traitement des risques [DAV et al. 97]

Les risques résiduels ne sont pas toujours pris en compte. Ils peuvent être ignorés ou connus mais considérés comme secondaires. Dans une telle situation, en l'absence de stratégie, aucun financement n'est prévu pour faire face à un sinistre. Concernant le cas particulier des PME/PMI, le coût supplémentaire engendré par l'assurance ou le provisionnement peut être jugé trop important. En cas de sinistre important, la capacité financière de l'entreprise conditionne son existence. Selon le propos de Mme C. CHICOYE, haut fonctionnaire au Ministère de l'industrie : "Pour ce type d'entreprise, le choix de l'assurance peut être une question de vie ou de mort" [FFSA 97].

Rétention totale ou partielle

La prise en compte des risques résiduels peut faire l'objet d'une auto-assurance par l'entreprise. Dans ce cas, l'entreprise conserve les risques dans leur totalité ou partiellement. Le choix de la rétention totale du risque est justifié dans le cas de risques de faible coût par rapport au coût de l'assurance. Cette pratique nécessite de disposer d'une capacité financière suffisante pour supporter les coûts en cas de survenance du sinistre. A cette fin, l'entreprise peut constituer des provisions. Le régime fiscal actuel considère ces provisions comme des bénéfices et ne les soumet donc pas à défiscalisation. Seules les provisions faites pour un événement survenu ou en cours de réalisation sont défiscalisables. Bloquer une partie des bénéfices est pénalisant pour l'entreprise, de fait cette solution est peu employée. La rétention partielle des risques est une pratique plus courante. Elle fixe une franchise importante (partie du coût du risque supporté par l'assuré) afin de réduire la prime d'assurance [BEN et al. 94].

Captives d'assurance et de réassurance

Les captives d'assurance sont des sociétés d'assurance filiales de grands groupes, situées dans des pays à la fiscalité avantageuse. Elles provisionnent des capitaux versés sous la forme de primes afin de cons-

tituer des réserves financières suffisantes pour assumer un sinistre. Ce procédé offre deux avantages. D'une part, les primes versées sont déductibles des bénéfices et défiscalisables. D'autre part, les capitaux ainsi constitués bénéficient des avantages financiers du pays d'accueil, échappant de fait aux régimes fiscaux moins favorables de l'entreprise (la plupart des "paradis fiscaux" offrent la possibilité de provisionner pour sinistre, en franchise d'impôt, jusqu'à des montants très supérieurs à l'ensemble des primes versées annuellement). En cas de sinistre survenu ou en cours de réalisation et couvert par la captive, les capitaux peuvent être rapatriés en franchise d'impôt. La captive d'assurance permet également de garantir des risques refusés par les assureurs, par la définition de clauses spécifiques par l'entreprise [DAV et al. 97], [BEN et al. 94].

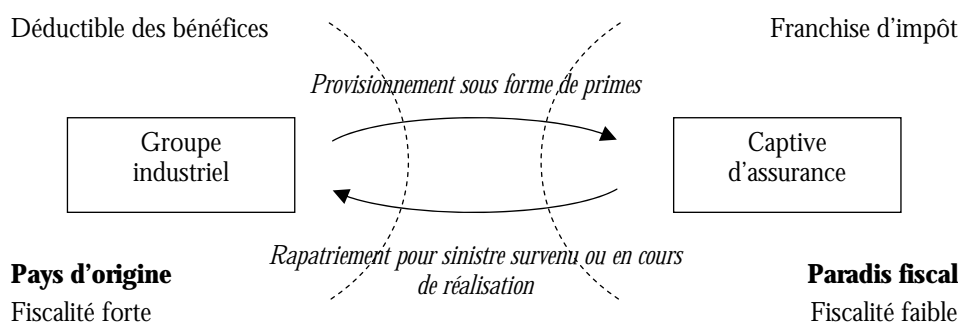


Figure III.16 : Captives d'assurance

Les captives de réassurance réassurent les compagnies d'assurance auxquelles s'adresse en premier lieu l'entreprise, permettant ainsi de collecter un grand nombre de primes et de provisionner d'importantes capacités financières³³.

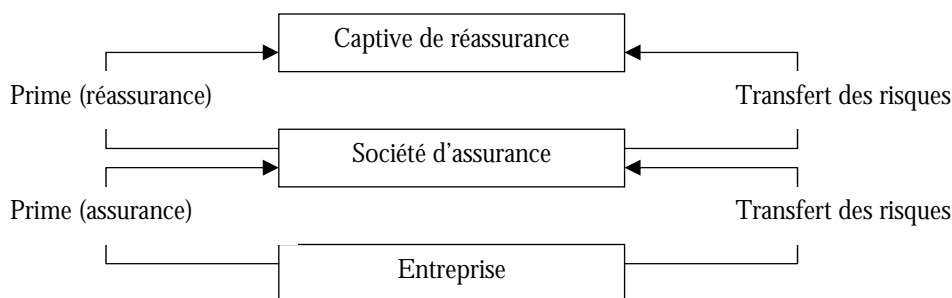


Figure III.17 : Captive de réassurance

Mutuelles professionnelles

Les mutuelles ont un mode de fonctionnement similaire à celui d'une assurance. Elles ont pour vocation d'assurer des risques similaires. Elles regroupent un ensemble de personnes ou d'entreprises³⁴.

³³ Les captives de réassurance correspondent au "montage" le plus fréquent.

³⁴ L'accord TOVALOP, signé en 1969 à Londres par les grandes compagnies pétrolières, prévoit que les propriétaires de navire qui y adhèrent soient couverts pour les dépenses de nettoyage et de prévention de dommage, à concurrence de 160 \$ par tonneau de jauge, la garantie ne pouvant dépasser 16,8 millions de dollars. Cet accord

Chaque adhérent verse une prime, réévaluée annuellement en fonction de la sinistralité de l'année précédente.

Transfert des risques au marché de l'assurance

Comme le souligne C. MARMUSE, "l'assurance est essentiellement l'un des moyens de contrôle du risque pur" [MAR et al. 89]. L'assurance est un mécanisme de transfert contractuel des risques. L'assurabilité des risques détermine leur transfert au marché de l'assurance (voir § II.3.4.4). Selon B. BERLINER, un risque est assurable s'il satisfait un certain nombre de critères dont : le caractère aléatoire de la survenance du sinistre, la perte maximale possible, le montant des pertes moyennes, la période moyenne entre deux survenances de sinistres, la prime d'assurance, le risque moral, la politique publique, les restrictions légales et la limite de couverture [BER 82], [DEM 96]. Ainsi, selon N. DE MARCELLIS et à la lumière du modèle de B. BERLINER, le niveau d'assurabilité d'un risque peut être défini de la manière suivante : "un risque est d'autant plus assurable que les pertes surviennent de manière purement aléatoire, que son sinistre maximum n'est pas catastrophique, que le rapport entre sinistre moyen et la survenance est faible, que les sinistres ne surviennent pas trop fréquemment (frais de gestion importants), ni trop rarement (pas de statistique), que la prime est calculable et suffisamment élevée, qu'il n'y a pas trop de risque moral, que la couverture est compatible avec l'ordre public et que la loi autorise la couverture".

Nous différencierons l'assurance dommages (assurance des actifs de l'entreprise) de l'assurance de Responsabilité Civile ou RC³⁵. L'assurance dommage garantit un événement aléatoire qui placerait le souscripteur au rang des victimes du fait de dommage affectant ses propres biens. L'assurance de RC garantit un événement aléatoire qui engagerait la responsabilité du souscripteur envers la victime [DAV et al. 97]. L'assurance dommage couvre les actifs de l'entreprise, à savoir les biens de l'entreprise et les pertes pécuniaires (pertes d'exploitation) consécutives à des dommages directs et pour une durée déterminée par l'exploitant. Les produits de l'assurance des actifs de l'entreprise comptent en particulier : l'assurance incendie (assurance multirisques obligatoire couvrant les dommages après incendie, la chute de la foudre, l'explosion, les mesures de sauvetage employés, les catastrophes naturelles et les attentats) ; l'assurance crédit-caution contre le risque d'insolvabilité. L'assurance RC couvre les dommages causés aux tiers du fait des activités de l'entreprise et comprend en particulier : l'assurance RC exploitation (couvre les responsabilités encourues par l'entreprise du fait de ses activités professionnelles et lors de travaux) ; l'assurance RC pollution ; l'assurance RC produits livrés (couvre les responsabilités liées à des vices ou des défauts de produit).

2.3.5 Suivi et capitalisation

La phase de suivi et de capitalisation regroupe divers composantes essentielles à la gestion des risques. Nous aborderons d'abord le suivi et maintien du niveau de maîtrise des risques, puis l'aspect gestion de l'information comprenant la capitalisation de connaissances, le Retour d'EXpérience et la veille.

2.3.5.1 Suivi des actions et maintien du niveau de maîtrise

L'efficacité des mesures de réduction retenues en phase de traitement des risques est conditionnée par **le suivi rigoureux de leur mise en œuvre et la continuité du processus de gestion des risques** (condition nécessaire au maintien du niveau de maîtrise des risques et à la prise en compte de l'évolution de l'entité considérée).

est complété par le Plan CRISTA : un fond alimenté par les industriels du pétrole qui peut couvrir 135 millions de dollars par événement. En 1978 entre en vigueur la FIPOL, Convention de Bruxelles créant un fond international d'indemnisation pour les dommages dus à la pollution d'hydrocarbures. Ce fond est alimenté par les états signataires et supportés par les compagnies pétrolières via une taxe parafiscale.

³⁵ Les autres produits de l'assurance (assurance financière, produits "finites", etc.) ne seront pas abordés.

Les responsables des mesures de réduction ont en charge leur mise en œuvre et leur suivi, ce qui comprend : l'analyse des résultats obtenus, l'évaluation des risques diminués (nouvelle itération du processus de gestion) et la documentation associée (capitalisation des connaissances et REX) [GAR 94]. Le maintien du niveau de maîtrise est assuré par l'information, la communication et la formation. L'information et la communication ont une double vocation : sensibiliser l'ensemble des membres de l'organisation et développer une gestion des risques participative par une intégration du personnel et du public au processus de décision [BRE1 et al. 94]. La formation et l'entraînement sont nécessaires au maintien de qualification des unités opérationnelles chargées des moyens de gestion de crise. Les contrôles de suivi et de niveau de maîtrise peuvent être assurés par des actions ponctuelles telles que l'audit, ou bien par la mise en place d'indicateurs de suivi, sous la forme de tableaux de bord. L'utilité de ces actions est multiple. L'audit apporte un regard extérieur. Les tableaux de bord favorisent un suivi intégré à la politique de l'entreprise, mesurant l'évolution du niveau de risque, les efforts engagés, les résultats atteints, etc. [BEN et al. 94].

Concernant les risques liés à un projet, les notions de suivi et d'état d'avancement sont centrales puisqu'au cœur des principes de gestion et de management. Ainsi, les informations recueillies au fur et à mesure du déroulement du projet entraînent une réévaluation "dynamique" du portefeuille de risques [COU 98].

2.3.5.2 Capitalisation des connaissances et retour d'expérience

Nous l'avons évoqué à plusieurs reprises, la capitalisation des connaissances représente un véritable enjeu pour l'entreprise. Cette prise de conscience a conduit au développement de méthodes et techniques regroupées sous les vocables "mémoire d'entreprise, retour d'expérience, management de la technologie, bases de données techniques, etc." et visant le même objectif, celui de la réduction des coûts [BES 98]. La capitalisation des connaissances est un domaine extrêmement vaste. Nous nous limiterons au champ d'étude qui nous concerne, à savoir la documentation et le REX liés aux risques, tout en gardant à l'esprit que cet aspect s'inscrit dans un objectif de gestion et de capitalisation du patrimoine informationnel de l'entreprise. La description précédente montre le caractère fondamental de l'information dans la gestion des risques. Il ne peut y avoir de gestion des risques en l'absence d'une gestion de l'information. Comme le souligne M. MALEK³⁶, la gestion de l'expérience, partie intégrante de la gestion des dangers, signifie [MAL 98] :

- conserver l'information en mémoire en organisant la collecte des données ;
- aider à comprendre par le REX (analyse des événements et des actions) ;
- utiliser l'expérience comme outil d'enseignement ou d'adaptation des anciennes solutions³⁷.

Le REX a pour objet de saisir et de mémoriser les événements anormaux (incident, presque-accident, accident) par une analyse détaillée, une recherche des causes et une description des solutions appliquées, de manière à en tirer les enseignements, corrections et améliorations pour éviter qu'ils ne se reproduisent [VER 99]. La mise en place d'une gestion de l'information (collecte, documentation et REX) permet de constituer des bases de données historiques (internes à l'entreprise) ou des banques de données d'accidents³⁸ (accessibles à tous) permettant la mise en œuvre de raisonnements à partir de cas ou sur l'expérience [VER 99].

³⁶ Maria MALEK est docteur en informatique de l'Université de Grenoble, responsable scientifique du Pôle Cindyniques de l'Ecole des Mines de Paris.

³⁷ La réutilisation de solutions est un fondement du Raisonnement à base de Cas (ou Case Based Reasoning).

³⁸ En France, le Bureau d'Analyse des Risques et des Pollutions Industrielles ou BARPI, appartenant à la Direction de la Prévention des Pollutions et des Risques, ou DPPR, du Ministère de l'aménagement du territoire et de l'environnement a créé une banque de données nommée ARIA comportant (fin 1999) 13 000 événements analysés sous divers aspects.

2.3.5.3 Veille

La veille et plus largement l'Intelligence Economique (ou IE) entrent dans les éléments moteurs du développement économique et politique de l'entreprise. Restreint à la gestion des risques, l'évolution des techniques, des réglementations, des normes, des pratiques de la concurrence, etc. sont des indicateurs qu'il convient de réévaluer périodiquement afin de ne pas se laisser "surprendre" par le fait accompli. L'instauration d'une cellule de veille permettra d'accroître le flux d'informations pertinentes recueillies et facilitera l'anticipation des évolutions majeures de l'environnement d'entreprise.

3 Principales méthodes d'analyse des risques

Depuis les années 1960, les méthodes d'analyse des risques connaissent un fort développement en nombre, ainsi qu'une spécialisation en fonction de leurs domaines d'application. Ce paragraphe se veut illustratif des principes de gestion décrit précédemment. A cette fin, nous détaillons de manière succincte quelques méthodes issues de la sûreté de fonctionnement et ayant donné lieu au développement de nouvelles méthodes. Au préalable, il nous semble utile d'introduire les approches sur lesquelles repose leur développement, à savoir les approches déterministes et probabilistes, dont la mise en œuvre conjointe permet de gérer des situations diverses et complexes³⁹.

3.1 Approches déterministes et probabilistes

D'une manière générale, l'évaluation du risque est probabiliste (voir § II.3.3). Toute analyse de risques qui se veut aussi exhaustive que possible ne peut se priver d'éléments d'incertitude, qui plus est, la notion d'acceptabilité a également facilité la promotion de cette démarche. Toutefois, s'agissant de la sûreté de fonctionnement d'une installation ou d'un système présentant des risques industriels, l'approche déterministe reste l'approche privilégiée.

3.1.1 Approche déterministe

Dans le domaine de la gestion des risques, **les approches déterministes se concentrent sur l'évaluation des conséquences d'un accident**. La maîtrise des risques consiste alors à s'assurer de la maîtrise des conséquences à l'aide de techniques de modélisation (modèle physique, modèle de contrainte) et de calcul déterministe (à partir de scénarios d'accidents⁴⁰). Concernant la prise en compte de scénarios d'accidents, la complexité des situations, les difficultés de modélisation ou la non nécessaire compréhension globale de l'ensemble des phénomènes régissant le système peuvent justifier le fait de ne retenir qu'un ensemble de cas type [BRE2 et al. 94]. Du fait de l'absence d'éléments d'incertitude, la qualité de cette approche est conditionnée par l'état des connaissances et ne peut donc satisfaire l'analyse des risques émergents et liés à des situations nouvelles, complexes et non entièrement maîtrisées.

3.1.2 Approche probabiliste

Les approches probabilistes reposent sur l'estimation de la probabilité de survenue d'un événement non souhaité [BRE2 et al. 94]. Dans ce sens, **la maîtrise des risques consiste alors à démontrer que la probabilité de survenue est maintenue à des valeurs acceptables**, si besoin est par la mise en place de mesures destinées à les réduire (voir § III.2.3.4). L'évaluation des risques repose alors sur une analyse probabiliste des indices de probabilité et de conséquence (à partir de scénarios). Bien que ren-

³⁹ La politique de gestion du risque nucléaire s'appuie simultanément sur les deux approches.

⁴⁰ L'évaluation déterministe du risque sismique d'un site industriel est basée sur l'hypothèse d'un scénario pénalisant et vise à mesurer l'incidence de la plus forte secousse. L'incertitude liée à l'hypothèse initiale est négligée.

due inconfortable du fait de la prise en compte d'éléments d'incertitude⁴¹, cette approche a été largement développée sur l'appellation Evaluation Probabiliste de Risques ou EPR⁴² (de l'anglais Probabilistic Risk Assessment ou PRA) dans les domaines du nucléaire, du pétrole⁴³ et de la chimie.

3.2 Méthodes de la sûreté de fonctionnement

Les méthodes citées ci-dessous font l'objet d'une description détaillée dans l'ouvrage de A. VILLEMEUR "Sûreté de fonctionnement des systèmes industriels" [VIL 88].

3.2.1 Principales méthodes

3.2.1.1 Analyse Préliminaire des Dangers

L'Analyse Préliminaire des Dangers ou APD (en anglais Preliminary Hazard Analysis ou PHA) a été développée aux Etats-Unis, au début des années 1960, pour l'analyse de sécurité de missiles à propergols liquides. Elle a ensuite été formalisée et employée dans les secteurs de la chimie⁴⁴, du nucléaire et de l'aéronautique.

a. Objectifs et principe

L'APD est une méthode inductive, déterministe et qualitative. Ses objectifs sont : identifier les dangers et leurs causes, évaluer la gravité des conséquences liées aux situations dangereuses et aux accidents potentiels. L'identification des dangers repose sur l'expérience et le jugement d'experts, guidés par l'utilisation des listes préétablies. La gravité des effets des défaillances est appréciée par une échelle de mesure qualitative comprenant généralement quatre moments.

conduite d'immeuble	exploitation	produit gaz conduite plomb	feu poubelle	incendie immeuble	fusion conduite	incendie gaz	points chauds fuite gaz critique	régulateur déclencheur	efficacité partielle
système / fonction	phase	entités dangereuses	événement cause situation dangereuse	situation dangereuse	événement cause accident potentiel	accident potentiel	effets / conséquences	gravité	mesures préventives
									application de ces mesures

Tableau III.3 : Exemple de tableau APD

⁴¹ L'évaluation probabiliste du risque sismique intègre des éléments d'incertitude liés à l'aléa sismique d'une région [MIN 90].

⁴² La première EPR fut réalisée pour les centrales nucléaires américaines de Surry 1 et de Peach Bottom 2, de 1972 à 1975 et demeure encore une référence en termes de méthode et de résultat [REA 75].

⁴³ Elisabeth PATE-CORNELL, professeur à l'Université de Standford (USA) a largement contribué au développement des méthodes PRA, en particulier au travers de ses travaux de recherche sur le développement de modèles de management dynamique des risques des plates-formes pétrolières [PAT 98].

⁴⁴ En France, l'Union des Industries Chimiques recommande l'APD depuis le début des années 1980.

b. Limites

L'APD peut être utilisée pour la conception de systèmes nouveaux ou l'étude de systèmes existants. Sa simplicité permet une analyse macroscopique des dangers. L'APD constitue une étape préliminaire à la réalisation d'une étude de sûreté de fonctionnement plus détaillée. Comme le souligne G.Y. KERVERN, l'APD "est un premier dégrossissage".

3.2.1.2 Analyse des Modes de Défaillance et de leurs Effets

L'Analyse des Modes de Défaillance et de leurs Effets, ou AMDE (en anglais Failure Modes and Effects Analysis ou FMEA), a été introduite dans l'aviation, au début des années 1960. Elle s'est généralisée à de nombreux domaines : elle est réglementaire à l'étude de la sécurité des avions en France et aux Etats-Unis ; elle est recommandée dans le domaine nucléaire aux Etats-Unis (à la suite de l'accident de Three Mile Island) ; elle est largement utilisée par Electricité de France dans le nucléaire.

a. Objectifs et principe

L'AMDE est une méthode inductive, déterministe ou probabiliste, qualitative d'analyse des causes et des effets. Elle permet une identification et une évaluation des effets sur la disponibilité, la fiabilité, la maintenabilité, l'intégrité ou la sécurité des modes de défaillance de chaque composant d'un système, pour chaque fonction du système. Elle est composée de trois phases [GAR 94] :

- analyse qualitative des défaillances (recensement des modes de défaillance, recherche des causes de défaillance, étude des effets, recensement des moyens de détection) ;
- plan d'action ;
- suivi des actions.

b. Analyse des Modes de Défaillance, de leurs Effets et de leur Criticité

Analyse des Modes de Défaillance, de leurs Effets et de leur Criticité, ou AMDEC (de l'anglais Failure Modes, Effects and Criticality Analysis ou FMECA), est une AMDE complétée d'une estimation quantitative de l'importance des conséquences d'un mode de défaillance. A la phase d'analyse qualitative des défaillances succède une phase d'analyse quantitative composée de l'estimation des facteurs de fréquence, gravité et non-détection, et de détermination de criticité.

c. Limites

L'AMDE(C) est avant tout une méthode d'analyse de systèmes statiques (systèmes au sens large composés d'éléments fonctionnels ou physiques, matériels, logiciels, humains ...). AMDE et AMDEC sont généralement différenciées en AMDE(C) produit et AMDE(C) procédé. L'AMDE(C) produit est centrée sur l'optimisation de la fiabilité. L'AMDE(C) procédé peut concerner un moyen de production, une séquence d'opérations, etc. L'AMDE(C) est l'une des méthodes les plus répandues et l'une des plus efficaces, toutefois la lourdeur et le coût de son application (analyse de chaque sous-système) restent sa principale critique⁴⁵. Il est en outre difficile de l'exploiter dans le cadre de systèmes complexes, tant le volume d'informations à traiter est important [COU 98]. Enfin, les limites de cette méthode sont également liées aux pré-requis nécessaires à son utilisation. En effet, comme l'APD, l'AMDE(C) repose sur l'expertise et la capitalisation de savoir-faire nécessaire à l'analyse des défaillances. L'AMDEC nécessite également de disposer de données statistiques.

⁴⁵ Conduire des AMDEC fonctionnelles permet de pallier à cette difficulté. Cette approche permet de détecter les fonctions les plus critiques et de limiter ensuite "l'AMDEC produit" aux composants qui réalisent ces fonctions. Notons également que cette difficulté a également donné lieu au développement d'autres méthodes dont la mé-

sous-système, composant, élément						Conditions existantes			mesures préconisées						
désignation repère, type, lieu	fonction	mode de défaillance	cause possible	effet potentiel		moyens de détection	F	G	N D	criticité	recom- mandation	F	G	N D	Criticité
				local	zone										

Tableau III.4 : Exemple de tableau AMDEC

3.2.1.3 Méthode de Diagramme de Succès

La Méthode de Diagramme de Succès ou MDS (de l'anglais Reliability Block Diagram Method ou Success Diagram Method), également appelée Diagramme de Fiabilité, est la première méthode à avoir permis des calculs de fiabilité. Elle a donné lieu à la Méthode de Décompte des Composants ou MDS, appliquée aux circuits reliant des composants.

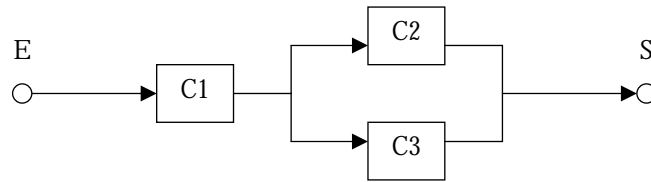


Figure III.18 : Modélisation MDS

a. Objectif et principe

La méthode MDS a pour objectif de représenter le fonctionnement d'un système en s'intéressant à ses fonctions. La modélisation d'une fonction se fait par l'intermédiaire de blocs (représentant un composant, sous-système, etc.) et selon les règles suivantes :

- les blocs dont la défaillance entraîne celle du système sont placés en série ;
- les blocs dont la défaillance conjointe entraîne celle du système sont placés en parallèle.

b. Limites

La modélisation MDS est simple. Elle est adaptée à des systèmes peu complexes (généralement non réparables). Basée sur une analyse fonctionnelle, elle n'exige aucune analyse détaillée (causes de défaillance, cheminement, combinaisons, etc.). Elle trouve ses limites dans cette absence de précision⁴⁶.

3.2.1.4 Méthode de l'Arbre des Causes

La méthode MAC est aussi connue sous le nom d'Arbre de Défaillances (de l'anglais Fault Tree). Elle a été développée au début des années 1960 par la société Bell Telephone. Elle fut formalisée par Boeing et devint la méthode d'analyse de la fiabilité, de la disponibilité et de la sécurité des systèmes.

thode HAZard and OPerability study, ou HAZOP, née dans la chimie anglaise au début des années 1970 et dédiée aux systèmes véhiculant des fluides.

⁴⁶ Historiquement, la Méthode de l'Arbre des Causes ou MAC a été élaborée pour remédier à ces imprécisions [VIL 88].

a. Objectifs et principe

La méthode MAC est une méthode déductive et probabiliste. Elle permet d'identifier les combinaisons de défaillances possibles (combinaisons possibles d'événements) dont l'enchaînement entraîne la réalisation d'un événement non souhaité unique. La modélisation associée est un diagramme à structure arborescente, reposant sur un symbolisme défini. L'arborescence est élaborée en trois étapes :

- construction : structure par niveaux successifs d'événements tels que chaque événement *père* est généré par une combinaison logique d'événements *fil*s. Les opérateurs logiques sont le ET logique et le OU logique ;
- simplification : l'arborescente est simplifiée par développement des diverses combinaisons de défaillances et simplification sous forme minimale par l'utilisation des règles de l'algèbre de BOOLE. Les coupes minimales⁴⁷ ainsi obtenues sont classées selon le nombre de défaillances qu'elles contiennent (une défaillance multiple est généralement moins probable qu'une défaillance simple) ;
- quantification : application des probabilités d'occurrence des événements initiateurs pour le calcul de probabilité d'occurrence de l'événement non souhaité.

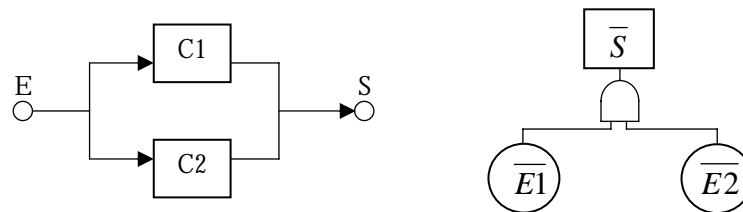


Figure III.19 : Modélisation MDS / MAC

A titre d'exemple, la figure III.19 montre l'équivalence entre les modélisations MDS et MAC pour le cas simple d'un système composé de deux blocs montés en parallèle. L'événement de sortie \bar{S} de la porte ET est généré si les événements d'entrée $\bar{E1}$ et $\bar{E2}$ sont présents simultanément. L'événement \bar{Ei} est généré en cas de défaillance du bloc Ci correspondant.

b. Limites

La méthode MAC est la méthode la plus utilisée pour l'analyse de fiabilité des systèmes. Toutefois, elle présente certaines limites :

- il est plus difficile de recenser les causes d'un mode de défaillance (approche déductive) que d'en connaître les effets (approche inductive). Aussi, la méthode MAC peut être facilitée par une analyse préliminaire (APD, AMDE par exemple)⁴⁸ ;
- elle repose sur l'hypothèse d'une indépendance des événements de base ;
- elle est peu adaptée à l'analyse de systèmes complexes présentant de nombreux systèmes élémentaires en interaction [VIL 88], [BEN et al. 94] ;
- enfin, elle ne permet pas la prise en compte de l'aspect temporel (scénarios d'événements).

⁴⁷ Une coupe (en anglais "cut set") est un ensemble d'éléments dont la panne entraîne la panne du système. Une coupe minimale (en anglais "minimal cut set") est une coupe ne contenant aucune autre coupe.

⁴⁸ Le lecteur trouvera dans l'ouvrage de A. VILLEMEUR divers exemples illustrant la nécessité de coupler les démarches inductives et déductives pour l'analyse d'un système [VIL 88].

3.2.1.5 Méthode de l'Arbre des Conséquences

La méthode de l'Arbre d'Evénements, ou MAE (de l'anglais Event Tree), est également appelée Méthode de l'Arbre des Conséquences ou MACQ. Elle fut employée pour la première fois dans le milieu des années 1970 pour l'évaluation du risque d'exploitation des centrales nucléaires aux Etats-Unis. Elle est depuis utilisée dans le cadre des Evaluations Probabilistes de Risque ou EPR.

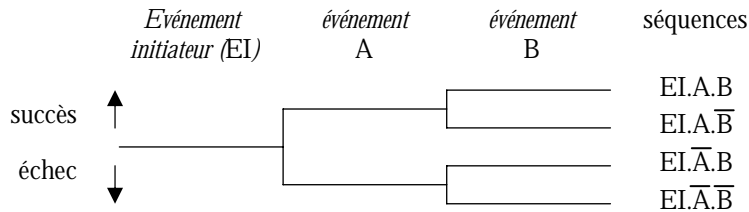


Figure III.20 : Arbre des conséquences

La méthode MACQ permet d'identifier et d'évaluer des séquences d'événements⁴⁹ (ou scénarios). MACQ est par définition une méthode inductive (l'élaboration de l'arbre des conséquences peut toutefois être menée de manière déductive), probabiliste (les scénarios d'accident sont évalués de manière qualitative ou quantitative). Elle permet la prise en compte de dépendances entre événements. Elle peut être employée conjointement à la méthode MAC⁵⁰.

Méthode	A priori / A posteriori		Démarche		Identification		Identification						Evaluation			
	○	o	Inductive	Déductive	Dangers	Causes	Conséquences	Evénements	Scénarios	Evénements dépendants	Défaillances multiples	Déterministe	Probabiliste	Qualitative	Quantitative	
Brainstorming	○	o														
Interviews	○	o														
APD			x		○	○	o					x		x		
AMDE			x			○	○	o				x	x	x		
AMDEC			x			o	○	o				x	x	x	x	
MAC				x		○	o	o	x		x		x	x	x	
MACQ			x	x			○	o	x	x	x		x	x	x	

○ : objectif principal, o : objectif, x : oui.

Tableau III.5 : Synthèse des principales méthodes d'analyse des risques

3.2.2 Méthodes basées sur l'analyse des processus stochastiques

Nous avons évoqué l'importance de l'observation lors de la modélisation d'un système. La plupart des systèmes ont un comportement dynamique. Ce dernier se caractérise par des transitions d'états de du-

⁴⁹ La méthode MACQ est dérivée de la méthode des arbres de décisions (de l'anglais decision trees).

⁵⁰ De la combinaison des méthodes MAC et MACQ est née la Méthode du Diagramme Causes – Conséquences, ou MDCC élaborée au début des années 1970 comme une aide à l'analyse de fiabilité et de risque des centrales nucléaires dans les pays scandinaves.

rée aléatoire et régis par divers phénomènes (défaillance, réparation, etc.). La modélisation de ce type de comportement, dit stochastique, peut être réalisée à l'aide de méthodes basées sur les processus stochastiques. Les méthodes telles que les chaînes de Markov, les réseaux de Petri ou la simulation de Monte-Carlo ont été développées spécifiquement pour ce type de système [LER et al. 92].

3.2.2.1 Chaînes de Markov

Les chaînes de Markov sont des outils de représentation analytique des transitions d'états d'un système. Elles permettent de tenir compte des dépendances entre les différents éléments d'un système. Leur représentation est graphique. Les graphes de Markov sont régis par les règles suivantes :

- à chaque sommet du graphe correspond un état du système (si pour chaque élément l'ensemble des états possibles est : {marche, panne} et si le système compte n éléments, le nombre maximal d'état est 2^n) ;
- à chaque arc du graphe correspond une transition d'états ;
- chaque arc (i, j) est valué par le taux de transition (constant) de l'état i à l'état j ;

La Méthode de l'Espace des Etats, ou MEE (de l'anglais State Graph Method), a été développée sur la base des processus de Markov pour l'analyse de sûreté de fonctionnement de systèmes réparables.

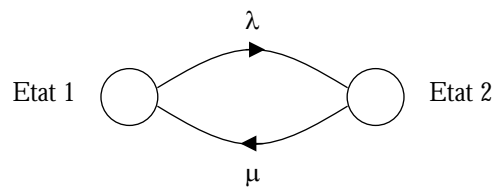


Figure III.21 : Graphe d'état d'un système à un composant

A titre d'exemple, la figure III.21 présente le graphe d'état d'un système à un composant. L'état de marche est représenté par l'état 1., l'état de panne par l'état 2. Le taux de défaillance du composant est représenté par λ . Le taux de réparation du composant est représenté par μ .

3.2.2.2 Réseaux de Petri

Les Réseaux de Petri ou RdP ont été développés à la fin des années 1960 pour décrire le comportement des systèmes automatisés et des systèmes informatiques [LER et al. 92], [COU 98] et font encore l'objet de développement. Les RdP permettent de modéliser et de simuler le comportement de systèmes complexes. Le comportement dynamique est modélisé par un graphe orienté marqué, composé de places, de transitions et de marques, définies de la manière suivante :

- à chaque place (représentée graphiquement par un cercle) correspond une condition sur l'état du système. Une place peut être marquée par une ou plusieurs marques ;
- à chaque transition (représentée graphiquement par une barre) correspond un changement d'état possible ;
- chaque couple (place, transition) ou (transition, place) est relié par un arc pondéré ;

L'évolution du système est représentée par le mouvement des marques d'une place à l'autre selon les règles régissant le franchissement d'une transition :

- une transition est dite franchissable si l'ensemble des places qui la précèdent contiennent un nombre de marques supérieur ou égal à la pondération de l'arc les reliant ;

- le franchissement d'une transition entraîne la modification des marques des places qui participent à la transition : le nombre de marques des places en amont est diminué de la pondération de l'arc (place, transition) et le nombre de marques des places en aval est augmenté de la pondération de l'arc (transition, place).

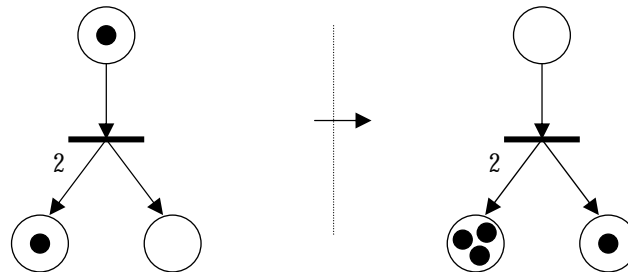


Figure III.22 : Réseau de Pétri - Evolution du marquage

3.2.3 Méthodes d'analyse des accidents

La gestion des risques est issue de la nécessité de prévenir les accidents technologiques majeurs. Les méthodes d'analyse des accidents reposent sur une représentation logique de l'accident à l'aide de modèles représentant à la fois les relations de causalité et les relations d'influence expliquant l'accident [ABR 96]. Parmi ces méthodes, nous retrouvons la Méthode de l'Arbre des Causes ou bien des méthodes de la théorie de la décision telles que les Arbres de Décision ou les Diagrammes d'Influence [HUS et al. 97]. L'analyse des accidents vise à identifier les actions de prévention possibles. A cette fin, ces objectifs sont doubles. D'une part, d'établir une représentation du mécanisme causal de l'accident afin d'identifier des actions de prévention. D'autre part, collecter l'ensemble des informations (faits, causes, circonstances, etc.) nécessaires au règlement administratif et légal de l'accident. Parmi les nombreuses méthodes d'analyse des accidents, citons la méthode Management Oversight and Risk Tree ou MORT. La méthode MORT a été développée par la commission d'énergie atomique américaine. Son processus de modélisation du mécanisme accidentel comprend une représentation des relations de causalité et une compréhension du rôle de l'organisation. Il repose sur :

- l'analyse des transferts d'énergie non désirés : "l'accident est directement provoqué par des sources d'énergie incontrôlées qui excèdent les capacités de résistance des systèmes touchés" [ABR 96] ;
- la prise en compte des erreurs humaines.

La représentation graphique de la méthode MORT permet de modéliser différentes séquences d'événements dont les flux d'énergie, les erreurs et les conséquences de l'évolution du système. A l'image de la méthode de l'Arbre des Causes, son formalisme comprend les portes logiques ET Logique et OU Logique.

3.2.4 Méthode d'Evaluation Prévisionnelle de la Fiabilité Humaine

Jusque dans les années 1960, les techniques d'Analyse et d'Evaluation Probabiliste de Risques n'ont considéré que des aspects techniques de la sûreté des systèmes. L'intégration du facteur humain a conduit au développement des méthodes d'Evaluation Prévisionnelle de la Fiabilité Humaine ou EPFH, permettant la prise en compte de l'intervention humaine et de leur conséquence sur le fonctionnement du système.

La fiabilité humaine repose sur de nombreux concepts dont le principal est l'erreur humaine, définie comme "l'écart entre le comportement de l'opérateur et ce qu'il aurait dû être, cet écart dépassant des

limites d'acceptabilité dans des conditions données" [VIL 88]. Selon A. VILLEMEUR, les EPFH ont un déroulement itératif et sont généralement composées de cinq étapes : recherche des erreurs humaines potentielles ; sélection des erreurs pertinentes ; analyse détaillée des erreurs pertinentes ; intégration à la modélisation ; quantification. L'EPFH est une démarche complémentaire aux études de sûreté des systèmes matériels. La modélisation résultante est composée de défaillances matérielles et de défaillances humaines.

4 Méthode Organisée Systémique d'Analyse de Risques

La méthode MOSAR est née des travaux de P. PERILHON⁵¹ et d'une réflexion menée par le groupe de travail Méthodologie d'Analyse des Dysfonctionnements dans les Systèmes, ou MADS⁵², réunissant les acteurs du Commissariat à l'Energie Atomique (ou CEA) de Grenoble, l'Institut National Supérieur des Techniques Nucléaires (ou INSTN) et l'IUT Hygiène, Sécurité, Environnement de Bordeaux. Développée au début des années 1980, elle a été appliquée avec succès dans de grandes structures telles que EDF et le CEA. La méthode MOSAR est une démarche :

- structurée, qui permet notamment, par le biais de l'analyse systémique [LE M 77], de prendre en compte les interfaces entre les éléments constituant de l'entité considérée et d'avoir ainsi une vue globale et non réductrice [PER 96], [GAR et al. 99] ;
- graduelle et progressive, "fonctionnant par paliers avec possibilité de s'arrêter provisoirement ou définitivement à chaque palier" en fonction de l'entité considérée et des objectifs visés ;
- participative, car menée par un groupe de travail pluridisciplinaire, capitalisant les savoir-faire et faisant appel à l'imagination et à l'expérience.

La méthode MOSAR complète les méthodes traditionnelles d'analyse des risques (voir § III.3) qui, la plupart du temps, "sont mises en œuvre de manière fragmentaire, sans démarche guide" [PER 96].

4.1 Objectifs

L'objectif principal de la méthode MOSAR est d'identifier les dysfonctionnements issus de l'entité considérée ou de son environnement et dont les enchaînements peuvent conduire à un Événement Non Souhaité, ou ENS⁵³, susceptible d'atteindre un système cible⁵⁴. Plus largement, la méthode MOSAR cherche à "identifier, évaluer, maîtriser, gérer les processus de danger" [PER 96] en mettant en évidence les scénarios possibles d'accidents⁵⁵ et en déterminant les barrières de prévention et de

⁵¹ Pierre PERILHON est ingénieur des Arts et Métiers, ancien responsable de l'antenne de Grenoble de l'INSTN, expert au CEA en sécurité non nucléaire et en sûreté nucléaire et concepteur de la méthode MOSAR.

⁵² Le groupe de travail "Méthodologie d'Analyse des Dysfonctionnements dans les Systèmes" ou MADS, a été constitué en 1989 avec pour objectif de rassembler les expériences et les compétences développées depuis une vingtaine d'années en matière de maîtrise et de gestion des risques. Ce groupe compte de nombreux acteurs, au premier rang duquel se trouvent J.L. ERMINE et P. PERILHON.

⁵³ Un événement est défini comme un "changement affectant la stabilité ou la forme du système et conduisant à une modification de son comportement". Un Événement Non Souhaité est défini comme l'ensemble de dysfonctionnements susceptibles de provoquer des effets non souhaités sur des systèmes cible. L'événement non souhaité est l'enchaînement de l'événement initiateur (événement à l'origine du changement d'état), événement initial (événement qui caractérise le changement d'état), événement principal (ou flux de danger) et de l'événement final (événement généré par l'impact de l'événement principal) [INS 96].

⁵⁴ Un système cible est un système sensible au flux de danger et subissant des dommages. La méthode MOSAR distingue quatre systèmes cible : les matériels, les individus, les populations et les écosystèmes [INS 96].

⁵⁵ Un scénario d'accident possible est défini par une suite d'événements qui peut logiquement survenir [INS 96].

protection⁵⁶ à mettre en place pour neutraliser les événements initiateurs de ces scénarios [INS 96]. A cette fin, la méthode MOSAR s'appuie sur la notion d'acceptabilité des risques (voir § III.2.3.3) et sur une mise en œuvre conjointe des approches déterministe et probabiliste (voir § III.3.1).

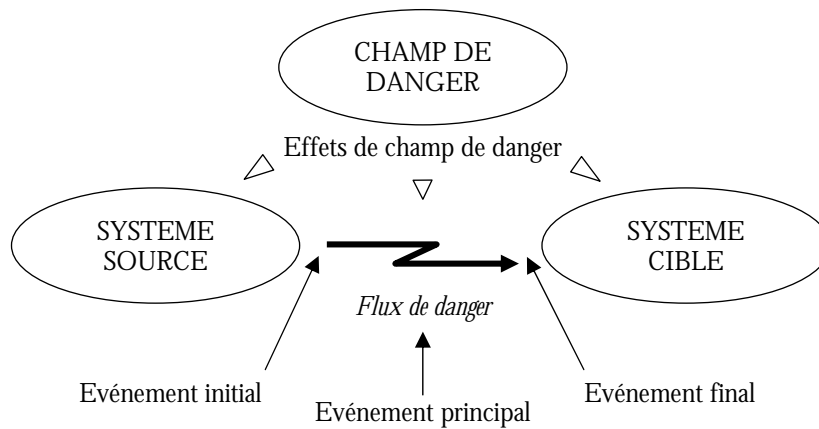


Figure III.23 : Processus de danger [PER 99]

4.2 Démarche

La méthode MOSAR est une démarche progressive composée de deux niveaux successifs :

- un niveau macroscopique, décrit par le module A de la méthode et dont le résultat est une étude de sécurité principale de portée limitée à l'analyse des risques principaux ou "de proximité" [INS 96] ;
- un niveau microscopique, décrit par le module B de la méthode, et dont la portée étend l'analyse macroscopique à l'ensemble des risques de l'entité considérée, en ayant en particulier recours à des méthodes telles que l'AMDEC pour une analyse détaillée, orientée sûreté de fonctionnement, des dysfonctionnements opératoires ou techniques.

Dans le cadre de notre étude, nous avons mis en œuvre le module A uniquement. Ce dernier est structuré en 5 phases : modélisation de l'entité, identification de systèmes sources de dangers, identification des scénarios d'accidents, évaluation des risques principaux et identification des moyens de prévention et de protection.

4.2.1 Modélisation

La phase de modélisation est la première étape de la méthode. L'analyse des risques débute par la décomposition du système en sous-systèmes⁵⁷. L'analyse systémique⁵⁸ permet d'en représenter les composantes et leurs relations. Le découpage le plus courant est le découpage géographique [INS 96], toutefois la décomposition systémique peut également être réalisée sur la base d'un découpage hiérarchique ou fonctionnel [GAR et al. 99].

⁵⁶ Une barrière est un élément matériel ou une procédure destinée à interrompre ou à modifier le scénario d'un accident de façon à en réduire la probabilité ou/et la gravité [INS 96].

⁵⁷ Un système est une entité constituée d'éléments matériels, logiciels et humains en interaction et organisés pour remplir une mission déterminée [INS 96]. Selon le système canonique décrit par J.L. LE MOIGNE, la notion de système est caractérisée par cinq critères : structure, fonction, finalité, environnement, évolution [LE M 77].

⁵⁸ La systémique est une démarche qui modélise la réalité complexe par les systèmes, qui identifie et qui prend en compte leurs interactions [INS 96].

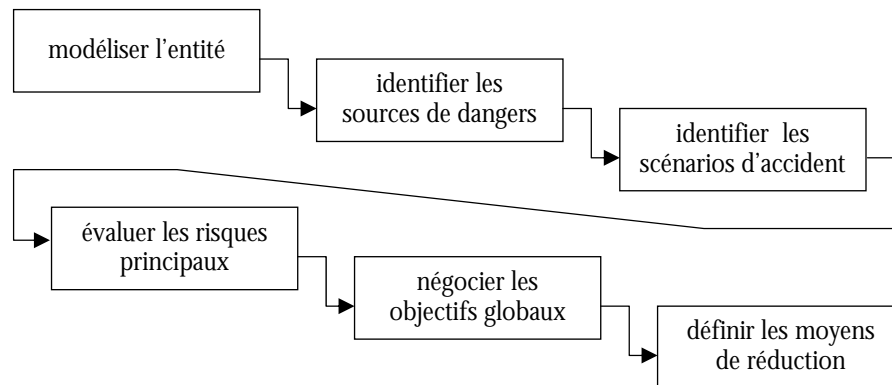


Figure III.24 : Module A – Etude de sécurité principale

4.2.2 Identification des systèmes sources de dangers

L'identification des systèmes sources de dangers est la seconde phase de la méthode. A partir de la modélisation systémique, cette phase cherche à identifier pour chaque sous-système et de manière systématique tous les éléments (matériels, humains, etc.) qui peuvent être source de danger pour l'entité considérée [INS 96]. Pour aider le groupe de travail et l'homme d'étude en particulier, la méthode MOSAR propose une grille de référence, non exhaustive, des types de systèmes sources de dangers. Ainsi, l'identification des principales sources de dangers se fait au travers de la lecture de la grille typologique [PER 96].

4.2.3 Identification des scénarios d'accidents

L'identification des scénarios d'accidents est une phase plus complexe que les précédentes. Elle est composée des étapes suivantes :

- identification des ENS ;
- représentation simplifiée sous forme de boîte noire ;
- établissement des scénarios d'enchaînement d'ENS ;
- présentation sous forme de pré-arbres logiques.

L'identification des ENS et plus largement des processus de danger selon le modèle MADS consiste à identifier, pour chaque source de danger, les flux de danger issus du système source considéré et pouvant affecter un système cible⁵⁹. A cette fin, la méthode MOSAR propose un tableau de saisie préétabli permettant de faire figurer le chaînage événement initiateur, événement initial et événement principal. L'exemple ci-après illustre un processus de danger conduisant à l'endommagement d'une conduite par projection d'eau sous pression.

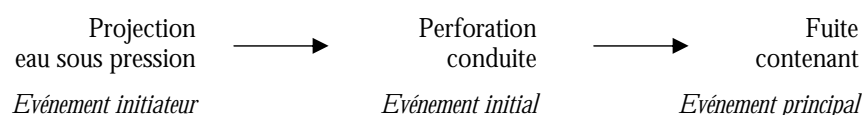


Figure III.25 : Exemple de processus de danger

⁵⁹ Cette étape est réalisée en ne tenant pas compte des barrières de prévention ou de protection existantes.

Les processus de danger identifiés sont ensuite représentés sous la forme de boîtes noires⁶⁰, selon les règles de passage suivantes :

- chaque sous-système donne lieu à une boîte noire ;
- chaque événement initiateur donne lieu à un événement en entrée de boîte noire ;
- chaque événement principal donne lieu à un événement en sortie de boîte noire.

L'utilisation de cette représentation schématique permet de visualiser les scénarios d'accidents. On distingue deux types de scénarios d'accidents : les scénarios d'autodestruction, également dits "scénarios courts" internes à chaque sous-système; et les scénarios de destruction, également dits "scénarios longs" représentant les interférences entre plusieurs sous-systèmes [PER 99]. L'exploitation des scénarios d'accidents peut être facilitée par une représentation sous forme de pré-arbres logiques.

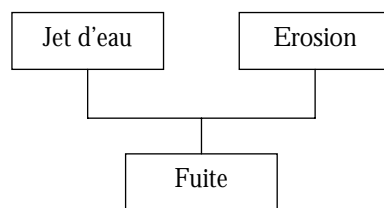


Figure III.26 : Exemple de pré-arbre logique

4.2.4 Evaluation des risques principaux

Les scénarios d'accidents décrits lors de la phase précédente identifient les risques principaux de l'entité considérée et sont désignés par les ENS finaux. L'objet de la présente phase est d'évaluer l'importance de chaque ENS à l'aide des méthodes d'évaluation des risques (analyse qualitative, analyse quantitative) afin d'estimer leur impact en termes de probabilité et de gravité sur les cibles possibles [INS 96]. Une fois évalués, les scénarios d'accidents sont hiérarchisés par ordre d'importance et repartis dans une matrice des risques (voir § III.2.3.3).

4.2.5 Négociation des objectifs globaux

En raison de son aspect stratégique, cette phase est sans doute la plus importante de la méthode. L'évaluation des risques et en particulier leur affectation sur la matrice des risques nécessite de définir, en accord avec l'ensemble des acteurs concernés : la grille probabilité-gravité retenue pour l'entité considérée⁶¹ et la frontière d'acceptabilité scindant la matrice des risques en une zone de scénarios acceptables ainsi qu'une zone de scénarios inacceptables (voir § III.2.3.3). La frontière d'acceptabilité détermine les mesures de réduction des risques ou barrières à mettre en œuvre en priorité. Son choix survient après l'évaluation des scénarios d'accidents et résulte d'une négociation entre les acteurs concernés par l'étude. D'une manière générale, cette frontière est le résultat d'un compromis entre objectifs qualité et sécurité souhaités et moyens humains, techniques et financiers engagés. Rappelons que dans le cadre de l'élaboration des schémas directeurs d'évolution des réseaux, la mise en œuvre de la

⁶⁰ Une boîte noire est une représentation d'un système sous forme d'une boîte qui n'explicite pas l'activité du système mais qui représente ses échanges avec son environnement à l'aide d'entrées et de sorties (matière, énergie, information) [INS 96].

⁶¹ Dans § III.2 nous montrons que la définition du terme risque et de son importance en termes de probabilité et de gravité varie selon le domaine d'activité considéré.

méthode ERA revêt un double usage dans le sens où elle permet : d'estimer les moyens nécessaires à la satisfaction d'un objectif sécurité donné ; d'estimer la part de réseaux renouvelable et par conséquent le gain de sécurité attendu, en fonction de moyens alloués.

4.2.6 Identification des moyens de prévention et de protection

Cette phase consiste à identifier et à qualifier les barrières de prévention et de protection permettant de réduire les risques associés aux scénarios d'accidents. Cette phase correspond à l'étape de traitement identifiée dans le processus de gestion des risques (voir § III.2.3.4). Les barrières peuvent être différenciées en fonction de leur nature (technique ou d'utilisation) et de leur mode d'action (protection ou prévention). Les barrières de prévention visent à réduire la probabilité de survenance d'un événement constitutif d'un scénario d'accident en agissant sur le système source. Les barrières de protection visent à diminuer la gravité d'un événement constitutif d'un scénario d'accident en agissant sur le ou les systèmes cible. L'aspect technique de la réduction des risques est traité par les barrières technologiques. Ces dernières sont définies comme des éléments matériels ou logiciels faisant partie intégrante de l'entité considérée et agissant de manière automatique, indépendamment de toute intervention humaine [PER 96]. L'aspect organisationnel de la réduction des risques est traité par les barrières d'utilisation. Une barrière d'utilisation est une "action mise en œuvre par intervention humaine, reposant sur une consigne précise, associée à un élément ou un ensemble technologique de détection ou par l'observation du procédé mis en œuvre" [INS 96].

4.3 Limites

Les aspects progressif et permissif de la méthode MOSAR représentent des atouts incontestables. Toutefois, sa mise en œuvre s'avère parfois difficile et même hasardeuse du fait de l'absence de formalisation des modalités d'application [GAR 99]. En ce sens, signalons en particulier :

- l'absence de recommandation pour le découpage du système en sous-systèmes ;
- le faible développement des dimensions sociale, économique et organisationnelle dans la typologie des sources de dangers ;
- une frontière entre événements initiateur, initial et principal parfois difficile à déterminer ;
- l'absence de règles d'écriture et de formalisme strict pour la représentation des scénarios d'accidents sous forme de boîtes noires (règles de passage du tableau des processus de danger, formalisation des connecteurs logiques, etc.).

5 Etude de sécurité principale

Ce paragraphe présente le résultat de l'étude de sécurité principale menée sur les ouvrages de distribution à usage collectif⁶². La démarche employée se fonde sur l'analyse a posteriori d'incidents et d'accidents sur Conduites d'Immeubles (ou CI) et Conduites Montantes (CM), ainsi que sur la capitalisation des savoir-faire d'un groupe d'exploitant. **Cette étude a permis d'identifier les scénarios d'accident conduisant à l'explosion et par voie de conséquence de dégager des éléments de configuration d'installation "à risque"**. L'accident sur installations à usage collectif a pour origine le feu. L'incendie en immeuble d'habitation conduit à l'endommagement des installations de distribution, provoquant une fuite de gaz qui, bien que se limitant dans la plupart des cas à alimenter l'incendie, peut conduire à une explosion. Dans cette étude, nous montrons que l'accident et en particulier l'explosion relève d'une **triple problématique risque urbain, risque incendie et risque technique**.

⁶² Cette analyse s'inscrit dans la continuité de travaux menés par la Direction de la Recherche de Gaz de France.

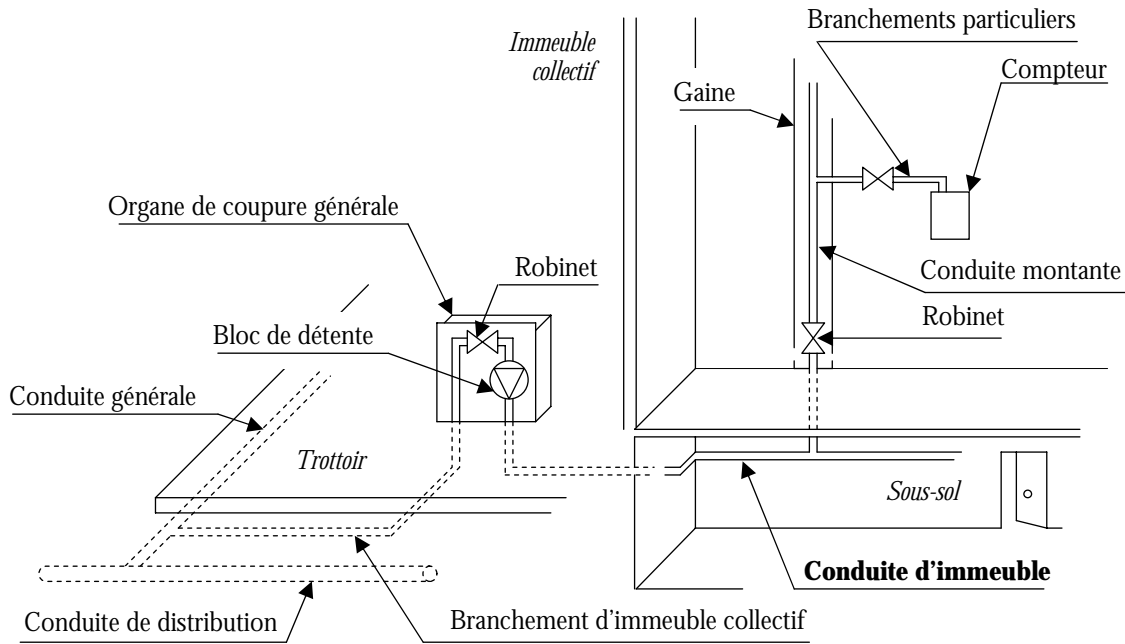


Figure III.27 : Installations de distribution à usage collectif

5.1 Description technique

Le descriptif technique donné ci-après est issu de [DTU 82] et [INS 94]. Les composants des installations de distribution à usage collectif et de leur environnement sont les suivants :

- branchement d'immeuble collectif : conduite reliant la conduite de distribution à l'Organe de Coupure Générale (ou OCG) de l'immeuble ;
- branchement particulier : tuyauterie raccordant le compteur client ou, en l'absence de celui-ci, l'organe de coupure de logement aux parties de l'installation commune à la desserte de plusieurs logements. Le nombre de branchements particuliers est déterminé par le nombre de robinets de branchements particuliers et non pas le nombre de compteurs ;
- bloc de détente : ensemble groupé d'appareils tels que filtre, déclencheur de sécurité, détendeur-régulateur, robinet..., ayant pour fonction essentielle de détendre un gaz d'une pression amont variable à une pression avale réglée à une valeur déterminée ;
- conduite d'immeuble (ou CI) : conduite en grande partie horizontale, faisant suite à l'OCG et alimentant : une ou plusieurs conduites montantes ; une ou plusieurs nourrices de locaux techniques gaz ; une ou plusieurs tiges cuisines ; parfois des branchements particuliers ;
- conduite montante (ou CM) : conduite en grande partie verticale, passant en partie commune, raccordée à la conduite d'immeuble et alimentant les différents niveaux de l'immeuble. Elle possède généralement un robinet de coupure générale. Cette définition vise également les conduites à usage collectif placées en partie commune, sans compteur et n'alimentant que des appareils de cuisson ;
- déclencheur de sécurité : dispositif de coupure automatique qui peut être une partie d'un détendeur-régulateur, produisant l'interruption du courant gazeux dans une tuyauterie : soit lorsque la pression avale tombe au-dessous d'une certaine limite, notamment par excès de débit ou par suite d'une chute de pression amont ; soit lorsque la pression ou le débit aval augmente au-dessus d'une valeur maximale ;

- détenteur-régulateur : appareil permettant de détendre un gaz d'une pression amont, comprise entre des limites déterminées, à une pression aval définie ;
- dispositif de coupure ou d'obturation : dispositif permettant d'interrompre le flux gazeux. Sont actuellement utilisés suivant le cas : les robinets ; les obturateurs ; les déclencheurs de sécurité, les détenteurs-déclencheurs, les robinets déclencheurs ; les manchettes d'écrasement ;
- fourreau et gainage : un fourreau est un tube dans lequel passe une tuyauterie. Il permet de protéger la tuyauterie des dégradations physiques ou de drainer les fuites accidentelles. Un gainage est une enveloppe continue, non fendue, solidaire ou non de la tuyauterie, ayant pour but d'assurer son isolement électrique et chimique ;
- gaine : volume généralement accessible et renfermant un ou plusieurs conduits. Elle peut également contenir des accessoires tels que robinets, compteur, etc.
- organe de coupure générale : dans le cas le plus simple, il comporte un organe de coupure (vanne, robinet ou obturateur) et une tuyauterie reliant le branchement d'immeuble collectif et la conduite d'immeuble. Lorsque le réseau est alimenté en Moyenne Pression⁶³ (ou MP), il doit comporter en outre, en aval de l'organe de coupure, un bloc de détente (détendeur). Si le réseau est alimenté à plus de 400 mbar, il doit comporter un Déclencheur de Débit Moyenne Pression (ou DDMP).

5.2 Décomposition en sous-systèmes

Le décomposition systémique proposée ci-après repose principalement sur un découpage topologique. Toutefois, certains sous-systèmes résultent d'un découpage fonctionnel (SS7 et SS8 par exemple). Outre un bref rappel de description, nous listons pour chaque sous-système les principales caractéristiques considérées à la suite de cette étude. Le système étudié est composé des huit sous-systèmes suivants :

- branchement d'immeuble collectif (SS1) : il comprend une tuyauterie et un OCG. Etant un dispositif de sécurité, l'OCG est considéré indépendamment. La nature des matériaux constitutifs, le calibre et la pression d'alimentation des tuyauteries sont considérés ;
- organe de coupure générale (SS2) : il comprend toujours un organe de coupure (robinet ou obturateur). Il peut être enterré ou en élévation. Dans le cas d'une alimentation supérieure à 400 mbar, il contient généralement un détenteur. Ce dispositif peut être complété par un organe de sécurité placé en aval du robinet ou de l'obturateur et avant la première pénétration dans l'immeuble. Il peut s'agir d'un appareil de coupure automatique ou d'un limiteur de débit, tous deux interrompant l'alimentation du gaz en cas de débit trop élevé. L'organe de sécurité employé est un Régulateur de Débit Basse Pression (ou RDBP) dans le cas d'une alimentation Basse Pression⁶⁴ (ou BP) et un DDMP dans le cas d'une alimentation MP ;
- conduite d'immeuble (SS3) : elle fait suite à l'OCG (à défaut du branchement d'immeuble collectif). Elle alimente une ou plusieurs CM. La nature des matériaux, la pression d'exploitation ainsi que les lieux de passage de la conduite sont considérés ;
- conduite montante (SS4) : elle est raccordée à la CI. Elle alimente les différents niveaux de l'immeuble. La situation de la conduite (gaine, traditionnel⁶⁵, à la corde, etc.), la nature des matériaux et le nombre de branchements particuliers sont considérés ;

⁶³ La pression d'alimentation "moyenne pression" est comprise entre 0,05 bar et 0,4 bar inclus dans le cas de moyenne pression A et entre 0,4 bar et 4 bar inclus dans le cas de la moyenne pression B (en valeur relative).

⁶⁴ La pression d'alimentation "basse pression" est comprise entre 0,005 et 0,05 bar inclus (en valeur relative).

⁶⁵ Conduite sous cache démontable, encastrée en cage d'escalier ou apparente en cage d'escalier.

- immeuble collectif (SS5) : composant de l'environnement des installations. Il est parfois le siège de départ d'incendie dont les conséquences sur certains types d'installations constituent un facteur aggravant. Les données ou points de contrôles permettant de diagnostiquer le niveau de sécurité incendie d'un immeuble collectif sont considérés ;
- environnement urbain (SS6) : composant actif de l'environnement des installations (milieu dans lequel l'homme évolue librement). Les CI et CM ne subissent que rarement des agressions extérieures volontaires ou accidentelles. Néanmoins, des précédents existent. Qui plus est, l'acte humain est à l'origine de la très grande majorité des départs d'incendie. L'environnement urbain est une source de négligences ou de vandalisme et peut entraîner un dysfonctionnement des installations ;
- agents d'exploitation (SS7) : les agents d'exploitation font partie de l'environnement actif des installations. Ces personnes peuvent être victimes de dysfonctionnements ;
- sapeurs-pompiers (SS8) : les sapeurs-pompiers font partie de l'environnement actif des installations gaz. Ils sont en particulier directement concernés par les interventions suite à incendie et peuvent être victimes de dysfonctionnements.

5.3 Identification des systèmes sources de dangers

Préalablement à la présentation des systèmes sources de dangers, nous donnons une brève description des principaux dangers cités ci-après.

5.3.1 Description des dangers spécifiques

- réseau de chaleur : la proximité de réseau de chaleur enterré peut se révéler néfaste pour les branchements en polyéthylène (ou PE) dont la température de surface ne doit pas dépasser 30°C. La chaleur peut provoquer la fonte ou la thermo-oxydation du PE ;
- canalisation d'eau : la proximité d'une canalisation d'eau peut entraîner la projection d'eau sous pression sur une canalisation et provoquer son érosion. La rupture d'une canalisation d'eau produit un important flux de matière (et d'énergie) et peut engendrer un mouvement de sol emportant le terrain de support d'une conduite et provoquer sa casse ;
- écoulement d'eau : l'écoulement des eaux usagées ou de pluie favorise l'accumulation de déchets à l'intérieur des ouvrages enterrés et peut avoir pour effet de recouvrir l'ouvrage et de le rendre inaccessible. L'humidité favorise le phénomène de corrosion ;
- ouvrages électriques : un ouvrage électrique peut être à l'origine de courts-circuits et donc de source de chaleur importantes. Certaines fuites de gaz peuvent être dues à la corrosion de matériaux (tels que le cuivre et le plomb) sous l'effet de courants vagabonds. La présence de réseaux électriques peut favoriser le cheminement de gaz vers l'intérieur de l'immeuble par drainage ;
- matériaux agressifs et sol acide : au contact de certains matériaux tels que la chaux ou le ciment frais, le plomb, le cuivre et la tôle bitumée se corrodent facilement. Le même problème se pose lorsqu'ils se trouvent dans un sol acide ;
- travaux de proximité : la fonte grise et les conduites en cuivre de grand diamètre sont sujettes aux cassures, dues aux possibilités de mouvements de terrains, à la présence de points durs ou d'éventuels travaux de proximité ;
- circulation routière : les accidents de la circulation peuvent entraîner des dommages sur les ouvrages hors sol, en particulier sur les ouvrages sensibles aux mouvements de terrains ou aux cassures ;
- environnement urbain : l'exposition aux actes humains peut être considérée comme un facteur de risque discriminant. Ils se manifestent sous la forme d'actes de vandalisme (dégradation) ou de négligence et peuvent être la cause de dommages ou de départs d'incendie (feu de poubelles, etc.) ;

- incendie : l'incendie est un facteur de risque discriminant dont l'impact sur certains types d'installations constitue un facteur aggravant. C'est le cas pour les conduites en plomb dont la température de fusion (327°C) est redoutée. Les conduites en cuivre à brasure tendre à l'étain présentent le même danger potentiel, du fait de la faible résistance à la chaleur de l'étain (232°C). Les lieux de départ d'incendie les plus fréquents sont les locaux servant à l'entreposage de matériaux inflammables (local à poubelle, cave privée, couloir commun de sous-sol, etc.). La fusion de conduites est provoquée par une forte élévation de la température environnante due à un incendie à proximité ou à une source de chaleur intense (court-circuit électrique) ;
- explosion : le flux de danger majeur lié au gaz naturel est l'explosion provoquée par une combustion violente entraînant une forte élévation de pression. Ce phénomène ne peut se produire que si la proportion de gaz dans le mélange air-gaz est située entre la limite inférieure d'explosivité (ou LIE) et la limite supérieure d'explosivité (ou LES), qui sont respectivement 5% et 15% volumique.

5.3.2 Systèmes sources de dangers

Identifiant ⁶⁶	Origine	Description
SS1 – branchement d'immeuble collectif		
A (1)	Mécanique	Appareil sous pression - tuyauterie sous pression (20 mbar ou 4 bar)
C (1)	Electrique	Sources électriques
H (3)	Environnement actif	Circulation routière
H (4)	Environnement actif	Travaux de voirie
H (4)	Environnement actif	Autres réseaux (drainants)
H (6)	Environnement actif	Zones géologiques instables
H (6)	Environnement actif	Sol
H (6)	Environnement actif	Canalisation d'eau sous pression
SS2 – organe de coupure générale		
A (4)	Mécanique	Elément nécessitant manutention – robinet de coupure
H (1)	Environnement actif	Ecoulement d'eau
H (3)	Environnement actif	Circulation routière
H (4)	Environnement actif	Travaux de voirie
H (4)	Environnement actif	Autres réseaux (drainants)
SS3 – conduite d'immeuble		
A (1)	Mécanique	Appareil sous pression - tuyauterie sous pression (20 mbar ou 4 bar)
A (1)	Mécanique	Appareil sous pression - siphon enterré
A (2)	Mécanique	Eléments sous contrainte mécanique – fixation des tuyauteries
A (2)	Mécanique	Objets divers accrochés aux tuyauteries
C (1)	Electrique	Sources électriques
D	Source d'incendie	Entreposage de matériel – local à poubelles ou vide ordures
D	Source d'incendie	Entreposage de matériel – cave privée ou aménagée
D	Source d'incendie	Entreposage de matériel – couloir commun de sous-sol

⁶⁶ L'identifiant marque la nature du système source de dangers. En référence à la méthode MOSAR :

- A désigne les systèmes sources de dangers d'origine mécanique ;
- B désigne les systèmes sources de dangers d'origine chimique ;
- C désigne les systèmes sources de dangers d'origine électrique ;
- D désigne les systèmes sources de dangers incendie ;
- E désigne les systèmes sources de dangers thermiques et de rayonnements ;
- F désigne les systèmes sources de dangers biologiques ;
- G désigne l'homme système source de dangers ;
- H désigne les systèmes sources de dangers liés à l'environnement actif ;
- I désigne les systèmes sources de dangers d'origine économique et sociale.

H (4)	Environnement actif	Travaux de voirie
H (4)	Environnement actif	Autres réseaux (drainants)
H (6)	Environnement actif	Sous-sol
H (6)	Environnement actif	Source de chaleur
H (6)	Environnement actif	Sol
H (6)	Environnement actif	Zones géologiques instables
H (6)	Environnement actif	Local à vélos
SS4 – conduite montante		
A (1)	Mécanique	Appareil sous pression - tuyauterie sous pression (20 mbar ou 4 bar)
A (2)	Mécanique	Éléments sous contrainte mécanique – fixation des tuyauteries
A (2)	Mécanique	Dépôts sauvage
A (4)	Mécanique	Élément nécessitant manutention – robinet de branch. particulier
C (1)	Électrique	Sources électriques
D	Source d’incendie	Entreposage de matériel – escaliers et gaines
D	Source d’incendie	Source de chaleur
SS5 – immeuble collectif		
D	Source d’incendie	Sous-sol
D	Source d’incendie	Escalier
D	Source d’incendie	Installations électriques des parties communes
D	Source d’incendie	Chaufferie gaz en sous-sol
D	Source d’incendie	Local vélos et voitures d’enfants
D	Source d’incendie	Caves
SS6 – environnement urbain		
G (1)	Humaine	Travaux de tiers
G (2) / I	Humaine / Sociale	Vandalisme
G (1)	Humaine	Négligence
G (1)	Humaine	Intervention
SS7 – agents d’exploitation		
G (1)	Humaine	Situation normale
SS8 – sapeurs-pompiers		
G (1)	Humaine	Situation normale

Tableau III.6 : Systèmes sources de dangers

5.4 Identification des scénarios d’accident

5.4.1 Modélisation sous forme de boîte noire

Afin de simplifier la représentation graphique des boîtes noires, nous avons opté pour le choix d’un formalisme spécifique et unique pour la représentation des portes logiques ET et OU, et pour la représentation des scénarios d’accidents (scénarios courts et scénarios longs). La figure III.28 illustre la représentation des portes logiques : *OU en sortie* (E1 peut entraîner E2 ou E3), *OU en entrée* (E1 peut entraîner E3, E2 peut entraîner E3), *ET en entrée* (E1 et E2 simultanément peuvent entraîner E3). Elle illustre également le formalisme employé pour représenter les scénarios d’accidents.

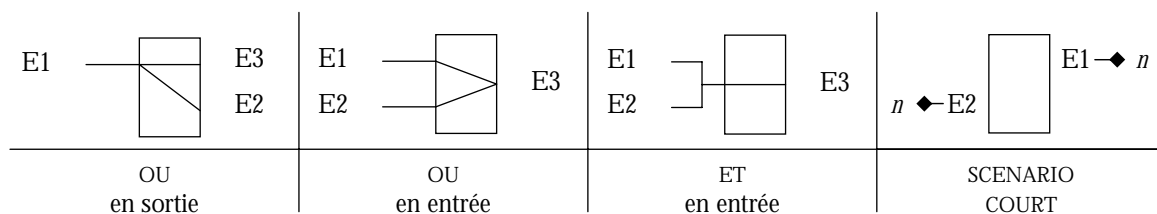


Figure III.28 : Formalisme ET, OU, scénario court

5.4.1.1 Branchement d'immeuble collectif (SS1)

Le principal flux de danger mis en évidence par le schéma donné ci-après est le **cheminement de gaz par drainage**⁶⁷. Le cheminement de gaz vers l'intérieur du bâtiment peut engendrer une accumulation de gaz en sous-sol et peut aboutir à la création d'une atmosphère explosive (voir § III.5.4.3). Aussi considérons-nous le risque de cheminement sur branchement d'immeuble collectif comme un facteur aggravant du risque de CI.

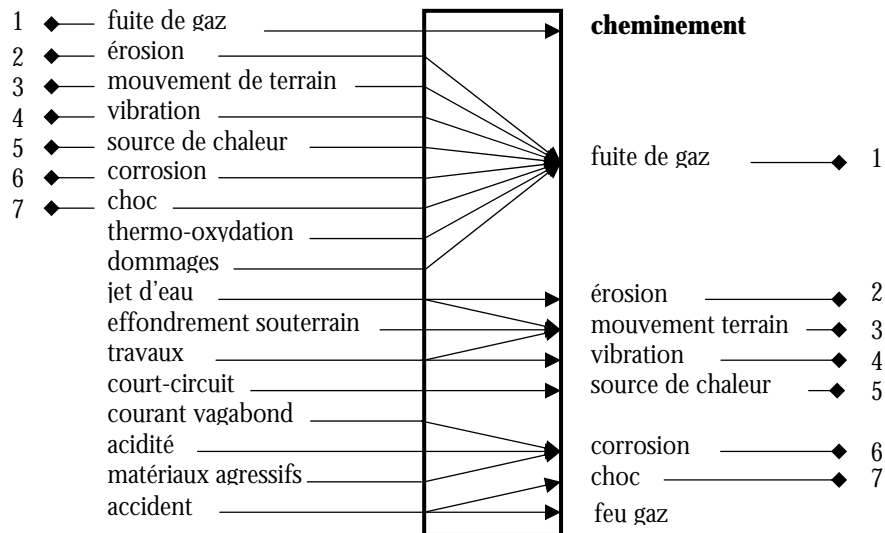


Figure III.29 : Boîte noire "branchement collectif"

5.4.1.2 Organe de coupure générale (SS2)

Le flux de danger principal de l'OCG est le cheminement de gaz vers l'intérieur de l'immeuble collectif. Les autres dangers liés à l'OCG sont principalement : le repérage, l'accessibilité et la manœuvrabilité. En cas d'incident ou accident, ces facteurs peuvent influencer le délai et la qualité d'intervention. Le cas particulier d'OCG placés hors sol présente des dangers spécifiques tels que l'exposition à des actes de malveillance ou aux accidents de la route.

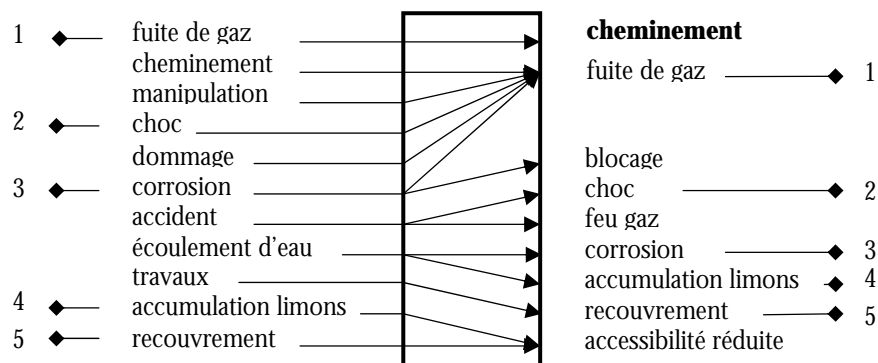


Figure III.30 : Boîte noire "organe de coupure générale"

⁶⁷ Ecoulement de gaz à travers le sol.

5.4.1.3 Conduite d'immeuble (SS3)

La CI est l'unique sous-système où se manifeste le flux de danger majeur des installations de distribution à usage collectif : l'explosion. En raison de cet aspect, notre étude se focalisera davantage sur cette partie d'installation. Le risque d'explosion réside dans une possible accumulation de gaz dans des locaux où la ventilation est faible. Ce risque concerne les sous-sols uniquement, lieu de passage de la conduite (local poubelles, cave privative, etc.) dont la géométrie constitue un facteur aggravant (la présence de plafonds voûtés favorise l'accumulation de gaz).

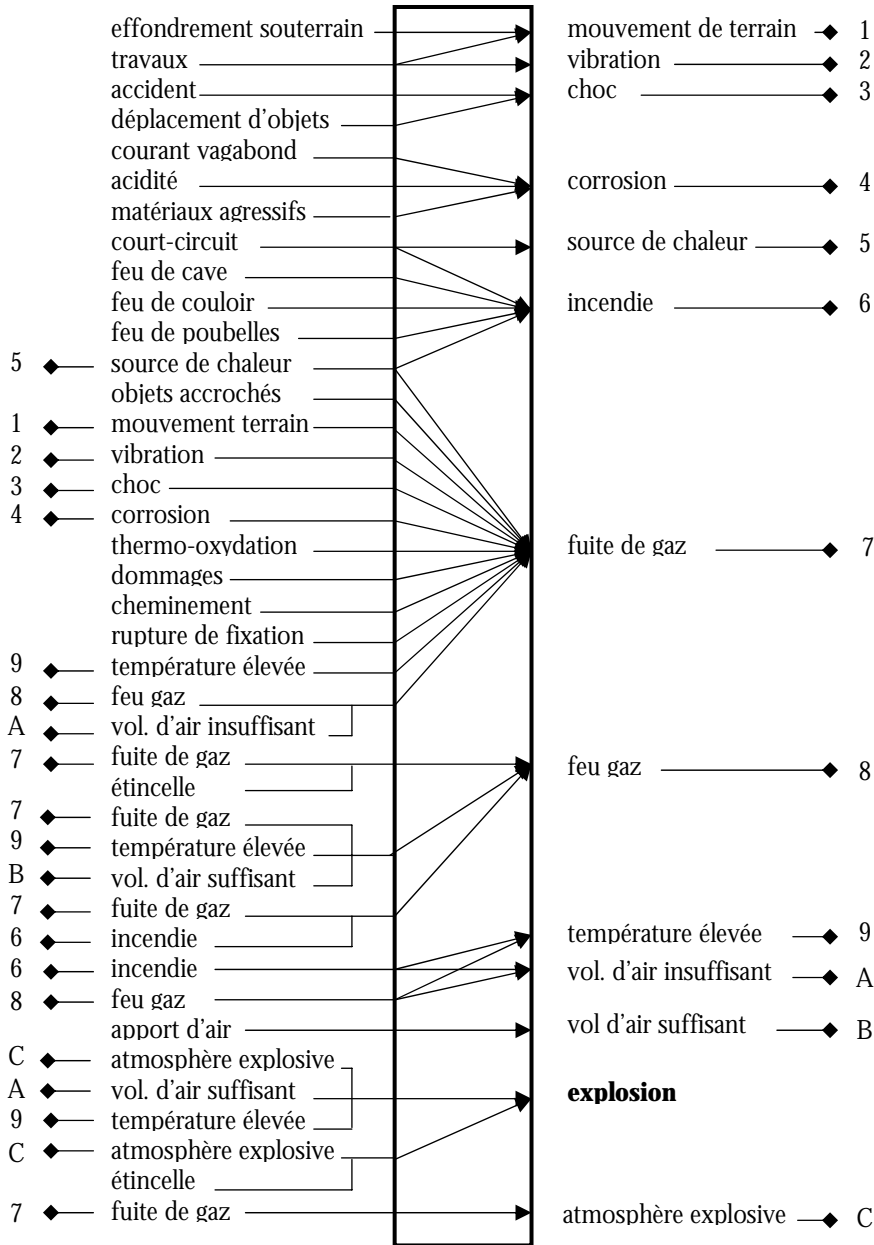


Figure III.31 : Boîte noire "conduite d'immeuble"

5.4.1.4 Conduite montante (SS4)

Les CM passent en cage d'escalier, un lieu généralement bien ventilé ne favorisant pas l'accumulation de gaz et supprimant donc tout risque d'explosion. Ainsi, le flux de danger principal des CM est le feu gaz.

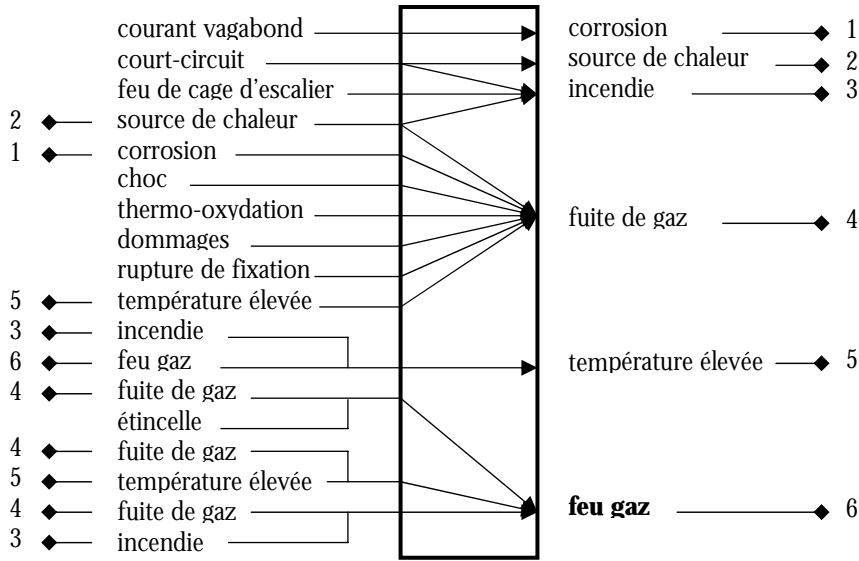


Figure III.32 : Boîte noire "conduite montante"

5.4.1.5 Environnement urbain (SS6)

L'environnement urbain et en particulier l'homme est par ses actes, volontaires ou non, à l'origine de dégradations. Le flux de danger principal issu de l'environnement urbain est le feu de proximité. Ce dernier concerne au premier plan les lieux servant à l'entreposage de matériels (matelas par exemple) propices au départ d'incendie (local poubelle, local à vélos, couloirs communs de sous-sol, cave privative par exemple) ainsi que les structures (séparations des volumes, portes à claire-voie, etc.) et le niveau de vétusté de l'immeuble.

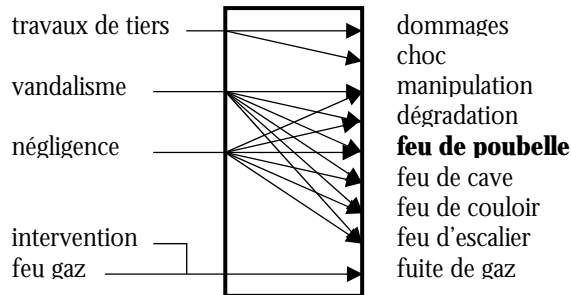


Figure III.33 : Boîte noire "environnement urbain"

5.4.1.6 Agents d'exploitation (SS7) et sapeurs-pompiers (SS8)

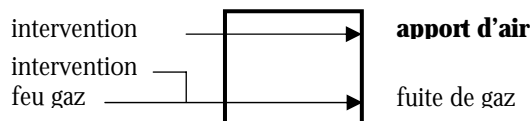


Figure III.34 : Boîtes noires "agents d'exploitation" et "sapeurs-pompiers"

5.4.2 Scénarios d'enchaînement d'événements non souhaités

L'absence d'outil informatique adapté rend l'analyse exhaustive des scénarios impossible. Le schéma ci-dessus présente les scénarios d'enchaînement d'événements. Bien que simplifié par l'usage d'un formalisme adapté, ce schéma demeure difficilement exploitable. Aussi nous limitons-nous à l'étude des scénarios conduisant aux événements non souhaités de forte gravité : l'explosion et le feu gaz.

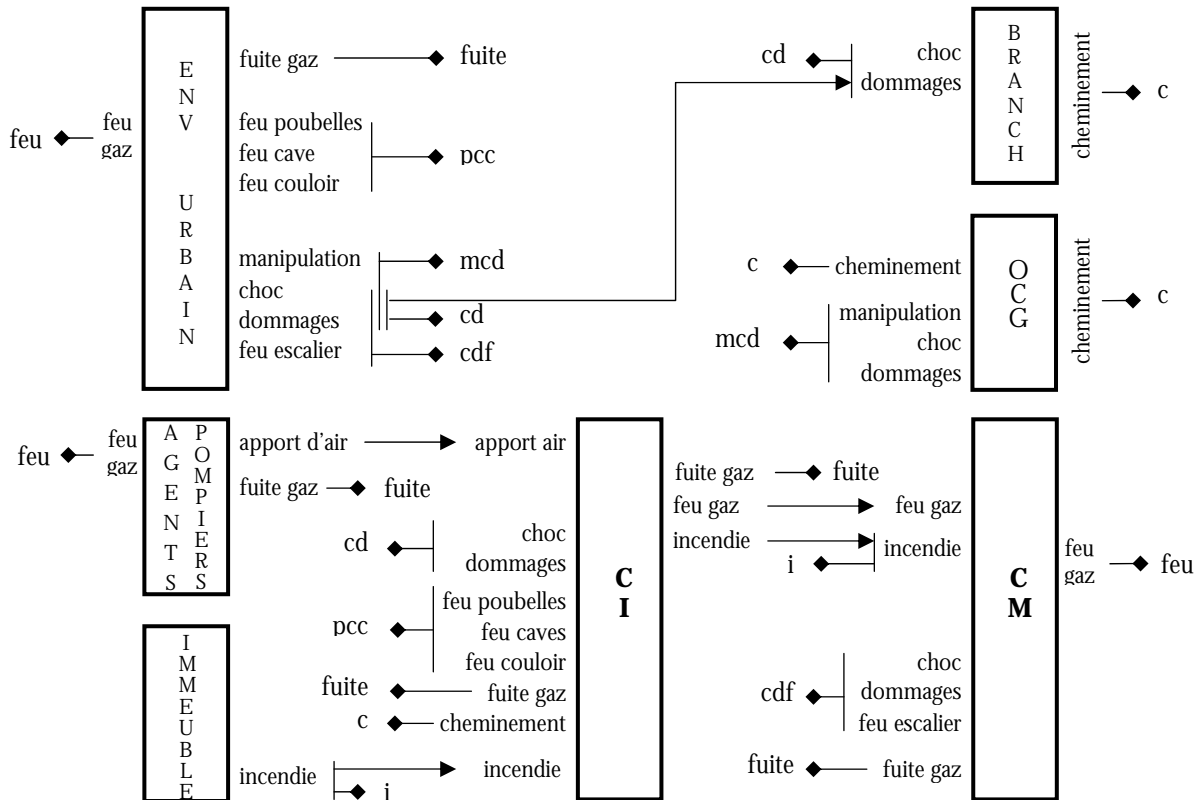


Figure III.35 : Scénarios d'enchaînement d'événements

5.4.2.1 Incendie non suivi d'explosion

Le scénario d'incendie non suivi d'explosion est le suivant : suite à un incendie de proximité, la conduite est endommagée et laisse fuir le gaz qui s'enflamme et alimente l'incendie. L'apport d'air est suffisant pour entretenir l'incendie jusqu'à intervention. Ce scénario concerne principalement les CM, lesquelles sont, par construction, placées dans des espaces ventilés (cages d'escalier). Il concerne dans certains cas les CI ou CM en cuivre brasé à l'étain pour lesquelles le débit de fuite est faible.

5.4.2.2 Incendie suivi d'explosion

Les explosions concernent uniquement les CI alimentées en BP et sont toutes consécutives à des fusions de conduites en plomb situées le plus souvent dans des sous-sols insuffisamment ventilés. Considérant la fusion de conduite comme situation initiale, trois scénarios d'accident peuvent ensuite survenir et conduire à l'explosion :

- scénario 1 : la fuite de gaz s'enflamme. Les volume et apport d'air sont trop faibles pour entretenir l'incendie qui s'éteint, laissant le gaz fuir et s'accumuler, pouvant atteindre les conditions d'explosion en cas d'apport d'air ;

- scénario 2 : la fuite de gaz ne s'enflamme pas. La chaleur dégagée par l'incendie est suffisante pour entraîner une auto inflammation du gaz (aux environs de 540°C). Le gaz fuit et s'accumule, pouvant atteindre les conditions d'explosion ;
- scénario 3 : la fuite de gaz s'enflamme. La flamme est éteinte par un tiers, laissant le gaz fuir et s'accumuler, pouvant atteindre les conditions d'explosion (voir figure III.36).

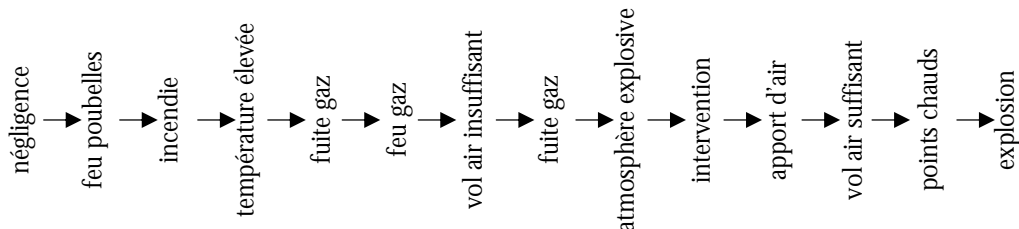


Figure III.36 : Exemple de scénario d'incendie suivi d'explosion

Le scénario 1 concerne les conduites en plomb, caractérisées par un débit de fuite important et placées le plus souvent en sous-sol, où la ventilation est faible. Dans de telles conditions, l'apport d'air (provoqué par exemple par l'ouverture d'une porte par les secours, voir figure III.36) peut entraîner l'explosion. Ces trois scénarios montrent que la gravité de l'accident est fonction du feu initial, du débit de gaz, de l'aération, du volume et de la géométrie des locaux.

5.4.3 Evaluation des risques principaux

L'étude des scénarios d'accidents a mis en évidence trois événements non souhaités majeurs : l'incendie de proximité, le feu de gaz et l'explosion. La mesure d'importance des risques qui leur sont associés nous conduit à présenter quelques éléments de mesure qualitative et quantitative. Les données statistiques relatives aux incidents sur CI et CM et à l'état du parc de CI et CM sont nombreuses⁶⁸. Nous nous limiterons donc à n'en présenter que les principales.

5.4.3.1 Données statistiques

a. Répartition des matériaux constitutifs des conduites

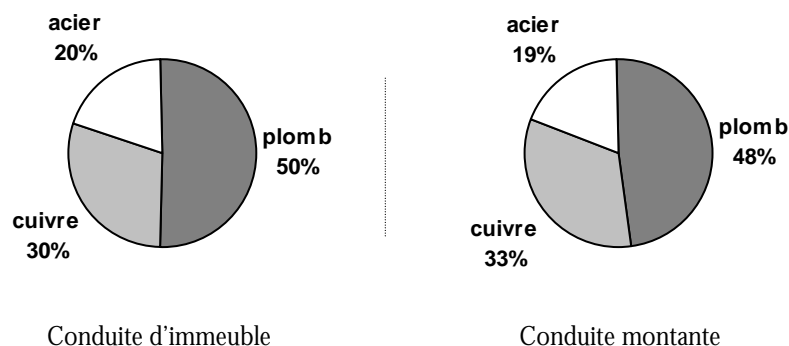


Figure III.37 : Répartition des matériaux constitutifs des conduites

⁶⁸ A des fins de confidentialité, les éléments statistiques donnés ont été modifiés.

La figure III.37 montre qu'une part importante des installations sont tout ou partie constituées de plomb ou de cuivre.

b. Répartition des incidents par nature de matériaux

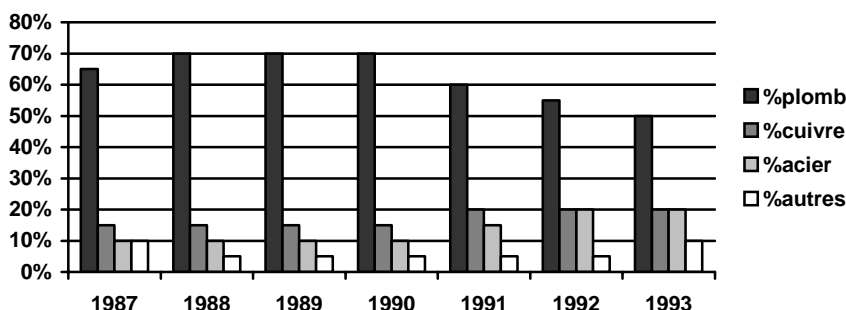


Figure III.38 : Répartition des incidents sur CI par nature de matériau

En considérant la répartition des matériaux employés pour les CI⁶⁹ (voir figure III.37), la répartition des divers matériaux de CI ayant été l'objet d'incidents montre que les conduites en plomb sont le siège du plus grand nombre d'incidents (voir figure III.38). La répartition des incidents sur CM est sensiblement équivalente. L'analyse statistique menée depuis 1987 montre une relative stabilité du nombre d'incidents constatés sur CI et CM. Quel que soit le type d'ouvrage, les incidents concernent les ouvrages en plomb pour 50 à 70%. Les incidents dus à des fuites sont majoritaires et représentent jusqu'à 90% des incidents. Les cas mettant en cause l'acier sont relatifs à des fuites sur joint filasse ou raccord isolant. Les cas mettant en cause le cuivre sont pour l'essentiel des fuites sur assemblage, par brasure cuivre à l'étain. Enfin, les cas mettant en cause le plomb sont relatifs à des fuites consécutives à la fusion de portions de tuyauterie, provoquées par des feux de proximité. Les incidents suite à des dommages concernent essentiellement les ouvrages en plomb. Enfin, les zones siège des incidents concernent principalement la tuyauterie.

c. Répartition des incidents par niveau de pression d'alimentation

La répartition des fuites suite à incendie sur CI et CM montre que les installations étaient alimentées en BP pour 90% des cas et en MP pour 10% des cas.

d. Présence de produits inflammables à proximité des ouvrages

L'analyse du parc de CI montre que 60% des CI pénètrent en plomb, en sous-sol, dans des locaux privés (lieu propice à l'entreposage de matériels) ; 15% des CI pénètrent en sous-sol, dans des locaux non privés (cave commune, chaufferie, local à poubelles) où sont entreposés des produits inflammables ; 20% des CI se trouvent à proximité⁷⁰ de câbles électriques.

e. Aération des sous-sols traversés par des CI tout ou partie en plomb

L'analyse du parc de CI montre que 60% des CI passent tout ou partie dans des caves de sous-sols aérés par des soupiraux donnant sur l'extérieur ; 60% des CI passent dans des caves dont les portes sont à claire-voie (parmi lesquelles 10% n'ont pas de soupirail ouvert sur l'extérieur et 60% des sous-

⁶⁹ La répartition donnée est uniquement valable pour la zone d'étude.

⁷⁰ A moins de 3 cm.

sols ont un volume inférieur ou égal à 200 m³); 20% des CI passent dans des locaux fermés par des portes pleines, sans aucun soupirail ouvert sur l'extérieur (parmi lesquelles 60% passent dans des caves de volume inférieur à 20 m³).

f. Répartition des CI par lieu de passage

La répartition des CI par lieu de passage est la suivante : cave privée : 30%, couloir de cave : 30%, local à poubelles : 15%, parking : 10%, hall d'immeuble : 5%, vide sanitaire : 5%, local vélo : 5%.

5.4.3.2 Hiérarchisation des risques

A cette étape de l'étude, nous avons identifié deux risques principaux liés à la distribution du gaz : le feu de gaz et l'explosion. La fusion de conduites en plomb ayant pour origine un incendie de proximité demeure la cause prépondérante des explosions avec victimes. Le risque d'explosion est donc à considérer en priorité. L'analyse des scénarios d'accident et des éléments de mesures statistiques montre que ces accidents sont rares et qu'ils ne concernent que certaines configurations d'ouvrages (CI plomb, alimentée en BP).

5.5 Identification des barrières de prévention et de protection

La sécurisation des configurations d'ouvrages "à risque" peut être réalisée par la mise en place de barrières technologiques lors du renouvellement de tout ou partie d'ouvrage. Les principales barrières technologiques existantes sont décrites ci-après.

5.5.1.1 Passage en MP

Le passage d'une alimentation BP à une alimentation réseau MP implique l'installation d'un organe de sécurité (détendeur régulateur) dont le rôle est de couper l'alimentation en gaz de l'immeuble collectif en cas de chute de pression en aval ou de débit anormalement élevé. Dans la plupart des cas, le passage en MP est accompagné d'un renouvellement de tout ou partie de CI par une conduite en PE. L'utilisation de la technologie PE permet d'accroître la performance à un coût limité. Les conduites en PE autorisent un débit sensiblement supérieur (de 5 fois environ) à diamètre égal et garantissent une meilleure qualité de service (pression constante grâce à une détente proche des appareils d'utilisation). De plus, le coût des tuyauteries et des travaux de pose est faible (tubage par utilisation des anciennes canalisations comme fourreaux). Le passage à une alimentation MP constitue la solution privilégiée au problème de protection contre le risque de fuite de gaz et par voie de conséquence contre les risques de feu de gaz et d'explosion.

5.5.1.2 Pose d'un Robinet Déclencheur de Basse Pression (RDBP)

Dans le cas du maintien du réseau en basse pression, l'emploi de ce type de robinet assure la coupure de l'alimentation en cas de débit excessif.

5.5.1.3 Mise en place de produits retardateurs de fusion

Des protections à base de produits retardateurs de fusion tels que le plâtre sont utilisés pour accroître le délai de résistance au feu des conduites en plomb. Ce type de barrière technique n'apporte pas de véritable solution au problème de la protection incendie et ne favorise pas la détection et la réparation des fuites sur les conduites.

5.6 Conclusions

Nous avons identifié deux scénarios d'accidents ayant pour origine un feu de proximité : **incendie non suivi d'explosion sur les CI/CM et incendie suivi d'explosion sur CI**. Leur étude a facilité la mise en évidence de configurations de CI/CM à risques :

- les configurations concernées par l'incendie non suivi d'explosion sont les CI et CM comportant du plomb ou du cuivre brasé à l'étain. Pour ces dernières, la fermeture (automatique ou manuelle) de l'organe de coupure générale supprime alors les effets de l'incident ou accident ;
- les configurations concernées par l'incendie suivi d'explosion sont les CI comportant du plomb, passant en cave ou sous-sol insuffisamment ventilé et alimentées depuis des réseaux BP. Dans ce cas, seule la coupure automatique de l'alimentation par la pose d'un dispositif approprié (RDBP ou détendeur régulateur après passage préalable du réseau en MP) permet de supprimer le risque.

Au regard de cette analyse, il apparaît que les configurations à traiter en priorité sont d'abord les **CI en plomb, traversant des locaux servant à l'entreposage de matériels (local à poubelles par exemple), ou d'accès difficile (cave privative) ; puis les CI en plomb traversant des locaux où l'existence d'un risque incendie est important** ce qui, à l'échelle de la région Ile de France, concerne un nombre considérable d'ouvrages (plusieurs dizaines de milliers).

6 Conclusion

Nous avons présenté la démarche générale de la gestion des risques, les principales méthodes d'analyse des risques et l'étude de sécurité de notre cas d'étude.

Dans la description qui en est donnée, le processus de gestion des risques apparaît comme un processus complexe dont le succès nécessite un investissement conséquent, ainsi qu'une volonté forte et affichée de la part de l'entité concernée. Les méthodes d'analyse des risques constituent un ensemble de techniques et d'outils pour sa mise en œuvre. Ces méthodes sont pour la plupart des outils génériques adaptables aux spécificités de l'entité analysée. Toutefois, la complexité croissante des organisations ou des systèmes, ainsi que la prise en compte simultanée de facteurs techniques, politiques, économiques et sociaux, ont pour conséquence une atteinte des limites qu'offrent les méthodes d'analyse de risques traditionnellement définies comme réactives [SER 96]. Au regard de ce constat, le développement de méthodologies hybrides associant approche déterministe et approche probabiliste, et agissant sur tous les facteurs techniques, économiques et humains pour une gestion rationnelle des ressources, semble être une voie de recherche à explorer. En effet, les méthodologies en cours de développement telles que la Formal Safety Assessment ou FSA pour les navires, ou la "Risk-Informed Regulation" pour l'industrie nucléaire sont définies de la sorte, identifiant la sécurité à une résolution de problème multi-critère [SER 96].

Les résultats de l'étude de sécurité principale fournissent des éléments de poids en réponse aux besoins énoncés. Aussi pertinents soient-ils, ces éléments demeurent insuffisants pour permettre une évaluation de la priorité de renouvellement de chaque installation et pour déterminer des choix dans les interventions à entreprendre. Pour satisfaire cet attendu, l'analyse des risques doit être prolongée à l'analyse du risque global. La méthodologie d'Evaluation des Risques Agrégés (ou ERA) que nous proposons œuvre dans ce sens, contribuant à la prise en compte des risques dans le cadre d'une stratégie d'amélioration de la qualité. D'une façon plus générale, dans le contexte actuel des entreprises dites "responsables", placées en situation "à risque" et où la maîtrise du danger conditionne la performance, le développement d'un système qualité ne peut se faire sans une politique de gestion des risques rigoureuse et efficace, et si possible offrant un regard sur la gestion du risque global.

Chapitre IV

Aide à la décision pour l'évaluation de la priorité de renouvellement

1 Introduction

L'étude de sécurité principale a montré que les risques des installations de distribution à usage collectif relevaient d'une triple problématique : risque humain, risque incendie et risque technique. Elle a permis d'identifier des éléments de configuration "à risque". Ces résultats permettent de sélectionner les installations à traiter en priorité, mais ne permettent pas de les ranger par ordre de priorité de renouvellement. Aussi allons-nous approfondir ces résultats et développer une hiérarchie permettant d'évaluer la priorité de renouvellement de chaque installation. Basée sur l'approche du critère unique de synthèse du processus d'analyse hiérarchique (ou AHP, de l'anglais Analytic Hierarchy Process), la hiérarchie permet d'agréger les principaux risques d'exploitation des installations de distribution de gaz naturel. Préalablement à la présentation de ces résultats, nous revenons sur les notions essentielles de l'aide à la décision dont la présentation des fondements est nécessaire à la compréhension de l'orientation d'ensemble de nos travaux. Ainsi, ce chapitre est organisé en trois parties. La première partie présente les notions de processus décisionnel et d'aide à la décision. La seconde partie présente la méthode AHP. Enfin, la troisième partie présente la hiérarchie développée pour l'évaluation de la priorité de renouvellement des installations de distribution de gaz à usage collectif.

2 Aide multicritère à la décision

2.1 Décision et processus décisionnel

La décision désigne à la fois "l'acte de choix" et "**l'action**¹" choisie. En d'autres termes, la décision est un choix et se définit comme l'expression de **préférence**, "entre plusieurs solutions possibles, d'une action portant sur la mise en œuvre de ressources ou la détermination des objectifs, compte tenu d'un ou plusieurs **critères**² d'évaluation des solutions" [DAR et al. 95].

¹ L'aide à la décision emploie le mot action comme un terme générique désignant ce qui constitue l'objet de la décision ou ce sur quoi porte l'aide à la décision [BAN 96]. Dans le cadre de notre étude, une action désigne une installation de distribution de gaz naturel (voir § IV.2.2.1.3).

² L'aide à la décision définit un critère comme un outil construit pour évaluer et comparer des actions selon un objectif ou une préoccupation bien définie par les personnes sur qui s'exerce l'aide à la décision (voir § IV.2.2.1.4).

2.1.1 Typologie des décisions

L'adoption d'un programme de renouvellement pluriannuel est une décision issue du processus d'élaboration des schémas directeurs d'évolution des réseaux. Elle porte sur l'engagement de ressources (humaines, financières et techniques) et vise à atteindre un objectif qualité. Ainsi défini, un programme de renouvellement introduit les caractéristiques de nature et de portée liées à une décision. L'engagement de l'entreprise lors d'une décision est essentiellement déterminé par ces deux aspects. Si l'on reprend la décomposition proposée par [ANS 89], la nature ou l'objet d'une décision peut être segmentée à trois niveaux d'importance :

- niveau stratégique : décision portant sur les relations entreprise et parties prenantes (diversification, acquisition, fusion, etc.) et influant sur les décisions de niveau tactique ;
- niveau tactique : décision portant sur la gestion des ressources de l'entreprise (maintien, modernisation, expansion ou organisation) et dont la mise en œuvre est réalisée au niveau opérationnel ;
- niveau opérationnel : décision portant sur le fonctionnement de l'entreprise (planification, production, etc.).

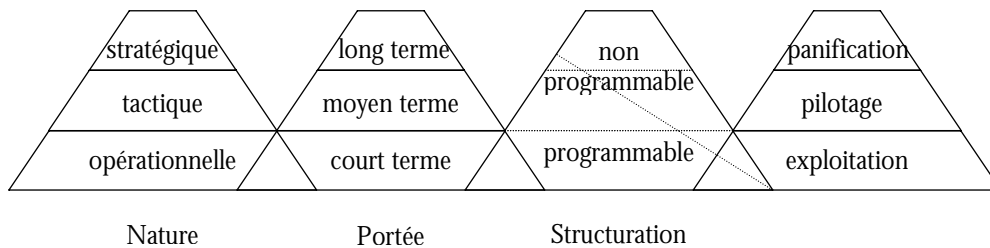


Figure IV.1 : Nature et portée des décisions

À la nature d'une décision est associée la portée de ses conséquences dans le temps. Nous retrouvons une segmentation équivalente à la précédente dans le découpage suivant :

- long terme : décision portant sur l'existence, la durabilité ou le développement de l'entreprise et généralement définie dans la politique générale ;
- moyen terme : décision ou ensemble de décisions portant sur le fonctionnement ou le développement de l'entreprise ;
- court terme : décision portant sur le fonctionnement de l'entreprise.

Une décision peut également être caractérisée en fonction de son niveau de structuration, différenciant ainsi les décisions programmables (fortement structurées) et les décisions non programmables (faiblement structurées ou non structurées). Un programme pluriannuel de renouvellement définit une succession d'actions exécutées dans un ordre prédéterminé satisfaisant un ensemble de contraintes. Ainsi, sur la base des caractéristiques d'une décision (voir figure IV.1), il traduit le choix d'un ensemble d'actions programmables, planifiées à moyen terme, de nature tactique (engagement de ressources financières et humaines) et stratégique (conventions de concession liant les parties prenantes), et d'une portée à long terme (évolution des réseaux de distribution et objectifs qualité et sécurité).

2.1.2 Processus décisionnel

Un programme de renouvellement est le résultat d'un processus décisionnel, en l'occurrence explicité dans la démarche d'élaboration des schémas directeurs d'évolution des réseaux de distribution (voir §

II.2.3). De façon plus générale, H.A. SIMON³ décrit le processus cognitif de prise de décision (processus décisionnel) comme l'enchaînement des trois phases suivantes [SIM 60], [SIM 76], [DAR et al. 95] :

- phase de compréhension (de l'anglais "intelligence") : analyse de la situation et du problème ;
- phase de modélisation (de l'anglais "design") : formulation du problème (mise en évidence des écarts entre la situation actuelle et la situation objectée) et description des solutions potentielles ;
- phase de sélection (de l'anglais "choice") : choix d'une solution en fonction de critères concrets (objectifs, normes, etc.) ou abstraits (intuition, motivation, etc.), appréhendés par le décideur⁴ avec ou sans le soutien d'outils et de techniques d'aide à la décision (voir § IV.2.2) ;

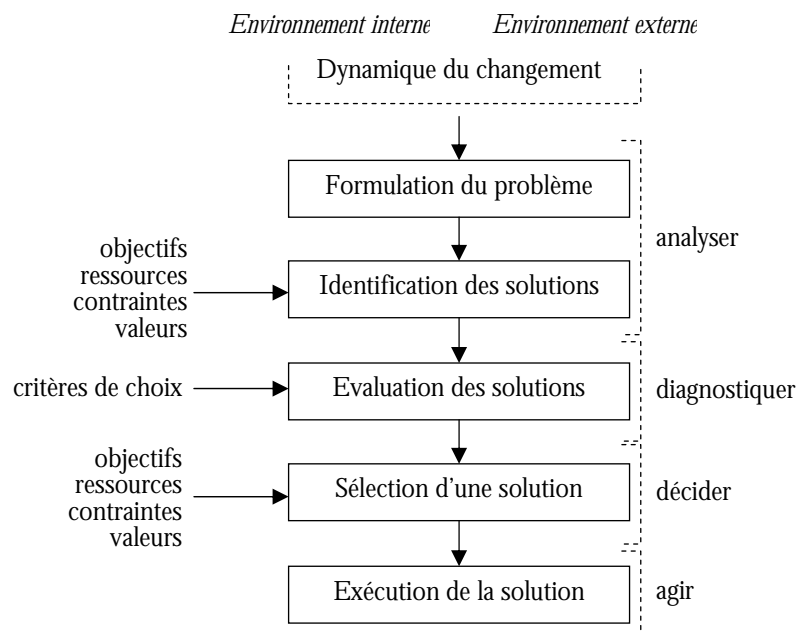


Figure IV.2 : Processus décisionnel

La figure IV.2 issue de [DAR et al. 95] synthétise le modèle de H. A. SIMON [SIM 60].

2.2 Aide à la décision

L'aide à la décision est un domaine extrêmement vaste. Chercher à en donner une vue d'ensemble s'avérerait être un travail conséquent et a fortiori nécessairement incomplet. Nous présenterons les concepts de base⁵. Le processus de prise de décision énoncé précédemment met en évidence l'existence de situations complexes et conflictuelles dont le choix d'une solution optimale par le décideur s'avère être un exercice difficile. Selon le modèle de "rationalité limitée" proposé par H.A. SIMON [SIM 97], le décideur est naturellement tenté de s'orienter vers une approche monocritère, occultant ainsi la prise en compte de la complexité de la réalité et aboutissant au choix d'une solution

³ Herbert Alexander SIMON est l'un des précurseurs de l'école de la décision. C'est avec son livre *Administrative Behavior* publié en 1945 que se développera une véritable théorie administrative de la décision [SIM 76]. Ses contributions à l'analyse des processus décisionnels lui ont valu le Prix Nobel de science économique en 1978.

⁴ Est dénommé décideur tout individu (ou groupe d'individus) qui, "face à une situation de décision donnée, a la responsabilité de l'action" [MOU 93].

⁵ Le lecteur intéressé par une description détaillée de l'aide multicritère à la décision peut consulter avec intérêt les ouvrages [POM et al. 93], [ROY 85] et [ROY et al. 93].

satisfaisante mais non optimale. L'approche multicritère de l'aide à la décision permet de pallier à cette régression en augmentant le niveau de réalisme et de lisibilité donné au décideur [POM et al. 93]. Construire un modèle prenant explicitement appui sur plusieurs critères, traduit et formalise, "un mode de raisonnement intuitif et naturel face à un problème de décision qui consiste à analyser séparément chaque conséquence" [MOU 93]. L'aide à la décision permet ainsi d'éclairer le décideur au cours des phases du processus décisionnel.

2.2.1 Définitions

B. ROY⁶ définit l'aide à la décision comme : "...l'activité de celui qui, prenant appui sur les modèles clairement explicités mais non nécessairement complètement formalisés, cherche à obtenir des éléments de réponses aux questions que se pose un intervenant dans un processus de décision, éléments concourant à éclairer la décision et normalement à prescrire, ou simplement à favoriser, un comportement de nature à accroître la cohérence entre l'évolution du processus d'une part, les objectifs et le système de valeurs au service desquels cet intervenant se trouve placé d'autre part" [ROY 85].

2.2.1.1 Intervenants

Si l'on se réfère au processus décisionnel énoncé précédemment, la décision est la résultante d'interactions entre de multiples acteurs⁷. Parmi ces acteurs, il est courant de différencier : les "**intervenants**" qui, "par leur intervention conditionnent directement la décision en fonction du système de valeurs dont ils sont porteurs" et les "agis" qui subissent la décision, laquelle doit, dans la mesure du possible, tenir compte de leurs préférences [ROY et al. 93]. Parmi les intervenants se trouve le **décideur**, pour lequel s'exerce l'aide à la décision. Enfin, si l'on se réfère à la définition de l'aide à la décision donnée ci-dessus, l'aide à la décision est prise en charge par **l'homme d'étude**. L'activité de ce dernier prend toute son importance en phase de sélection (voir figure IV.2), "charnière entre la réflexion et l'action" [ROY 85]. **L'objectif de l'aide à la décision est d'établir une prescription** [BOU 84]. Elle joue donc un rôle considérable puisqu'elle constitue tout ou partie de l'information portée au décideur et sur laquelle il s'appuie dans son choix. Précisons toutefois que le décideur demeure responsable des décisions qu'il prend [DAR et al. 95]. Il est en outre nullement obligé de respecter les choix qui lui sont proposés, en particulier lorsque son intuition lui dicte des tactiques que l'aide à la décision ne saurait mettre en évidence. Dans le cadre de notre étude, l'évaluation de priorité de renouvellement est un critère de sélection et de rangement des installations à traiter en priorité (voir § IV.2.2.4). Le rangement, qui est l'une des quatre problématiques de références de l'aide à la décision (voir § IV.2.2.3), est donné au titre d'une aide au choix de renouvellement.

2.2.1.2 Actions

Le terme action est un terme générique qui désigne l'objet sur lequel se porte la décision. Les éléments d'information qu'un décideur attend de l'aide à la décision peuvent, selon le problème posé, concerner les alternatives, les solutions ou dans le cas présent les configurations, qu'il peut respectivement envisager d'exécuter, de retenir ou de traiter en priorité à plus ou moins longue échéance selon la situation considérée. Le terme action potentielle (ou réalisable) désigne aussi bien les "actions réelles", déjà réalisées ou susceptibles de l'être, que les "actions fictives", non réalisées ou traduisant une solution non encore entièrement élaborée [ROY et al. 93]. Nous notons A l'ensemble des actions réalisables. Dans le cadre de notre étude, la décision de renouvellement porte sur l'ensemble des installations du réseau de distribution. Une action est représentée par la configuration d'une installation de distribution. Nous notons RE le Réseau Existant, objet de l'étude de schéma directeur et RC le Réseaux

⁶ Bernard ROY, professeur à l'Université Paris-Dauphine, est le fondateur du Laboratoire Analyse et Modélisation de Systèmes pour l'Aide à la Décision (LAMSADE) dans lequel il est aujourd'hui responsable du thème de recherche "Aide multicritère à la décision : bases axiomatiques, conceptuelles et procédurales".

⁷ Un acteur est un individu ou un groupe d'individus qui, sur la base de son système de valeurs, influence directement ou indirectement la décision [ROY et al. 93].

Cible du réseau restructuré. L'ensemble des actions potentielles est tel que $A \subseteq RE \cup RC$. Extension faite à l'ensemble des réseaux de distribution, A désigne alors l'ensemble des configurations d'installations techniquement possibles, compte tenu des technologies existantes. Ainsi, une action est définie par un n-uplets composé de n données descriptives :

$$\forall a \in A, a = \{d_1(a), d_2(a), \dots, d_n(a)\} \quad (\text{IV.1})$$

"Aider à la décision" implique de prendre en compte les préférences des intervenants du processus de décision [ROY et al. 93]. L'expression de ces préférences peut se traduire par trois situations incompatibles : l'indifférence, la préférence ou l'incomparabilité. Ces situations servent de base à la comparaison d'actions [ROY 85], [FIS 70]. Pour tout couple d'action $a, b \in A$, une et une seule des relations binaires suivantes est vérifiée :

- aIb : a est indifférente à b . La relation I est réflexive et symétrique⁸ ;
- aPb : a est préférée à b . La relation P est irreflexive et asymétrique ;
- aRb : a est incomparable à b . La relation R est symétrique et irreflexive.

Les relations d'indifférence, de préférence et d'incomparabilité traduisent respectivement l'existence d'éléments qui montrent l'équivalence entre les actions, la préférence d'une action par rapport à l'autre ou l'absence de raisons suffisantes justifiant l'une des deux situations précédentes. A chaque occurrence d'une relation est attachée une **valeur sémantique**. Par exemple, si l'on considère deux d'installations $ins1, ins2 \in A$, la relation $ins1 P ins2$ se lit : "il est préférable de renouveler l'installation $ins1$ en priorité par rapport à l'installation $ins2$ ".

2.2.1.3 Critère

La première étape de la modélisation consiste à identifier un ensemble ou une famille F de n critères que nous notons : $F = (g_1, g_2, \dots, g_n)$. **Un critère permet d'évaluer et de comparer des actions potentielles selon un objectif bien défini. A chaque critère est associé une donnée descriptive unique.** Sur la base de la définition donnée par [MOU 93], un critère g est une fonction à valeurs réelles définie sur A permettant de déterminer le résultat de la comparaison de toute paire d'action relativement à un objectif associé, de sorte que :

$$\forall a, b \in A, g(a) > g(b) \Rightarrow aP_g b \quad (\text{IV.2})$$

où P_g est l'expression des préférences partielles de a par rapport à b relativement au critère g . A chaque critère g est associé une **échelle de mesure** E_g représentant les valeurs possibles que peut prendre le critère. **A toute action est associé un vecteur performance** : $\forall a \in A, (g_1(a), g_2(a), \dots, g_n(a))$ traduisant l'image de l'action a dans l'espace des critères [MOU 93]. Par commodité, l'ensemble de ces résultats peut être représenté sous la forme d'un tableau dit de "performances" (voir tableau IV.1).

⁸ Une relation binaire R est dite :

- symétrique ssi $\forall a, b \in A, aRb \Rightarrow bRa$;
- asymétrique ssi $\forall a, b \in A, aRb \Rightarrow \neg(bRa)$;
- réflexive ssi $\forall a \in A, aRa$;
- irreflexive ssi $\forall a \in A, \neg(aRa)$.

	g_1	g_2	...	g_j	...	g_n
a_1	$g_1(a_1)$	$g_2(a_1)$	...	$g_j(a_1)$	...	$g_n(a_1)$
a_2	$g_1(a_2)$	$g_2(a_2)$	...	$g_j(a_2)$	...	$g_n(a_2)$
...
a_i	$g_1(a_i)$	$g_2(a_i)$	...	$g_j(a_i)$	...	$g_n(a_i)$
...
a_p	$g_1(a_p)$	$g_2(a_p)$	...	$g_j(a_p)$	...	$g_n(a_p)$

Tableau IV.1 : Tableau de performances

Dans le cadre de notre étude, l'évaluation de la priorité de renouvellement constitue le résultat final attendu. La priorité de renouvellement est un critère unique dit "de synthèse". L'approche du critère unique de synthèse repose sur l'agrégation des préférences partielles d'une famille de critères, selon une procédure précise (voir § IV.2.2.4). Elle permet ainsi le rangement des installations sur la base d'un indicateur de préférence globale unique, lequel est censé prendre en compte l'ensemble des préférences exprimées par les intervenants de l'aide à la décision.

2.2.1.4 Exemple de compréhension

Nous allons illustrer les définitions données précédemment à l'aide d'un exemple simple issu des résultats de l'étude de sécurité principale des installations de distribution (voir § III.5). Le problème posé consiste à ranger les installations en fonction de leur priorité de renouvellement et au regard des risques identifiés dans l'étude de sécurité principale. Nous considérons une portion localisée du réseau de distribution existant, limité à deux ouvrages seulement :

$$A = \{ins1, ins2\} \tag{IV.3}$$

avec $ins1 = \{plomb, BP, local_poubelle\}$, $ins2 = \{acier, MP, local_poubelle\}$.

Chaque action ainsi définie est composée de trois données descriptives :

$$\forall a \in A, a = \{d_1(a), d_2(a), d_3(a)\} \tag{IV.4}$$

avec $d_1 = \{plomb, acier\}$, $d_2 = \{BP, MP\}$, $d_3 = \{local_poubelle\}$.

Rappelons que l'étude de sécurité principale a mis en évidence un certain nombre d'éléments de configuration dits "à risque" ($ins1$ donnée ci-dessus en est l'exemple type). Pour être pris en compte, ce type de configuration nécessite de considérer les critères de nature des matériaux, de type d'alimentation réseau et de lieu de passage. Nous avons donc une famille F composée de 3 critères :

$$F = (g_1, g_2, g_3) \tag{IV.5}$$

ou g_1 représente le critère "matériaux", g_2 représente le critère de "alimentation" et g_3 représente le critère "lieu de passage". Il est intéressant de constater qu'**à chaque critère est attaché une et une seule donnée descriptive**. En particulier, en considérant une échelle de mesure qualitative unique $E = \{faible, moyen, fort\}$ et sur la base de l'étude de sécurité principale, nous avons par exemple :

$g_1(plomb) = fort$; $g_1(acier) = moyen$; $g_2(BP) = fort$; et $g_2(MP) = faible$. L'ensemble de ces résultats est présenté à l'aide d'un tableau de performance (voir tableau IV.2).

	matériaux	alimentation	lieu de passage
ins1	fort	fort	fort
ins2	moyen	faible	fort

Tableau IV.2 : Exemple de tableau de performances

Ainsi, si l'on considère les préférences partielles de *ins1* par rapport à *ins2* relativement à la famille de critère F , nous avons :

$$\begin{aligned}
 g_1(\text{ins1}) > g_1(\text{ins2}) &\Rightarrow \text{ins1}P_{g_1}\text{ins2} \\
 g_2(\text{ins1}) > g_2(\text{ins2}) &\Rightarrow \text{ins1}P_{g_2}\text{ins2} \\
 g_3(\text{ins1}) = g_3(\text{ins2}) &\Rightarrow \text{ins1}I_{g_3}\text{ins2}
 \end{aligned}
 \tag{IV.6}$$

Dans l'état actuel de nos connaissances, nous pouvons conclure qu'il est préférable de renouveler l'installation *ins1* en priorité par rapport à l'installation *ins2* (*ins1* est en situation de préférence pour les critères g_1 et g_2 , et en situation d'indifférence pour le critère g_3). Cette conclusion sera justifiée à la suite avec le développement du concept de préférence globale (voir § IV.2.2.4).

2.2.2 Démarches de modélisation

Une prescription est l'aboutissement d'un raisonnement qui permet de construire une préférence globale à partir des performances d'une famille de critères et en appréhendant le système de préférence des intervenants pour qui s'exerce l'aide à la décision. Cette construction fait référence à la phase de modélisation du problème décisionnel. Un modèle d'aide à la décision peut être élaboré de diverses façons. Sont généralement distinguées trois démarches dont la différence principale porte sur leur manière d'aborder la réalité [ROY 92] :

- **démarche descriptive** : vise à décrire et à expliquer le problème décisionnel, à partir du système de préférences des intervenants, qu'il s'agit d'appréhender de la manière la plus fidèle possible, sans le perturber [BOU 90], [ROY et al. 93] ;
- **démarche axiomatique** : sur la base d'un système d'axiomes "caractérisant le comportement rationnel en matière de décision" [MOU 93], prescrit aux intervenants un ensemble de principes et de règles à suivre pour modéliser le problème décisionnel ;
- **démarche constructive** : élabore le modèle d'aide à la décision à partir de "la partie stable de la perception du problème" qu'ont les intervenants et en ayant recours à des concepts et des modes de représentation permettant d'enrichir cette perception [BOU 90].

Démarches descriptive et constructive sont opposées dans l'attitude adoptée pour modéliser les préférences. L'approche descriptive considère l'existence d'un système de préférences réelles et objectives que l'homme d'étude peut appréhender sans perturber, alors que l'approche constructive considère que le système de préférence est conflictuel, peu structuré et surtout appelé à évoluer au cours du processus d'aide à la décision : "... Il est fréquent d'observer que sous l'effet même du processus de résolution de problème (autrement dit du rôle que jouent certains acteurs dans ce processus), la formulation du problème se trouve modifiée" [ROY 92]. Ces démarches sont historiquement nées de deux courants de pensées fort différents⁹. D'une part une école américaine reposant essentiellement sur le développement de l'axiomatique [VON et al. 47], de la théorie de l'utilité et des démarches descriptives [KEE 92], d'autre part une école française, avec pour principaux travaux ceux de B. ROY et reposant sur le

⁹ Le lecteur trouvera un historique du développement des méthodes de décision multicritère particulièrement détaillé dans les ouvrages de [ROY 85], [POM et al. 93], ainsi que dans la thèse de doctorat de [BOU 84].

développement des méthodes de surclassement et des démarches constructives [BOU 84]. La méthode AHP choisie est une méthode descriptive reposant sur la théorie de l'utilité (voir § IV.3). Cette dernière est particulièrement adaptée à la problématique de rangement (ordre complet), objet de cette étude.

2.2.3 Problématiques d'aide à la décision

Au-delà d'un aspect purement descriptif, la formulation d'un problème décisionnel s'inscrit dans l'une des trois problématiques d'aide à la décision identifiées par B. ROY, à savoir les problématiques de choix, de tri ou de rangement [ROY 73] :

- la **problématique du choix** consiste à scinder l'ensemble des actions potentielles en un sous-ensemble d'actions "acceptées" et un sous-ensemble d'actions "rejetées", par comparaison relative des actions. Il s'agit donc de formuler le meilleur choix en identifiant les meilleures solutions sans pour autant retenir une solution unique. En d'autres termes, la problématique de choix consiste à sélectionner k actions avec $1 \leq k < n$ et $n = Card(A)$ [BAN 96] ;
- la **problématique du tri** consiste à répartir les actions potentielles dans des catégories préalablement définies. L'affectation à une catégorie est déterminée à partir des caractéristiques propres de chaque action. Les catégories peuvent être partiellement ou totalement ordonnées ;
- la **problématique de rangement** consiste à établir un ordre partiel ou complet sur l'ensemble des actions potentielles, par comparaison relative des actions. Cette problématique nécessite d'exploiter au mieux l'ensemble des informations permettant de comparer les actions et en particulier les préférences globales que l'on peut exprimer sous la forme d'un critère unique de synthèse par exemple (voir § IV.2.2.4). Notre étude s'inscrit dans cette problématique. Elle vise à ranger les installations en fonction de la priorité de renouvellement (voir § II.2.4.4). Le rangement produit exprime une priorité plus ou moins grande que le gestionnaire attache au renouvellement de chaque installation.

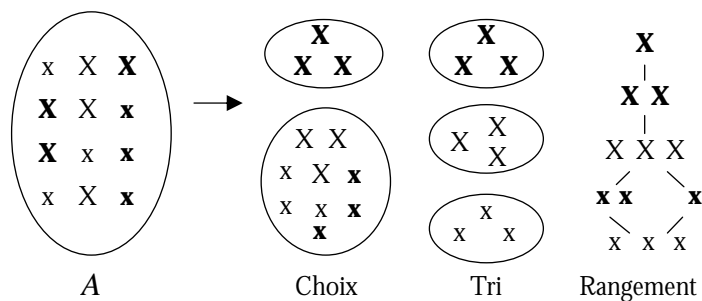


Figure IV. 3 : Problématiques d'aide à la décision [MOU 93]

2.2.4 Approches opérationnelles du critère unique de synthèse

L'agrégation des performances vise à bâtir une préférence globale et pose donc le problème de leur agrégation. Plusieurs approches opérationnelles de l'aide multicritère à la décision le permettent. Les principales sont l'approche du critère unique de synthèse et l'approche du surclassement de synthèse¹⁰. Ces approches se différencient par la nature de l'information préférentielle requise et la logique d'agrégation dans laquelle cette information est utilisée¹¹. La construction d'une préférence globale introduit le concept de **Procédure d'Agrégation MultiCritère** (ou PAMC) permettant d'agréger les

¹⁰ L'approche de surclassement est mise en œuvre dans les méthodes ELECTRE (ELimination Et Choix Traduisant la REalité) développées par B. ROY [ROY 85], [MOU 93], [POM et al. 93].

¹¹ Le lecteur désirant connaître les caractéristiques et les différences de ces approches consultera [MOU 93].

performances d'une action par rapport à un ensemble de critères donnés (fonction d'agrégation). **L'approche du critère unique de synthèse consiste à ramener les préférences partielles de chaque critère à un critère unique par agrégation**, modélisant ainsi les préférences globales des intervenants pour qui s'exerce l'aide. Cette approche repose sur l'application d'une PAMC à une structure multicritère de préférence composée d'une information intra-critère (préférences partielles entre actions relativement à un critère) et d'une information inter-critères (importance relative des critères). Elle aboutit à l'évaluation d'un critère g unique agrégeant les n critères d'une famille considérée, à l'aide d'une fonction d'agrégation V [ROY et al. 93] :

$$g(a) = V(g_1(a), g_2(a), \dots, g_n(a)) \quad (\text{IV.7})$$

Ainsi défini, le critère g est une fonction à valeurs réelles définie sur A telle que : $\forall a, b \in A$,

$$g(a) > g(b) \Leftrightarrow aPb \quad (\text{IV.8})$$

$$g(a) = g(b) \Leftrightarrow alb$$

où P et I expriment respectivement la préférence globale ou l'indifférence de a par rapport à b relativement à (g_1, g_2, \dots, g_n) .

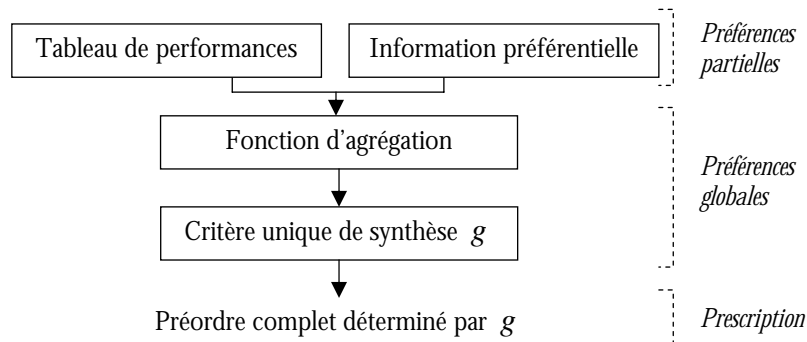


Figure IV.4 : Approche du critère unique de synthèse

L'élaboration du critère unique de synthèse nécessite l'ajout d'une information additionnelle inter-critères relative aux préférences du décideur. L'information inter-critères permet de "raisonner les résultantes de conflits entre critères" dans la comparaison d'actions [ROY et al. 93]. En d'autres termes, elle permet de "**différencier le rôle de chaque critère dans la construction des préférences globales en particulier en leur attribuant une importance distincte**" [MOU 93]. L'information inter-critères peut prendre différentes formes. Dans le cadre d'étude qui nous concerne et qui est celui de la méthode AHP, il s'agit de coefficients d'importances présentés sous la forme du vecteur propre principal d'une matrice de comparaison :

- à chaque critère j est associé un nombre $k_j > 0$ qui caractérise l'importance relative du critère j dans l'évaluation des préférences globales relatives à une famille de critères ;
- plus le coefficient k_j est grand, plus le critère j influe dans l'évaluation des préférences globales.

L'Importance Relative des Critères (ou IRC) est également appelée "poids" ou paramètre d'importance. L'IRC est acquise à l'aide d'une **Méthode d'Évaluation des Paramètres d'Importance** (ou MEPI) [MOU 93]. Une MEPI spécifie un protocole de questionnement pour l'acquisition des connaissances du décideur et une méthode de déduction déterminant la valeur des paramètres d'importance à partir de l'information acquise. La MEPI de la méthode AHP est un procédé de comparaison par paire (voir § IV.3.2.2).

3 Procédure d'Analyse Hiérarchique

Le processus d'analyse hiérarchique ou AHP (de l'anglais Analytic Hierarchy Process) a été développé à la Wharton School of Business de l'Université de Pennsylvanie par T.L. SAATY¹² [SAA 80]. La méthode AHP a été appliquée à de très nombreux problèmes. En 1995, on dénombrait plus de 1 000 articles de revues scientifiques traitant de l'AHP [FOR 00]. La méthode AHP a été implantée dans de nombreux logiciels d'aide à la décision, au premier rang desquels se trouve le logiciel ExpertChoice¹³ développé par E.H. FORMAN¹⁴ et T.L. SAATY. La méthode AHP est construite à partir de différents niveaux de critères. Elle permet ainsi :

- de décomposer un problème complexe et non structuré en ses éléments constituants ;
- de modéliser ces éléments sous la forme d'une structure hiérarchique ;
- de quantifier l'importance relative de chaque élément à partir de jugements subjectifs ;
- et enfin, de synthétiser l'importance relative de chaque élément de la hiérarchie en une préférence globale afin de déterminer des priorités parmi les actions potentielles.

La méthode AHP permet de compenser la dégradation de performance d'une action sur certains critères par sa performance sur d'autres. Une telle méthode est dite **compensatoire**. Afin de mesurer les qualités intangibles d'éléments de nature différente, elle repose sur l'utilisation d'une échelle de mesure unique (voir tableau IV.3). Elle permet ainsi de résoudre un grand nombre de problèmes décisionnels de façon quantitative en élaborant un modèle d'aide à la décision, représenté sous la forme d'une hiérarchie. Elle repose principalement sur une démarche descriptive afin de "tenir compte de la nature humaine" plutôt que de lui imposer un mode de pensée particulier [SAA 81].

3.1 Principes de pensée

La résolution de problèmes décisionnels selon la méthode AHP repose sur trois principes fondamentaux dont l'énoncé est donné dans les paragraphes qui suivent.

3.1.1 Construction de hiérarchies

L'analyse logique d'un problème décisionnel conduit à le décomposer en ses composantes principales et à réitérer cette décomposition sur les composantes ainsi obtenues autant de fois que nécessaire. Ce principe de pensée analytique est lié à la faculté naturelle que l'homme a de raisonner en termes d'objets, sur la base de sa propre expérience et de son intuition [WHY 69]. Ce découpage logique constitue l'énoncé du premier principe de la méthode. Ainsi, **la construction de hiérarchie s'opère selon une démarche descendante**. Elle conduit à structurer la réalité complexe en une arborescence hiérarchique [FOR 00]. La décomposition en ensembles homogènes de niveaux hiérarchiques différents a pour avantage principal d'associer d'importantes quantités d'informations à la structure d'un problème

¹² Thomas SAATY, docteur en mathématique, est actuellement professeur à l'université de Pittsburgh. Il a été directeur exécutif du "Conference Board of Mathematical Science", expert auprès de l'Agence sur le Contrôle des Armes et le Désarmement, responsable de la branche mathématique du Bureau de Recherche Navale et directeur de la Planification Avancée pour le Groupe d'Analyse Navale. Il a été professeur de recherche opérationnelle et de mathématiques appliquées à la Wharton School de l'Université de Pennsylvanie.

¹³ Le site Internet www.expertchoice.com est le portail du logiciel et de la méthode.

¹⁴ Ernest FORMAN, docteur en recherche opérationnelle, est professeur à la Business and Public Management School de l'Université George Washington. Il a travaillé conjointement avec T.L. SAATY au développement du logiciel ExpertChoice. E. FORMAN est auteur de plusieurs ouvrages traitant de la méthode AHP dont [FOR 00].

décisionnel. Elle permet également d'obtenir une modélisation globale du système étudié, rejoignant ainsi les principes de l'analyse systémique.

3.1.2 Structuration de priorités

La faculté de vision "systémique" de l'homme lui permet de percevoir les relations d'interdépendance qui régissent les objets qu'il observe. Cette perception lui permet également de comparer et de différencier ces objets à l'aide de critères, estimant ainsi pour chaque couple d'objets "l'intensité de sa préférence pour l'un par rapport à l'autre" [SAA 81]. Nous retrouvons dans cet énoncé la notion d'IRC abordée dans § IV.2.2.4. Appliquée à une hiérarchie, **la structuration de priorités consiste alors à définir des priorités en comparant par paire tous les couples de critères de même niveau hiérarchique**. Ce procédé de comparaison est appliqué à tous les niveaux de la hiérarchie. L'IRC ainsi obtenue est agrégée selon une démarche ascendante pour aboutir à un critère unique de synthèse en racine de l'arborescence.

3.1.3 Cohérence logique

La construction de hiérarchie et la structuration de priorités doivent garantir une cohérence dans l'homogénéité et la pertinence des groupements, ainsi que dans le rapport de proportion entre les paramètres d'importances. Nous allons illustrer ces deux aspects de cohérence à l'aide de deux exemples :

- la construction d'ensembles de critères homogènes repose sur l'existence d'un "lien sémantique logique" les unissant. Ainsi, nous pouvons par exemple inclure le soleil et une orange au sein d'un ensemble homogène, si le critère retenu est la forme. Il en serait autrement si nous avions retenu le critère de taille ;
- la cohérence des intensités de préférence peut être illustrée par l'exemple suivant : en considérant le diamètre comme critère de comparaison, si une balle de tennis de table est jugée 2 fois plus petite qu'une balle de tennis et si une balle de tennis est jugée 4 fois plus petite qu'un ballon de football, alors la balle de tennis de table doit être jugée 8 fois plus petite que le ballon de football.

L'usage de ces principes confère à la méthode AHP une aptitude à intégrer simultanément les aspects qualitatifs et quantitatifs de la pensée humaine : "le qualitatif pour définir le problème et sa hiérarchie, et le quantitatif pour exprimer de façon concise les avis et les préférences" [FOR 83], [SAA 81].

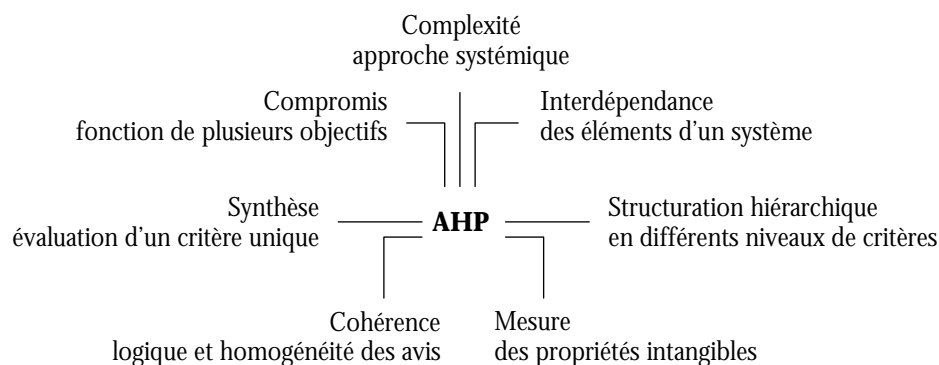


Figure IV.5 : Avantages de la méthode AHP [SAA 81]

3.2 Démarche

La méthode AHP a recours à différentes formes de connaissances, au fur et à mesure de son déroulement. Lors de l'analyse du problème décisionnel, elle fait en particulier appel à l'imagination et à

l'expérience pour définir la hiérarchie du problème. Lors du diagnostic ou de l'expertise, elle fait appel à la logique et à l'intuition du ou des décideurs pour proposer des appréciations. Elle permet ainsi "d'identifier, de comprendre et d'évaluer les interactions d'un système considéré dans sa globalité" [SAA 81]. L'établissement d'une hiérarchie est composé des trois phases successives suivantes : décomposition, estimation de l'IRC et évaluation du critère unique de synthèse.

3.2.1 Décomposition du problème

La première phase de la méthode AHP consiste à analyser le problème afin d'identifier les divers aspects et caractéristiques susceptibles de participer à sa résolution et en particulier d'en extraire le **but** (ou cible), les **objectifs** et l'ensemble des **actions potentielles**. Une fois identifiés, ces éléments sont situés les uns par rapport aux autres en niveaux homogènes selon le principe de construction hiérarchique (voir § IV.3.1.1). Dans le cas le plus fréquent, à la racine figure la préoccupation centrale du problème (cible). Au centre figure un ou plusieurs niveaux intermédiaires d'objectifs ou de sous-objectifs. Enfin, à la base figure l'ensemble des actions potentielles. Cependant, selon le type de problème posé et en particulier selon le nombre d'actions considérées, deux modes de représentation hiérarchiques sont différenciés :

- dans le cas où le nombre d'actions considérées est limité¹⁵, les actions sont représentées dans les feuilles de la hiérarchie. Nous parlerons alors de hiérarchie de type $(1 - n)$;
- dans le cas où le nombre d'actions est grand, les feuilles de la hiérarchie sont alors construites à partir de listes de valeurs (type énuméré) issues des données descriptives des actions¹⁶. Dans ce dernier cas, chaque action est alors représentée par une occurrence des feuilles de la hiérarchie. Nous parlerons alors de hiérarchie de type $(1 - \infty)$.

La figure IV.5 illustre ces deux modes de représentation en proposant une modélisation de l'exemple de compréhension donné dans § IV.2.2.1.4.

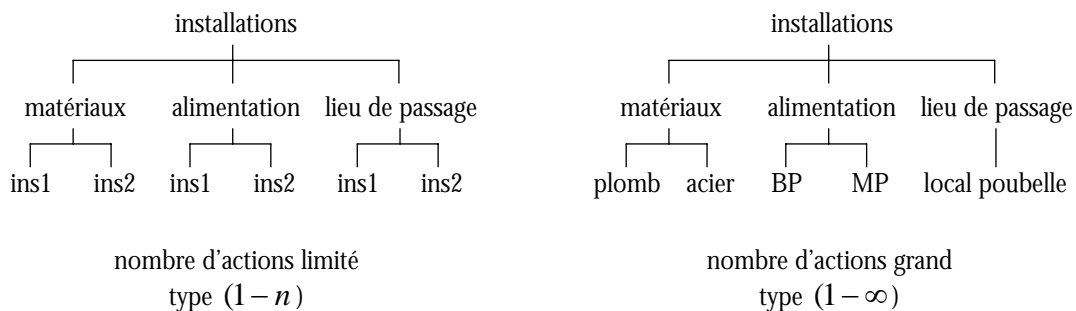


Figure IV.6 : Modes de représentation hiérarchique

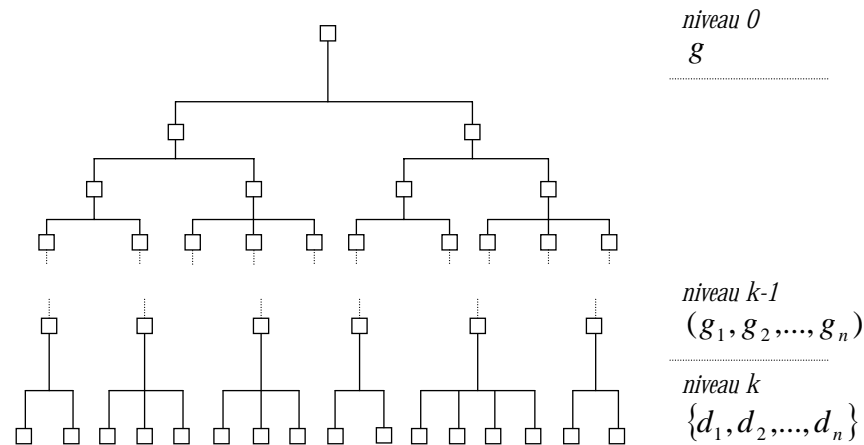
Dans le cas de notre étude, le nombre d'actions potentielles¹⁷ est très grand (de l'ordre de plusieurs milliers). Aussi opterons-nous pour le choix d'une hiérarchie de type $(1 - \infty)$. Si l'on étudie plus en détail ce mode de représentation (voir figure IV.7), on constate que la structure d'une hiérarchie de k niveaux est composée comme suit :

¹⁵ Du fait du procédé de comparaison par paire, le seuil du nombre d'actions déterminant le choix de l'une ou l'autre des représentations est bas. Des travaux ont montré qu'au-delà de 10 actions, la cohérence des comparaisons produites est dégradée [SAA 81].

¹⁶ Dans le cas de données numériques, celles-ci sont discrétisées en un ensemble d'intervalles de valeurs.

¹⁷ Chaque installation de distribution représente une action potentielle.

- le niveau 0 est composé du critère unique de synthèse $g = V(g_1, g_2, \dots, g_n)$, obtenu par agrégation des familles de critères de niveaux inférieurs ;
- les niveaux $1, 2, \dots, k-1$ constituent la structure multicritère de préférence ;
- le niveau $k-1$ est composé de la famille de critère $F = (g_1, g_2, \dots, g_n)$;
- le niveau k est composé des données descriptives des actions : $a = \{d_1(a), d_2(a), \dots, d_n(a)\}$. A chaque critère $g_i \in F$ de niveau $k-1$ est associé la liste de valeurs de la donnée descriptive d_i .

Figure IV.7 : Structure hiérarchique de type $(1 - \infty)$

Le nombre de niveaux d'une hiérarchie dépend du problème posé, en théorie leur nombre n'est pas limité. Il n'existe aucune règle établie pour construire des hiérarchies [SAA 81]. Dans de nombreuses situations, le nombre de niveaux peut être volontairement augmenté pour faciliter l'analyse des comparaisons et pour augmenter la cohérence et la précision des jugements formulés.

3.2.2 Estimation de l'Importance Relative des Critères

Chaque critère de même niveau hiérarchique ne revêt pas la même importance dans sa capacité à résoudre le problème. La hiérarchie étant établie, la seconde phase de la méthode consiste donc à **quantifier les intensités de préférence entre les éléments de même niveau**. En d'autres termes, déterminer l'information préférentielle inter-critère permettant d'établir exactement la position relative de chaque élément pour chaque niveau. L'estimation de l'IRC est composée des trois étapes suivantes : établissement de priorités, synthèse des appréciations et calcul de cohérence.

3.2.2.1 Etablissement de priorités

La MEPI de la méthode AHP repose sur un processus de comparaisons par paire. **Les critères de même niveau sont comparés deux à deux relativement au critère père de niveau supérieur**. Le processus de comparaison par paire débute par la sélection de critère père g_A et se poursuit par la comparaison des n critères de niveau immédiatement inférieur. Les comparaisons de paires de critères (g_i, g_j) sont effectuées à l'aide d'une échelle sémantique à laquelle est associée une échelle numérique (voir tableau IV.3). L'échelle sémantique reflète en nature et en intensité l'expression de préférence partielle entre chaque critère. Dans son ouvrage, E.H. FORMAN distingue trois types de liens sémantiques : l'importance, la préférence ou la probabilité [FOR 00]. L'échelle numérique initiale proposée

par T.L. SAATY est une échelle de mesure à 9 moments. Le choix de cette dernière repose sur notre capacité naturelle à "établir des distinctions dans la force des relations qui existent entre les éléments" [SAA 81].

Valeur numérique	Echelle sémantique	Description
1	Importance égale des deux critères	Les deux critères contribuent autant au critère père.
3	Faible importance d'un critère par rapport à un autre	L'expérience et l'appréciation personnelles favorisent légèrement un élément par rapport à un autre.
5	Importance forte ou déterminante d'un critère par rapport à un autre	L'expérience et l'appréciation personnelles favorisent fortement un critère par rapport à un autre.
7	Importance attestée d'un critère par rapport à un autre	Un critère est fortement favorisé et sa dominance est attestée dans la pratique.
9	Importance absolue d'un critère par rapport à un autre	Les preuves favorisant un critère par rapport à un autre sont aussi convaincantes que possible.
2,4,6,8	Valeurs intermédiaires entre deux appréciations voisines	Un compromis est nécessaire entre deux appréciations

Tableau IV.3 : Echelle de mesure de la méthode AHP

Les comparaisons par paire sont présentées dans une matrice carrée, réciproque, de dimension n , notée $M = (m_{i,j})$ ou $m_{i,j}$ représente l'importance de g_i sur g_j relativement à g_A et est telle que :

$$m_{i,j} > 0 \quad i, j = 1, \dots, n \quad (\text{IV.9})$$

La comparaison d'un critère avec lui-même donne l'unité :

$$m_{i,i} = 1 \quad i = 1, \dots, n \quad (\text{IV.10})$$

Les positions de transposition de la matrice sont calculées selon l'axiome de réciprocity [FOR 00] :

$$m_{i,j} = \frac{1}{m_{j,i}} \quad i, j = 1, \dots, n \quad (\text{IV.11})$$

L'utilisation de valeurs réciproques pour les positions de transition permet de réduire le nombre de comparaisons à :

$$\frac{n(n-1)}{2} \quad (\text{IV.12})$$

Nous allons illustrer l'établissement de priorités en l'appliquant au critère "matériaux" de l'exemple de compréhension donné dans § IV.2.2.1.4 (voir figure IV.6). Le critère "matériaux" est associé à une donnée descriptive que nous enrichissons du "cuivre", ainsi nous avons $d_1 = \{plomb, cuivre, acier\}$. En référence à l'échelle sémantique donnée précédemment et sur la base d'une simulation de jugements d'experts, nous savons que :

- le plomb est entre légèrement et beaucoup plus "à risque" que l'acier ;
- le plomb est légèrement plus "à risque" que le cuivre ;
- le cuivre est légèrement plus "à risque" que l'acier ;

La matrice de comparaisons issue de ces jugements comporte neuf entrées et est donnée ci-après (voir figure IV.12).

<i>Matériaux</i>	Acier	Cuivre	Plomb
Acier	1	1/2	1/4
Cuivre	2	1	1/2
Plomb	4	2	1

Tableau IV.4 : Matrice cohérente simple

3.2.2.2 Synthèse des appréciations

L'étape de synthèse des appréciations permet d'évaluer l'IRC à partir des appréciations formulées au cours du processus de comparaison par paires. L'IRC prend la forme d'un vecteur :

$$W = (w_1, w_2 \dots w_n) \quad (\text{IV.13})$$

où w_i représente l'importance relative du critère g_i par rapport à sa famille d'appartenance. Le vecteur W peut être obtenu en calculant la moyenne de chaque colonne de la matrice M normalisée¹⁸.

Soit M' la matrice de comparaisons normalisée issue de M et telle que :

$$m'_{i,j} = \left(\sum_{k=1}^n m_{k,j} \right)^{-1} \cdot m_{i,j} \quad i, j, k = 1, \dots, n \quad (\text{IV.14})$$

Alors le vecteur d'importances relatives W est tel que :

$$w_i = \frac{1}{n} \cdot \sum_{j=1}^n m'_{i,j} \quad i, j = 1, \dots, n \quad (\text{IV.15})$$

L'application de (IV.15) à l'exemple de compréhension donné précédemment (voir tableau IV.4 et tableau IV.5) donne les valeurs d'importances relatives suivantes (valeurs approchées) : acier : 0.14 ; cuivre : 0.29 ; et plomb : 0.57. L'interprétation de ces résultats corrobore les résultats de l'étude de sécurité principale et en particulier l'analyse statistique des incidents sur les conduites d'immeubles et conduites montantes. Le plomb est le siège du plus grand nombre d'incidents, viennent ensuite le cuivre puis l'acier (voir figure III.38).

<i>Malléable</i>	Acier	Cuivre	Plomb	<i>Somme ligne</i>	<i>W</i>
Acier	1/7	1/7	1/7	3/7	0.14
Cuivre	2/7	2/7	2/7	6/7	0.29
Plomb	4/7	4/7	4/7	12/7	0.57

Tableau IV.5 : Matrice cohérente normalisée

3.2.2.3 Calcul de cohérence

Nous avons jusqu'à présent considéré le cas de matrices de comparaisons cohérentes. Des appréciations sont dites cohérentes si elles satisfont la propriété de transitivité suivante :

$$m_{i,j} = m_{i,k} \cdot m_{k,j} \quad i, j, k = 1, \dots, n \quad (\text{IV.16})$$

¹⁸ Chaque élément est divisé par la somme des éléments de même colonne.

Les situations de cohérence parfaite sont rares. Aussi, la méthode AHP propose de calculer un Indice de Cohérence (ou *IC*) qui mesure l'écart entre les réponses du ou des décideurs et des réponses jugées cohérentes. Selon T.L. SAATY, si la mesure de cet écart est inférieure à 0.1, les appréciations peuvent être considérées comme acceptables. Dans le cas d'appréciations cohérentes, on a :

$$m_{i,j} = \frac{w_i}{w_j} \quad i, j = 1, \dots, n \quad (IV.17)$$

et

$$M.W = n.W \quad (IV.18)$$

La matrice *M* ayant un rang unitaire¹⁹, toutes ses valeurs propres λ_i sont nulles, à l'exception de l'une d'entre elles. Sachant que²⁰ :

$$\sum_{i=1}^n \lambda_i = \text{trace}(M) = n \quad i = 1, \dots, n \quad (IV.19)$$

La valeur propre maximale²¹ de la matrice est $\lambda_{\max} = n$. Ainsi, lorsque la matrice est cohérente, sa valeur propre maximale est égale à sa dimension. Dans le cas d'une matrice incohérente et donc pour laquelle $\exists i, j, k$ tels que $m_{i,j} \neq m_{j,k} \cdot m_{k,i}$, on a $\lambda_{\max} > n$. L'indice de cohérence *IC*²² est alors obtenu en calculant :

$$IC = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \quad (IV.20)$$

Afin d'illustrer le calcul de l'indice de cohérence, nous reprenons l'exemple de compréhension dans lequel nous glissons une incohérence en portant la valeur 4 comme expression de préférence du plomb sur le cuivre (ce qui se traduit sémantiquement par : "le plomb est entre légèrement et beaucoup plus "à risque" que le cuivre") entraînant ainsi le non respect de la règle de transitivité (IV.16) : $M_{1,3} = 0.25$ est différent de $M_{1,2} \cdot M_{2,3} = 0.125$.

Malléable	Matrice simple			Matrice normalisée			Somme ligne	Moyenne ligne
	Acier	Cuivre	Plomb	Acier	Cuivre	Plomb		
Acier	1	1/2	1/4	1/7	1/7	1/6	0.40	0.13
Cuivre	2	1	1/4	2/7	2/7	1/6	0.63	0.21
Plomb	4	4	1	4/7	8/11	2/3	1.97	0.66

Figure IV.8 : Matrice incohérente

¹⁹ Chaque ligne de la matrice peut être obtenue en multipliant la première ligne par une constante.

²⁰ La trace est la somme des éléments de la diagonale d'une matrice.

²¹ Une méthode simple pour approcher λ_{\max} est de considérer :

$$W' = M.W = (w_i) \text{ alors : } \lambda_{\max} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{w'_i}{w_i} \text{ avec } i = 1, \dots, n.$$

²² Dans le cas d'une matrice cohérente $IC = 0$.

Les valeurs d'importances relatives recalculées sont (valeurs approchées) : acier : 0.13 ; cuivre : 0.21; et plomb : 0.66. Le rangement des différents matériaux demeure inchangé (le plomb est le matériaux le plus "à risque" devant le cuivre puis l'acier). Par contre, l'incohérence a eu une incidence sensible sur l'écart d'importances relatives : la valeur d'un cuivre est diminuée alors que celle du plomb est augmentée (le rapport entre le cuivre et le plomb passe de 0.5 à 0.3). Dans ce cas on obtient : $\lambda_{\max} = 3.09$ et $IC = 0.045$. L'IC ainsi mesuré est une "quantification" du principe de cohérence de la méthode (voir § IV.3.1.3). L'écart avec les appréciations cohérentes est inférieur à 0.1, la cohérence peut donc être jugée suffisante.

3.2.3 Evaluation du critère unique de synthèse

La dernière phase de la méthode AHP est la synthèse des appréciations sous la forme d'un critère unique. La PAMC employée par la méthode AHP diffère selon qu'il s'agisse d'une hiérarchie de type $(1-n)$ ou de type $(1-\infty)$, (voir figure IV.6 et figure IV.7). Pour illustrer ces différences, nous l'appliquons à une hiérarchie simple de niveau 2.

3.2.3.1 Hiérarchie de type $(1-n)$

Soit H , une hiérarchie de 2 niveaux avec :

- $F = (g_1, g_2, \dots, g_n)$ pour famille de critères de niveau 1 ;
- $A = (a_1, a_2, \dots, a_m)$ pour ensemble d'actions potentielles.

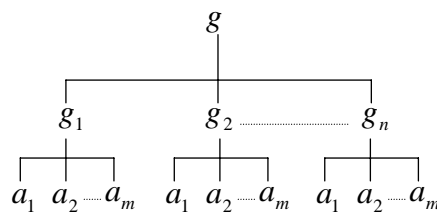


Figure IV.9 : Hiérarchie $(1-n)$ de niveau 2

Soit W , le vecteur d'importances relatives associé à F tel que w_i , $i = 1, \dots, n$ représente l'importance relative du critère g_i .

	g_1	g_2	...	g_j	...	g_n
a_1	$w_{1,1}$	$w_{1,2}$	...	$w_{1,j}$	...	$w_{1,n}$
a_2	$w_{2,1}$	$w_{2,2}$	...	$w_{2,j}$	...	$w_{2,n}$
...
a_i	$w_{i,1}$	$w_{i,2}$	...	$w_{i,j}$	...	$w_{i,n}$
...
a_m	$w_{m,1}$	$w_{m,2}$	...	$w_{m,j}$	...	$w_{m,n}$

Tableau IV.6 : Matrice des vecteurs d'importance relative

Soit T , le tableau de performances liant A et F tel que : $w_{i,j}$, $i = 1, \dots, m$, $j = 1, \dots, n$ représente l'importance relative de l'action a_i par rapport au critère g_j avec $\sum_{i=1}^m w_{i,j} = 1$ (voir tableau IV.6).

Alors, l'expression de préférence globale de a_i par rapport à la famille de critères F est²³ :

$$g(a_i) = \sum_{j=1}^n w_{i,j} \cdot w_j \quad j = 1, \dots, m \quad (IV.22)$$

3.2.3.2 Hiérarchie de type $(1 - \infty)$

Soit H , une hiérarchie de niveaux 2 avec :

- $F = (g_1, g_2, \dots, g_n)$ pour famille de critères de niveau 1 ;
- $D = (d_1, d_2, \dots, d_n)$ pour ensemble des données descriptives de niveau 2 telles que : d_i est en relation avec le critère g_i de niveau supérieur et $d_i = \{d_{i,1}, d_{i,2}, \dots, d_{i,k_i}\}$;
- $A = (a_1, a_2, \dots, a_m)$ pour ensemble d'actions potentielles avec $a = \{d_1(a), d_2(a), \dots, d_n(a)\}$;

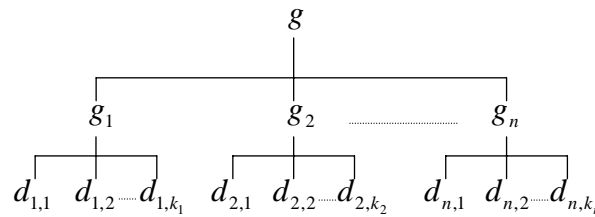


Figure IV.10 : Hiérarchie $(1 - \infty)$ de niveau 2

Soit W , le vecteur d'importances relatives associé à F tel que w_i , $i = 1, \dots, n$ représente l'importance relative du critère g_i .

Soit W^i , le vecteur d'importances relatives associé à d_i tel que w_j^i , $j = 1, \dots, k_i$ représente l'importance relative de $d_{i,j}$.

Soit $a \in A$, une action quelconque. L'expression de préférence globale de a par rapport à la famille de critères F est :

$$g = \sum_{i=1}^n w^i(d_i(a)) \cdot w_i \quad i = 1, \dots, n \quad (IV.23)$$

3.2.3.3 Exemple de compréhension

Nous allons illustrer la PAMC d'une hiérarchie de type $(1 - \infty)$ en l'appliquant à un exemple de compréhension (issu de § IV.2.2.1.4). Les données du problème sont schématisées dans la figure IV.11.

Soit un ensemble de trois données descriptives composé de la nature des matériaux de conduite, de la pression d'alimentation réseaux et du lieu de passage de conduite tel que :

²³ Une telle PAMC est appelée "somme pondérée" [POM et al. 93].

$D = (d_1, d_2, d_3)$ avec :

$d_1 = \{plomb, cuivre, acier\}$;

$d_2 = \{BP, MP\}$;

$d_3 = \{Local_poubelle, Cave_privative\}$.

Soit une famille de trois critères en relation avec les données descriptives et telle que :

$F = (g_1, g_2, g_3)$ où

g_1 représente le critère "matériaux" et est associé à d_1 ;

g_2 représente le critère "alimentation" et est associé à d_2 ;

g_3 représente le critère "lieu de passage" et est associé à d_3 ;

Les vecteurs d'importances relatives sont basés sur une simulation de jugements d'experts :

- le vecteur d'importances relatives associé à la famille de critères est $W = (0.3, 0.3, 0.4)$.
- le vecteur d'importances relatives associé à d_1 est $W^1 = (0.6, 0.3, 0.1)$.
- le vecteur d'importances relatives associé à d_2 est $W^2 = (0.9, 0.1)$.
- le vecteur d'importances relatives associé à d_3 est $W^3 = (0.5, 0.5)$.

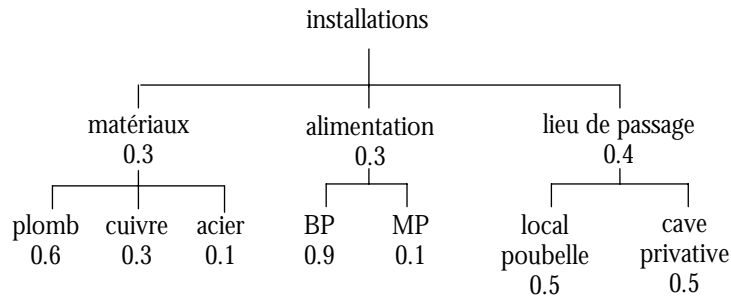


Figure IV.11 : Hiérarchie "pondérée"

Soit $a \in A$, une installation quelconque telle que : $a = \{plomb, BP, local_poubelle\}$.

L'expression de préférence partielle de a par rapport au critère "matériaux" est :

$$w^1(d_1(a)).w_1 = w^1(d_{1,1}).0,3 = 0,6.0,3 = 0,18.$$

L'expression de préférence partielle de a par rapport au critère "alimentation" est :

$$w^2(d_2(a)).w_2 = w^2(d_{2,1}).0,3 = 0,9.0,3 = 0,27.$$

L'expression de préférence partielle de a par rapport au critère "lieu de passage" est :

$$w^3(d_3(a)).w_3 = w^3(d_{3,1}).0,4 = 0,5.0,4 = 0,2.$$

L'expression de préférence globale de a selon (IV.23) est :

$$w^1(d_1(a)).w_1 + w^2(d_2(a)).w_2 + w^3(d_3(a)).w_3 = 0.18 + 0.27 + 0.2 = 0.65.$$

4 Modélisation hiérarchique

La présentation de la méthode AHP nous a permis d'illustrer l'approche du critère unique de synthèse sur un exemple simple. Nous allons à présent appliquer la méthode AHP à l'évaluation de la priorité de renouvellement des installations de distribution, avec pour support de modélisation les résultats de l'étude de sécurité principale. L'étude de sécurité principale a permis d'identifier trois facteurs discriminants du risque : un facteur humain lié à la sécurité des rues et des quartiers ; un facteur incendie lié à la sécurité incendie des immeubles collectifs ; et un facteur technique lié aux caractéristiques des installations de distribution.

Nota : afin de préserver la confidentialité de ces travaux, les appréciations de l'IRC ont été volontairement modifiées.

4.1 Sécurité des rues et des quartiers

Les rues et les quartiers constituent l'environnement actif dans lequel les ouvrages de distribution de gaz naturel sont exploités. Dans cet environnement, la manifestation du facteur humain peut être à l'origine d'actes volontaires ou non, portant atteinte aux biens (dégradation volontaire, mauvaise utilisation, vol, utilisation intempestive ou frauduleuse, pénétration frauduleuse, négligences, etc.) ou aux personnes (intimidation, agression, comportement outrageant, etc.) et ayant des conséquences d'importances variées allant du trouble des activités d'entretien (visites périodiques) à l'accident grave (départ d'incendie pouvant mener à l'explosion selon les scénarios d'accidents mis en évidence dans l'étude de sécurité principale, voir § III.5.4). Ces agissements sont soit le fait des personnes occupantes, soit le fait de personnes ou groupes de personnes rapportés (groupes de jeunes, délinquants, marginaux, etc.). Les risques d'agression verbale ou physique aux personnes, ainsi que les risques de dommages aux biens sont une manifestation du risque urbain (voir § II.3.7). Par la suite, nous désignerons ces risques sous le terme **Risque Humain** (ou RH). Pour mesurer cet aspect du RH, il convient de prendre en considération un large ensemble d'informations relatives :

- aux aspects **géographiques** (environnement urbain de proximité, grands ensembles, quartiers dégradés, etc.), **physiques** (densité urbaine, état général, année de construction, nombre de logements, etc.) et **humains**, en particulier concernant les caractéristiques des populations occupantes (résidence pour personnes âgées, logements HLM, résidence de standing, etc.) ;
- à l'aspect **délinquance** (informations statistiques et si possible qualitatives, portant sur les crimes, délits, nuisances, incivilités ou problèmes de voisinage).

Ces informations sont aujourd'hui quasiment inexistantes des systèmes d'information. Elles nécessitent donc d'être d'abord collectées, puis mises à jour régulièrement, de façon à intégrer les mouvances fortes des zones de délinquances et à représenter le plus fidèlement possible la situation d'insécurité de l'environnement urbain à proximité des ouvrages. L'information relative au RH est pour l'essentiel détenue par les acteurs concernés par la sécurité. Il s'agit des services de police ou de gendarmerie, des mairies, des collectivités locales et des partenaires étatiques (préfecture, parquet, éducation nationale, direction départementale de la sécurité publique) ou bien encore des bailleurs sociaux, sociétés de transports en communs, associations, etc. Ces organismes sont actuellement amenés à fédérer leurs connaissances dans le cadre de Contrat Local de Sécurité²⁴ (ou CLS). S'agissant de la ville de Paris,

²⁴ Le CLS est défini par les circulaires interministérielles du 28 octobre 1997 [BO 97] et du 7 juin 1999 [JO 99]. Le CLS s'inscrit dans une logique de police de proximité, à laquelle il associe le développement d'un partenariat actif de l'ensemble des acteurs privés, publics ou sociaux, qui sur le plan local, concourent à la sécurité. Il a pour objectif d'assurer la sécurité des personnes et des biens. Il repose sur la mise en œuvre au plan local d'un dispositif préventif et répressif de lutte contre l'insécurité, à partir d'actions engagées sur la base d'un diagnostic territo-

zone géographique de notre étude, le CLS a donné lieu à un contrat spécifique baptisé "Contrat Parisien de Sécurité²⁵", cosigné par le Préfet de Police, le Procureur de la République et le Maire. Parmi les nombreuses mesures opérationnelles associées au CLS, il est à noter, concernant directement notre étude, la conception d'un outil d'évaluation de l'insécurité basé sur l'exploitation et la mise en réseaux des éléments d'information détenus par chaque partenaire de la sécurité. Ainsi, au-delà des statistiques de crimes et délits déjà existantes, l'outil intégrera les données relatives aux nuisances et incivilités, permettant ainsi de "cartographier" les zones et lieux de rassemblement les plus "à risque". Les lieux sièges de ce type de délinquance sont en particulier les halls et sous-sols d'immeubles (lieux de rassemblement de groupes de jeunes, voire de bandes), les grands ensembles immobiliers vétustes ou mal entretenus, les zones d'habitat insalubre (immeubles très dégradés ou en quasi-abandon) et les immeubles domaniaux en attente de réhabilitation. Etant donné l'état d'avancement limité des CLS, nous raisonnerons sur une modélisation "non validée", établie à partir de la description du CLS. Dans un avenir proche et selon la rapidité de mise en œuvre des CLS, il est raisonnable d'espérer disposer d'une information réelle, quantifiée et détaillée en fonction des aspects géographiques et des types de délinquance. Le tableau IV.7 présente pour chaque donnée descriptive retenue pour l'évaluation du RH : le code identifiant, la description, la liste de valeurs possibles et le critère père auquel il est attaché (critère de niveau immédiatement supérieur dans la hiérarchie). Ces données sont attachées à une installation et un immeuble d'habitation unique.

Identifiant	Description	type
RH1	situation en quartier dégradé	oui, non
RH2	densité urbaine à proximité	forte, moyenne, faible
RH3	nombre de logements	élevé, moyen, faible
RH4	type d'habitation	Personnes âgées, HLM, standings
RH5	délinquance (nuisances, incivilités, etc.) à proximité	Forte, moyenne, faible

Tableau IV.7 : Données descriptive relatives au Risque Humain (ou RH)

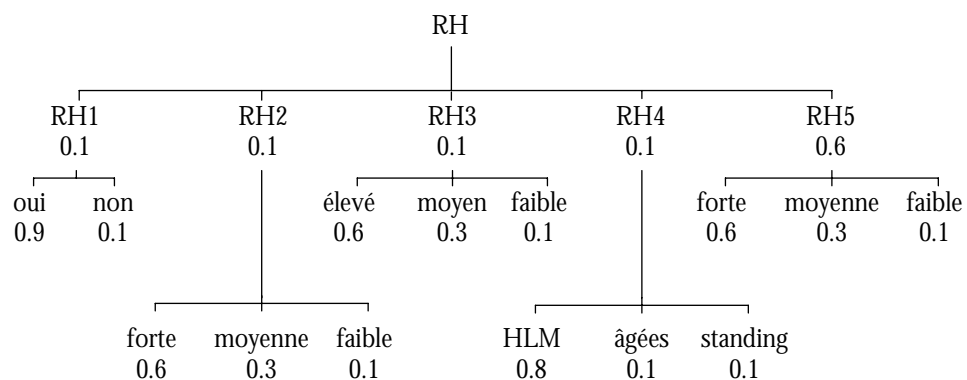


Figure IV.12 : Modélisation hiérarchique du Risque Humain

rial de sécurité. Au 1^{er} octobre 1999, près de 300 contrats avaient été signés. Pour la majorité d'entre eux, leur portée est limitée à une seule commune. Cependant, selon les aspects géographiques, physiques, humains, et délinquants, ils peuvent être efficacement étendus au niveau d'une agglomération ou au niveau de quartiers déterminés (dans le cas par exemple des grands ensembles et quartiers d'habitat dégradés par exemple [JO 96]).

²⁵ Source <http://www.prefecture-police-paris.interieur.gouv.fr/>.

Le modèle hiérarchique associé à l'évaluation de la sécurité des rues et des quartiers est défini comme suit (voir figure IV.12) :

- cible : évaluation du RH ;
- objectifs : aspects géographique, physique, social et délinquant ;
- niveaux inférieurs : données descriptives fournies dans le tableau IV.7.

4.2 Sécurité incendie des immeubles collectifs

4.2.1 Incendie d'habitation

Chaque année, les incendies d'habitation font entre 500 et 700 morts. Ils sont responsables d'une centaine de décès par an dans la seule ville de Paris et demeurent la troisième cause de décès par accidents domestiques en France chez les enfants de moins de 4 ans (80 à 100 victimes, malgré une chute de 50% environ en dix ans, grâce à une campagne d'information auprès du public et des écoles)²⁶.

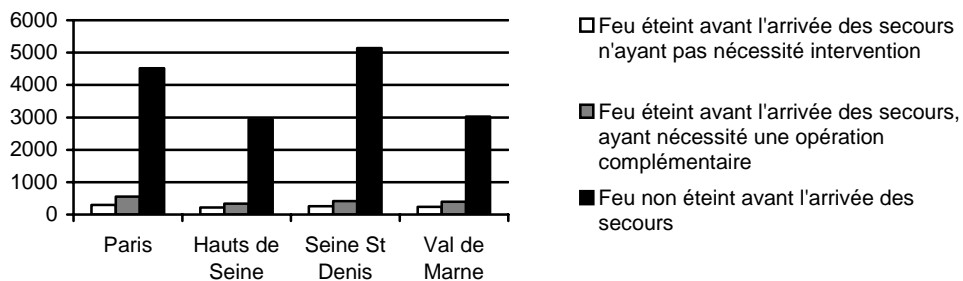


Figure IV.13 : Interventions incendie de l'année 1996 en Ile de France [BSP 96]

Le nombre d'interventions "incendie" effectuées par les sapeurs-pompiers de la ville de Paris en région Ile de France (Paris, Hauts de Seine, Seine St Denis et Val de Marne) est stable depuis 30 ans. Le bilan des activités opérationnelles sur cette région montre un nombre moyen d'interventions incendie (entre 1985 et 1996) proche de 18 000. Pour une très large majorité d'entre eux, il s'agit de feux ayant nécessité intervention et non éteints avant l'arrivée des secours (voir figure IV.13).

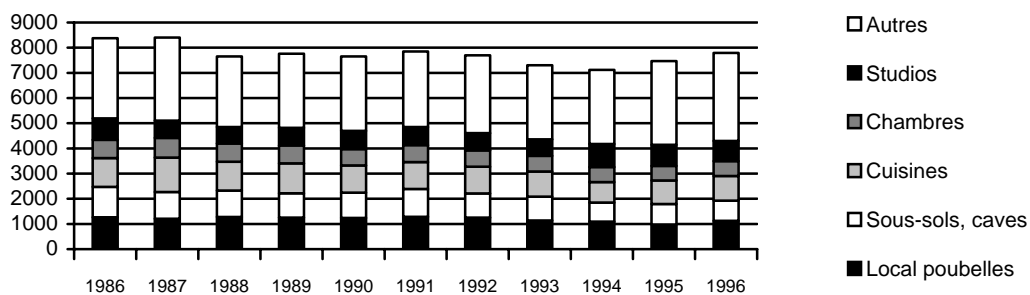


Figure IV.14 : Lieux d'origine des incendies [BSP 96]

Le risque d'incendie de proximité mis en évidence par l'étude de sécurité principale montre l'importance du lieu de passage des conduites. Dans les immeubles d'habitation, les incendies représen-

²⁶ Sources : Fédération Française des Sociétés d'Assurances (<http://www.ffsa.fr/>), site des activités urgentistes médicales, paramédicales et sapeurs-pompiers (<http://www.urgence.com/>).

tent près de 8 000 interventions par an et ont pour principal lieu d'origine les locaux suivants (voir figure IV.14) : vide-ordures et local poubelles : 15,5 % ; cuisines : 13,8 % ; caves, sous-sols et locaux chaufferie : 12,5 % ; studios : 9,7 % ; et chambres : 8,6 %. Ainsi, en considérant les incendies ayant pour origine les cages d'escalier et halls d'entrée (soit 12 % environ), les conduites d'immeubles et conduites montantes passent tout ou partie dans des **locaux sièges de 40 % des départs d'incendie**.

4.2.2 Fondements du diagnostic sécurité incendie

L'examen de la situation d'une installation et en particulier d'une CI au regard des risques nécessite une appréciation des risques d'incendie de proximité autour de l'ouvrage, autrement dit du risque incendie d'habitation. Ce dernier concerne les immeubles collectifs anciens, construits avant 1970 et érigés selon les textes applicables au moment de leur construction [JO 60]. L'évaluation du risque incendie repose sur un diagnostic sécurité incendie permettant **d'identifier des déficits en matière de protection contre l'incendie**. Ce diagnostic est élaboré à partir de dispositions constructives réglementaires qui ont été jugées essentielles en matière de sécurité incendie [BHA 97], [JO 70], [JO 82], [JO 86]. L'identification de ces mesures a été facilité par l'étude des méthodes d'analyse de sécurité incendie et en particulier de la Méthode Intégrée de l'Analyse de la Sécurité Incendie²⁷ (ou MIASI) proposée par [LIN et al. 86] et basée sur l'arbre des concepts de sécurité incendie de la National Fire Protection Association canadienne (ouNFPA).

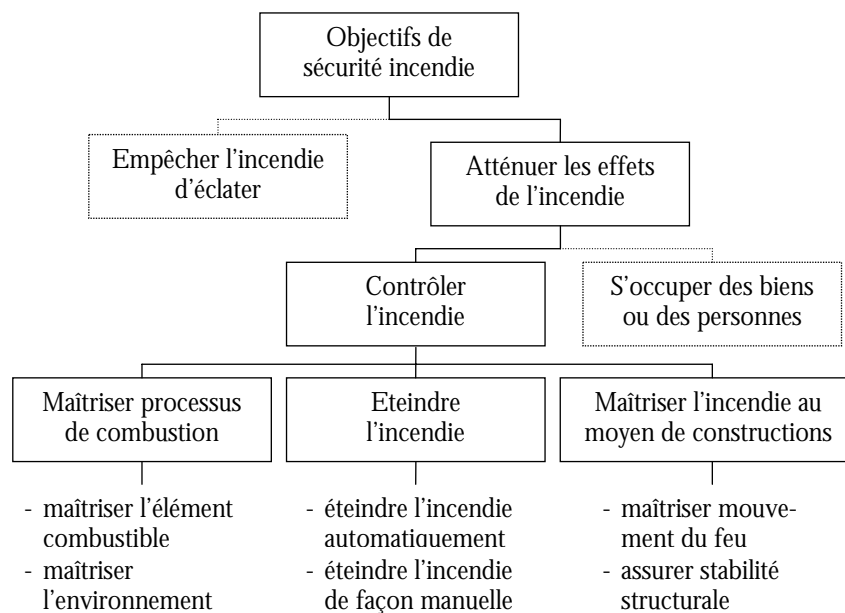


Figure 15 : Méthode intégrée d'analyse de la sécurité incendie [LIN et al. 86]

La méthode MIASI repose sur l'étude des mesures de prévention et de protection permettant de réduire la probabilité de survenance d'un incendie ou d'en atténuer les effets sur les personnes et sur les biens (voir figure IV.15). L'étude des textes réglementaires et des méthode d'analyse de la sécurité incendie montre que dans la conception des bâtiments nouveaux, la prévention des risques d'incendie consiste à mettre en œuvre les moyens nécessaires pour limiter la naissance du feu, limiter la propagation de l'incendie, évacuer les personnes en danger et faciliter l'intervention des secours. Idéalement, la satisfaction de ces objectifs nécessiterait de disposer de matériaux pratiquement incombustibles, ou de

²⁷ La méthode MIASI est la plus utilisée en Amérique du Nord [Lin et al. 86]. L'Institut de Recherche en Construction canadienne travaille en collaboration avec le Footscray Institute of Technology (Australie), à la mise au point d'un modèle d'évaluation quantitative des risques d'incendie d'habitation incorporant les aspects réglementaires et l'expérience acquise au Canada en matière d'incendie.

créer un milieu dans lequel la combustion continue est difficile. Les solutions économiquement viables et applicables dans le cadre de travaux de réhabilitation ou d'amélioration des bâtiments d'habitation existants portent sur la maîtrise de l'incendie au moyen de constructions et principalement par compartimentation des volumes [JONC 82].

4.2.2.1 Compartimentation

La compartimentation (circonscription et isolation) repose sur la mise en place de barrières techniques pour retarder la propagation du feu et des fumées, permettre aux occupants de se mettre à l'abri et aux sapeurs-pompiers d'intervenir. Un compartiment résistant au feu est un espace isolé du reste du bâtiment par une construction continue. Il peut s'agir d'une seule pièce, d'une série de pièces ou d'un étage complet, ou encore d'un vide technique horizontal ou vertical (gaine par exemple). Le niveau de sécurité incendie d'un bâtiment d'habitation dépend donc principalement de son niveau de compartimentation²⁸. La compartimentation décrite dans l'arrêté du 31 janvier 1986 est une compartimentation étage à étage par isolement des voies de circulations horizontales et verticales [JO 86].

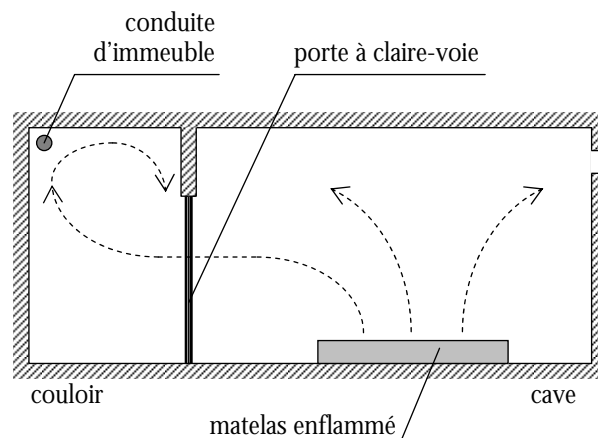


Figure IV.16 : Circulation des gaz chauds (source : CSTB)

4.2.2.2 Matériaux de construction

Le développement et la vitesse de propagation des incendies dépendent également de l'inflammabilité des matériaux de construction²⁹ et du contenu du bâtiment. Le développement d'un feu dans un local se comporte d'abord comme un feu à l'air libre. Un objet s'enflamme et brûle librement. Les fumées de combustion de l'objet s'accumulent et se concentrent dans les parties hautes du local, entraînant le réchauffement du plafond et des parties supérieures des parois. La chaleur des parties chauffées est ensuite transmise à l'ensemble des objets de la pièce par rayonnement thermique. Certains objets peuvent alors atteindre leur température d'auto-inflammation. En l'absence d'oxygène, la combustion cesse, laissant des masses incandescentes (points chauds). Dans une telle situation, l'apport d'air frais provoqué par la rupture des constructions (éclatement de parties vitrées par exemple) peut conduire à l'embrasement général sous la forme de phénomènes de "backdraft" ou "flash-over"³⁰. Le dévelop-

²⁸ Si chaque pièce pouvait être isolée par compartimentation, alors le niveau de sécurité incendie serait très élevé.

²⁹ Les dispositions réglementaires en la matière font référence à l'arrêté du 4 juin 1973 relatif à la classification des matériaux et éléments de construction par catégorie selon leur comportement au feu et description des méthodes d'essai, paru au Journal Officiel du 26 juillet 1973.

³⁰ Le phénomène de "Flash-over" est une explosion de fumées contenant des gaz de pyrolyse imbrûlés. Des matériaux, comme par exemple le bois, distillent, à partir d'une certaine température (dite "point éclair") des gaz inflammables qui se mélangent aux fumées accumulées dans les parties hautes du local. Dans ces conditions, un

pement d'un feu de cave de sous-sol a été étudié par le Centre Scientifique et Technique du Bâtiment (ou CSTB), afin d'estimer les dommages subis pour une conduite d'immeuble, lors d'un feu. La simulation d'un feu de puissance élevée (feu de matelas par exemple) a montré que les températures moyennes maximales atteintes dans le local varient de 550 à 650°C, ce qui pourrait provoquer l'auto-inflammation de matériaux tels que le bois de portes à claire-voie, dont la température de surface peut atteindre le "point éclair". Ces températures auraient également pour conséquences la fusion des ouvrages en plomb (dont la température de fusion est de 327°C) ou à brasures tendres (dont la température de fusion est de 232°C). La simulation des températures atteintes dans le couloir commun de sous-sol à proximité a montré que la circulation des gaz chauds peut entraîner des températures de l'ordre de 330 à 380°C sur les parties hautes de la paroi opposée à la cave où est localisé l'incendie (les températures des parois mitoyennes sont de 50 à 60°C inférieures), pouvant ainsi conduire à la fusion du plomb des conduites passant en couloir commun de sous-sol³¹ (voir figure IV.16).

Donnée Descriptive			Critère Père	
Identifiant	Description	type	Identifiant	Description
RIP1_1	présence de fils dénudés	oui,non	RIP1	installations électriques des parties communes
RIP1_2	appareillages manquants ou détériorés	oui, non	RIP1	installations électriques des parties communes
RIP1_3	présence de branchements "pirates"	oui, non	RIP1	installations électriques des parties communes
RIP2_1	orifices de ventilation obturés	oui, non	RIP2	chaufferie Gaz en sous-sol
RIP2_2	organes de coupure mal protégés ou mal signalés	oui, non	RIP2	chaufferie Gaz en sous-sol
RIP2_3	utilisés en dépôt sauvage	oui, non	RIP2	chaufferie Gaz en sous-sol
RIP3_1	utilisés en dépôt sauvage	oui, non	RIP3	locaux divers (vélos, voitures d'enfants, etc.)
RIP3_2	utilisés pour le garage de deux roues à moteur	oui, non	RIP3	locaux divers (vélos, voitures d'enfants, etc.)
RIP4_1	locaux séparés par des matériaux combustibles (bois à claire-voie)	oui, non	RIP4	cave privative
RIP5_1	communication directe par escalier depuis le hall	oui, non	RIP5	isolement du sous-sol par rapport au rez-de-chaussée
RIP6_1	portes palières ouvrant directement dans les escaliers	oui, non	RIP6	escalier
RIP6_2	présence de fenêtres appartements ou de parties vitrées donnant sur l'escalier	oui, non	RIP6	escalier
RIP6_3	présence d'un système de désenfumage		RIP6	escalier
RIP7_1	affichage des plans de sous-sol(s) et rez-de-chaussée	oui, non	RIP7	consignes de sécurité

Tableau IV.8 : Données descriptives relatives au Risque Incendie de Proximité (ou RIP)

4.2.3 Points de contrôles

Les points de contrôle du diagnostic sécurité incendie portent principalement sur les **déficiences en matière de construction** (compartmentation et matériaux de construction). La difficulté liée à la

apport d'air peut créer un mélange hautement inflammable qui va réagir violemment au contact d'une flamme ou d'une source de chaleur.

³¹ Les scénarios d'incendie avec rejet de gaz sont développés dans l'étude de sécurité principale (voir § III.5.4.2).

collecte de ces informations implique de ne retenir que des points de contrôle essentiels et facilement mesurables³² par des personnes "non qualifiées" aux analyses de sécurité incendie des immeubles d'habitation. Les points de contrôle retenus, dont le bon fonctionnement doit limiter la probabilité de naissance et la propagation d'incendies, portent respectivement sur :

- les installations électriques de parties communes ; les installations de chauffage en sous-sol ; et les locaux divers (vélos, voitures d'enfants, etc.).
- les caves privatives ; l'isolement du sous-sol par rapport au rez-de-chaussée et les escaliers.

Le tableau IV.8 figure pour chaque point de contrôle : le code identifiant, la description, la liste de valeurs possibles et le critère père auquel il est attaché. Le modèle hiérarchique associé à l'évaluation du risque incendie en immeuble collectif est défini comme suit (voir figure IV.17) :

- cible : évaluation du RIP ;
- objectifs : installations électriques, chaufferie gaz en sous-sol, locaux divers, caves privatives, sous-sol, escalier et consignes de sécurité ;
- niveaux inférieurs : données descriptives fournies dans le tableau IV.8.

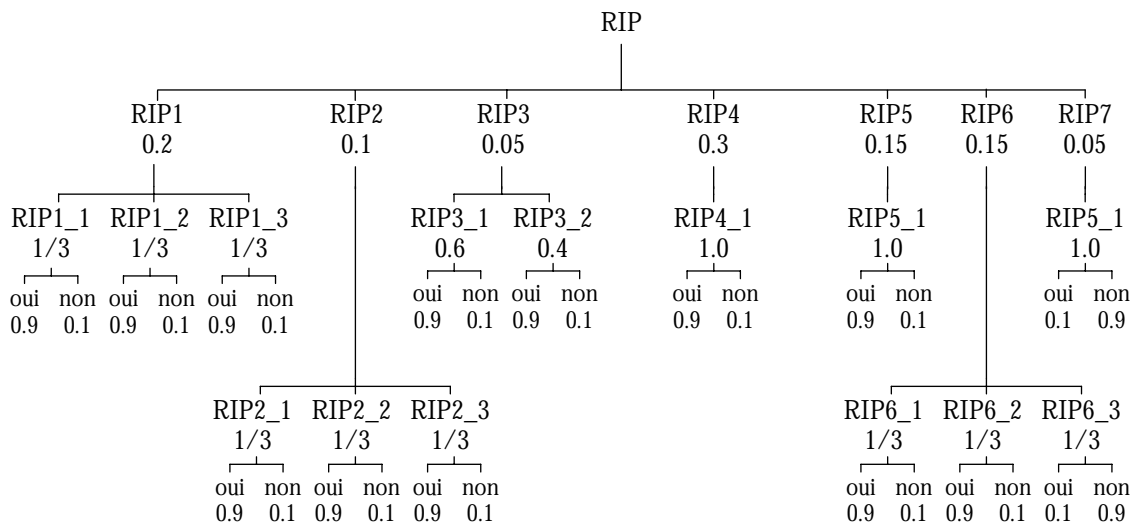


Figure IV.17 : Modélisation hiérarchique du Risque Incendie de Proximité

4.3 Caractéristiques des installations de distribution

L'étude de sécurité principale a permis d'identifier des éléments de configuration "à risque". L'étude détaillée de ces éléments est nécessaire pour permettre le rangement en ordre complet des installations, en fonction de leur priorité de renouvellement. A cette fin, nous avons identifié les caractéristiques principales des installations et de leur environnement proche qui concourent à la sécurité. Chaque installation est décrite par un ensemble de données descriptives relatives à des aspects techniques et topologiques³³. **Les données techniques concernent les méthodes de conception et de réalisation des ouvrages (tuyauteries et accessoires) et tiennent compte de retour d'expérience de la maintenance passée des ouvrages.** Les principaux éléments mis en avant sont : la nature des maté-

³² La collecte des informations relatives au diagnostic sécurité incendie est réalisée au cours des visites périodiques et constitue donc une charge de travail et de responsabilité supplémentaires.

³³ Des éléments historiques sont également considérés (date de mise en service, etc.).

riaux et la présence de dispositifs de sécurité. Les données topologiques concernent principalement la nature, la structure et la géométrie des locaux traversés (volume, plafonds voûtés...). La modélisation présentée dans l'étude de sécurité principale (voir § III.4.2.1) nous conduit à distinguer la partie Conduite d'Immeuble (CI), de la partie Conduite Montante (CM). Pour la partie CI uniquement, nous différencions les critères liés aux aspects occurrence et gravité des risques principaux. La liste complète des données descriptives concourants à la sécurité compte plus de 130 items. N'ont été retenus que les critères les mieux connus et pour lesquels l'étude de sécurité principale a montré l'importance de leur contribution à la sécurité, et les critères les mieux renseignés dans le SI existant³⁴. Les critères listés ci-après font l'objet d'une description succincte. Pour la plupart, ils ont été détaillés dans l'étude de sécurité principale³⁵ (en particulier, les dangers spécifiques sont décrits dans § III.5.3.1).

4.3.1 Conduite d'immeuble

L'étude de sécurité principale montre que la CI est l'unique partie d'ouvrage dans laquelle se manifeste le risque d'explosion (voir § III.5.4.3). En conséquence, cette partie d'ouvrage détermine une part essentielle des données participant à l'évaluation de la priorité de renouvellement. La partie CI est étendue aux parties OCG et branchement collectif.

a. Données descriptives relatives à l'occurrence

- siphon enterré : ce critère participe à la prise en compte du risque "fuite de gaz". Les siphons enterrés de conduites d'immeubles étaient utilisés pour la collecte des eaux de condensation du gaz manufacturé (humide). Ils sont situés entre l'organe de coupure et la pénétration dans l'immeuble. Depuis l'utilisation du gaz naturel, l'assèchement des joints d'étanchéité les rend sujets à fuites. Ils sont supprimés lors des renouvellements de branchement.
- autres réseaux à proximité : ce critère participe à la prise en compte des risques "dommages à ouvrage" et "drainage vers l'intérieur du bâtiment". La présence de réseaux à proximité (réseau de chaleur, réseau électrique et réseau d'eau) est une source de dangers multiples (courants vagabonds, sources de chaleurs, jet d'eau, etc.) qui peuvent être la cause de dommages aux tuyauteries (thermo-oxxydation, corrosion, érosion, etc.). Leur proximité au niveau de la pénétration de CI favorise le risque d'écoulement de gaz vers l'intérieur de l'immeuble.
- objets accrochés aux tuyauteries : ce critère participe à la prise en compte du risque "fuite de gaz". Il mesure le niveau de dégradation physique de l'ouvrage. Il reflète également le niveau de sensibilité à la sécurité des personnes occupantes ou rapportées (voir § IV.4.1.1). Selon la nature des matériaux de conduite (plomb en particulier) la force de traction exercée par les objets sur la conduite, peut entraîner une dégradation mécanique des tuyauterie et des supports de fixation, est susceptible de provoquer leur endommagement (fissure, rupture, etc.) ;
- date de mise en service : ce critère participe à la prise en compte du risque "fuite de gaz". Durant la période de l'après-guerre (décennies 1940 et 1950) un renouvellement massif des ouvrages a été opéré à l'aide de matériaux vieillissant dans le temps (décomposition granulaire du plomb "antimoine" utilisé à l'époque) ;
- modification d'ouvrage : ce critère complète l'information relative à la date de mise en service des ouvrages. Les ouvrages d'époque n'ayant pas été modernisés sont à renouveler en priorité ;

³⁴ La plupart de ces données descriptives sont gérées par le SI existant (base de données des ouvrages en immeubles collectifs). Cependant, l'étude de sécurité principale a permis d'identifier certains facteurs aggravants non considérés jusqu'à ce jour. Leur prise en compte nécessite une évolution de structure des bases de données et la mise en place d'une collecte complémentaire lors des visites périodiques des installations.

³⁵ En l'absence de description, le lecteur est invité à se rapporter à l'étude de sécurité principale (voir § III.5).

- état général à proximité d'ouvrage : ce critère participe à la prise en compte du risque "fuite de gaz". L'état général à proximité de l'ouvrage fournit une indication sur le vieillissement des tuyauteries, supports de fixation et autres accessoires (robinet, etc.) ;
- entretien à proximité : ce critère participe à la prise en compte du "risque incendie de proximité". Il fournit une indication sur la salubrité des locaux traversés par l'ouvrage. Il met l'accent sur des pratiques frauduleuses ou dangereuses au regard du risque incendie telles que le dépôt sauvage de produits inflammables (voir § IV.4.1.2) ;

b. Données descriptives relatives à la gravité

- organe de coupure générale (voir § III.5.3) : l'OCG est un organe de sécurité destiné à couper l'alimentation en cas de fuite. En cas d'intervention, il doit être facilement repérable (situation) et manœuvrable ;
- pression d'alimentation réseau (voir § III.5.3 et § III.5.5) : ce critère participe à la prise en compte des risques "fuite de gaz", "feu gaz" et "explosion" ;
- organe de sécurité (voir § III.5.3) : ce critère participe à la prise en compte des risques "fuite de gaz", "feu gaz" et "explosion" ;
- nature des matériaux de conduite (conduite d'immeuble et branchement collectif) : ce critère participe à la prise en compte du risque "fusion de conduite" en considérant le matériaux constituant de conduite le plus "à risque"³⁶ ;
- lieu de passage : ce critère participe à la prise en compte du risque "incendie de proximité" en considérant le lieu de passage de conduite le plus "à risque"³⁷ ;
- pénétration de conduite : ce critère participe à la prise en compte des risques "cheminement de gaz par drainage" et "accumulation de gaz en sous-sol" (voir § III.5.4.1.1). Ce dernier est favorisé par la présence des réseaux à proximité ou par la pénétration de CI lorsque celle-ci est non obturée ;
- nombre de branchements particuliers : ce critère permet de prendre en compte la masse de population occupante susceptible d'être directement affectée par un incident ou un accident ;
- ventilation des sous-sols : ce critère participe à la prise en compte des risques "fuite de gaz", "feu de gaz" et "explosion". Il indique la présence d'une ventilation naturelle suffisante limitant l'accumulation de gaz en sous-sol ;
- géométrie des sous-sols (plafonds et volume) : ce critère participe à la prise en compte du risque "explosion" en considérant la nature des plafonds (caves voûtées) et le volume des sous-sols ;
- calibre des conduites (conduite d'immeuble et branchement collectif) : ce critère participe à la prise en compte du risque "fuite de gaz" en considérant le débit de fuite en fonction du calibre des tuyauteries ;

c. Synthèse des critères relatifs au risque technique des conduites d'immeubles

Les critères cités ci-dessus sont regroupés en fonction de leur importance dans l'évaluation de la priorité de renouvellement. Ainsi, nous distinguons les critères d'importance forte se rapportant directement aux référentiels de dangers nationaux (voir § II.2.4) ; les critères d'importance moyenne, mis en avant par l'étude de sécurité principale ; et les critères d'importance faible permettant de différencier les ouvrages comportant des éléments de configuration "à risque".

³⁶ Une conduite peut être constituée de tronçons de matériaux de natures différentes.

³⁷ Une conduite peut traverser plusieurs locaux (pénétration en cave privative suivie d'une traversée en couloir commun de sous-sol par exemple).

Donnée Descriptive			Critère Père	
Identifiant	Description	type	Identifiant	Description
CI1_1	Présence de siphon enterré	oui, non	CI1	Critères forts
CI1_2	Organe de coupure générale	-	CI1	Critères forts
CI1_2_1	Présence d'un OCG	oui, non	CI1_2	Organe de coupure générale
CI1_2_2	Situation de l'OCG	enterré, en élévation	CI1_2	Organe de coupure générale
CI1_2_3	Manœuvrabilité de l'OCG	oui, non	CI1_2	Organe de coupure générale
CI1_3	Réseau d'alimentation	-	CI1	Critères forts
CI1_3_1	Type d'alimentation réseau	BP, MP	CI1_3	Réseau d'alimentation
CI1_3_2	Type d'organe de sécurité	aucun, détente, RDBP, DDMP	CI1_3	Réseau d'alimentation
CI1_4	Situation de CI	-	CI1	Critères forts
CI1_4_1	Type de matériaux	PB, CU_BT, AL, CU_BF, A_S, A_ELS, A_V, A_I, TB, FONTE, PE ³⁸	CI1_4	Situation de CI
CI1_4_2	Lieu de passage	L_P, CH, L_V, PA, C_P, CC_SS, V_S, S_T, FA ³⁹	CI1_4	Situation de CI
CI2_1	Pénétration de CI	-	CI2	Critères moyens
CI2_1_1	Pénétration de CI obturée	oui, non	CI2_1	Pénétration de CI
CI2_1_2	Présence d'autres réseaux	oui, non	CI2_1	Pénétration de CI
CI2_2	Nombre de branchements Particuliers	Elevé, moyen, faible	CI2	Critères moyens
CI2_3	Géométrie des sous-sols	-	CI2	Critères moyens
CI2_3_1	Présence d'une ventilation naturelle suffisante	oui, non	CI2_3	Géométrie des sous-sols
CI2_3_2	Présence de plafonds voûtés	oui, non	CI2_3	Géométrie des sous-sols
CI3_1	Branchement collectif	-	CI3	Critères faibles
CI3_1_1	Type de matériaux	voir CI1_4_1	CI3_1	Branchement collectif
CI3_1_2	Calibre de tuyauterie	50,40,32,25,15	CI3_1	Branchement collectif
CI3_2	Calibre de tuyauterie (CI)	50,40,32,25,15	CI3	Critères faibles
CI3_3	Présence d'objets accrochés	oui, non	CI3	Critères faibles
CI3_4	Date de mise en service	[1940-1949], autre	CI3	Critères faibles
CI3_5	Etat à proximité de l'ouvrage	mauvais, moyen, bon	CI3	Critères faibles
CI3_6	Entretien à proximité	mauvais, moyen, bon	CI3	Critères faibles

Tableau IV.9 : Données descriptives relatives au risque technique des Conduites d'Immeubles (ou CI)

Le modèle hiérarchique associé à l'évaluation du Risque Technique des Conduites d'Immeubles (ou RTCI) est défini comme suit (voir figures IV.18, IV.19, IV.20) :

- cible : évaluation du RTCI ;
- objectifs : critères d'importance forte (CI1), moyenne (CI2) et faible (CI3).

³⁸ PB : plomb ; CU_BT : cuivre à brasure tendre ; CU_BF : cuivre à brasure forte ; A_S : acier soudé ; A_ELS : acier extra léger soudé ; A_V : acier vissé ; A_I : acier inoxydable ; TB : tôle bitumée, AL : aluminium.

³⁹ L_P : local poubelles ; CH : chaufferie ; L_V : local vélos ; PA : parking sous-sol ; C_P : cave privative ; CC_SS : couloir commun en sous-sol ; V_S : vide sanitaire ; S_T : sous terre ; FA : façade.

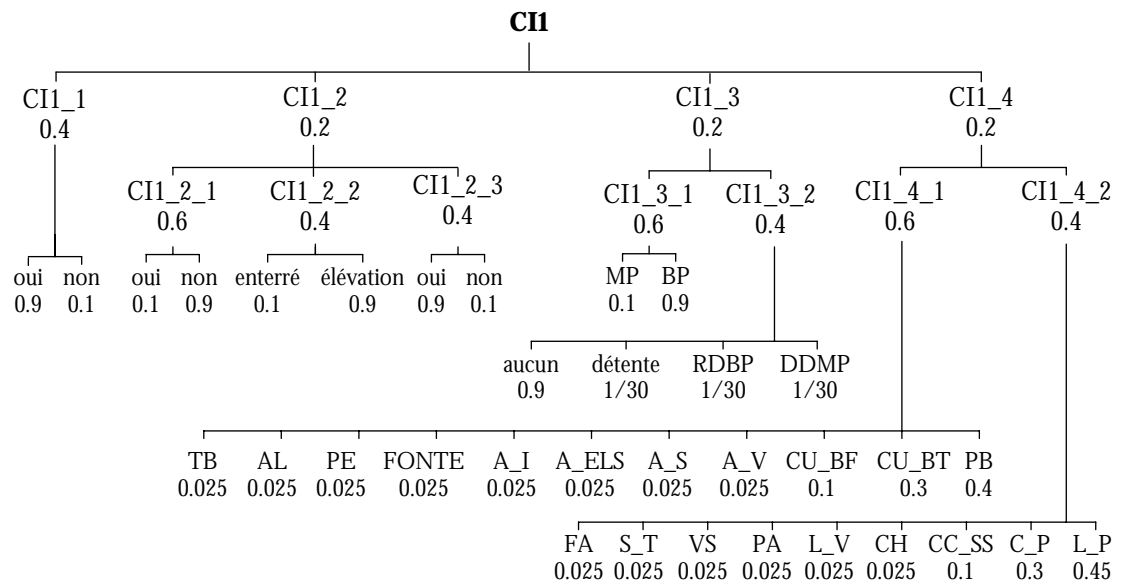


Figure IV.18 : Modélisation hiérarchique du RTCI – critères forts

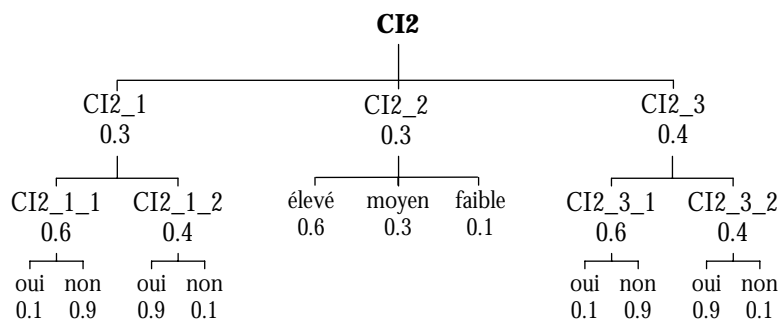


Figure IV.19 : Modélisation hiérarchique du RTCI – critères moyens

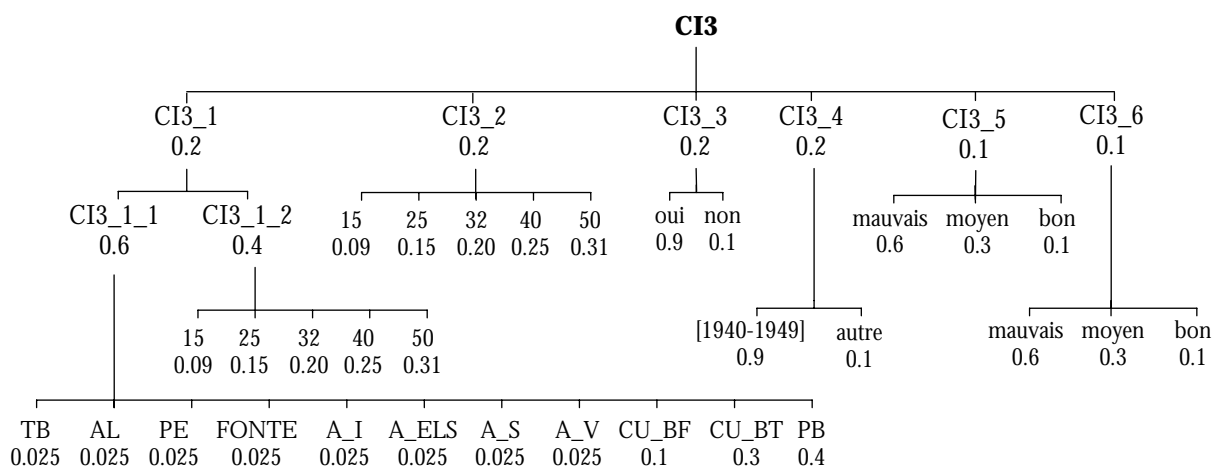


Figure IV.20 : Modélisation hiérarchique du RTCI – critères faibles

4.3.2 Conduite montante

La partie CM permet de différencier les CI présentant une priorité de renouvellement équivalente. Les données descriptives retenues pour l'évaluation de la priorité de renouvellement des CM sont synthétisées dans le tableau IV.10.

Donnée Descriptive			Critère Père	
Identifiant	Description	type	Identifiant	Description
CM1	Type de matériaux	PB, CU_BT, U_BF, A_S, A_ELS, A_V, A_I, TB, FONTE, PE, AL	CM	Conduite Montante
CM2	Situation de CM	traditionnel, corde, gaine	CM	Conduite Montante
CM3	Etat de CM	-	CM	Conduite Montante
CM3_1	Etat à proximité de l'ouvrage	mauvais, moyen, bon	CM3	Etat de CM
CM3_2	Entretien à proximité	mauvais, moyen, bon	CM3	Etat de CM

Tableau IV.10 : Données descriptives relatives au risque technique des Conduites Montantes (ou CM)

Le modèle hiérarchique associé à l'évaluation du Risque Technique des Conduites Montantes (ou RTCM) est défini comme suit (voir figure IV.21) :

- cible : évaluation du RTCM ;
- objectifs : type de matériaux, situation, état ;
- niveaux inférieurs : données descriptives données dans le tableau IV.10.

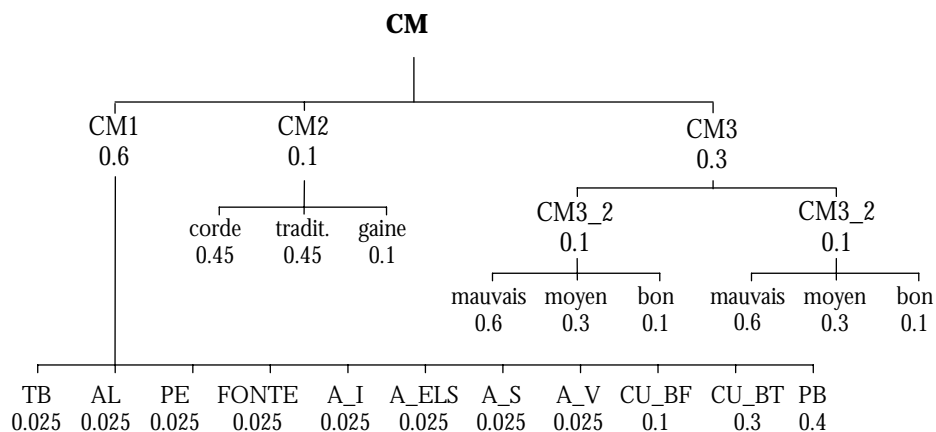


Figure IV.21 : Modélisation hiérarchique du RTCM

4.4 Priorité de renouvellement des installations collectives

Le modèle hiérarchique de l'évaluation de Priorité de Renouvellement (ou PR) est obtenu par **l'agrégation des trois précédents modèles** représentant respectivement les évaluations du risque humain (voir figure IV.12), du risque incendie de proximité (voir figure IV.17) et du risque technique

des conduites d'immeubles et conduites montantes (voir figures IV.18, IV.19, IV.20 et IV.21). La hiérarchie résultante est présentée dans la figure IV.22. Ainsi défini, le modèle hiérarchique évalue la priorité de renouvellement d'une installation à partir de 43 données descriptives⁴⁰. Il permet donc de considérer **un grand nombre de configurations différentes** et de les ranger par ordre de priorité en réponse à l'attendu principal de l'étude (voir § II.2.4.2).

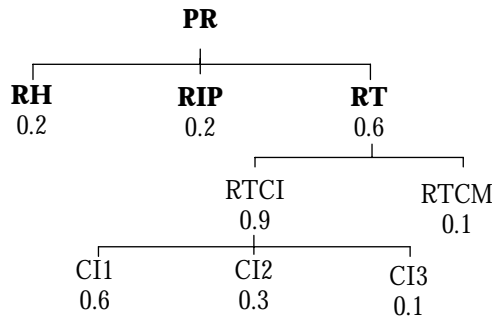


Figure IV.22 : Modèle hiérarchique de la Priorité de Renouvellement (PR)

4.4.1 Implantation informatique

Pour être validé et exploité, le modèle d'évaluation de priorité de renouvellement a été implanté sous la forme d'un **Système Informatique d'Aide multicritère à la Décision**⁴¹ (ou SIAD).

L'utilisation d'environnement de développement de SIAD permet de bénéficier de fonctionnalités complémentaires, propres à chaque étape du traitement d'un problème décisionnel. Leur usage fournit une assistance supplémentaire aux décideurs dans leur modélisation du problème. Les environnements de développement basés sur la méthode AHP⁴² proposent des évolutions aux principes de base de la méthode. Parmi les plus notables figure l'extension de la méthode d'évaluation des paramètres d'importance, initialement limitée au procédé de comparaisons par paire, étendue à la définition de vecteurs d'importances relatives à partir de valeurs numériques saisies par l'utilisateur⁴³ ou à partir de lois mathématiques prédéfinies (logarithmique, exponentielle, etc.).

En proposant des commandes du type "What If", les environnements de développement de SIAD facilitent également l'étude de sensibilité des paramètres d'importance. L'étude de sensibilité permet de mesurer l'impact de la variation d'intensité des préférences partielles dans l'évaluation des préférences globales. Dans le cadre de nos travaux, l'étude de sensibilité des paramètres d'importance n'a été que partiellement réalisée. Les premiers résultats montrent que l'incidence de faibles variations d'intensité est sans conséquence sur le rangement produit (voir figure IV.23). Ce constat est le fait de l'usage **d'expertises multiples** répondant au principe de cohérence logique de la méthode AHP (voir § IV.3.1.3) et facilitant la recherche de consensus à partir des expertises individuelles menées auprès de chaque intervenant. La figure IV.23 présente l'étude de sensibilité réalisée sur les principaux paramètres

⁴⁰ L'IRC portée sur chaque modèle hiérarchique a été volontairement modifiée. Toutefois, les valeurs ont été attribuées en cohérence avec les résultats de l'étude de sécurité principale.

⁴¹ Le lecteur désirant une présentation du SIAD développé pour l'évaluation de la priorité de renouvellement des ouvrages de distribution peut consulter [FUM et al. 98a], [FUM et al. 98b], [FUM et al. 99].

⁴² Les principaux logiciels d'aide à la décision basés sur AHP sont : Descriptor (<http://www.intelmark.com>), ExpertChoice (<http://www.expertchoice.com>), Web-Hipre (<http://www.hipre.hut.fi/>) et Hipre 3+ (<http://www.eia.fi/hannul/hipre.html>).

⁴³ La saisie de valeur numérique a permis d'intégrer les données statistiques de l'étude de sécurité principale.

participant à l'évaluation de la priorité de renouvellement⁴⁴. Les graphes "Tornado" et "Spider" permettent de mesurer l'incidence de la variation des préférences partielles (paramètres CI1, CI2, CI3, RIP, RH et RTCM) dans l'évaluation de la préférence globale (PR). Le graphe de "Tornado" permet également de classer ces paramètres par ordre d'importance décroissante de leur participation dans l'évaluation finale. Les paramètres CI3 et RTCM ont une importance faible et permettent ainsi de différencier des configurations d'ouvrages proches. Les critères CI1 et RIP sont des critères déterminants. Ils contribuent à près de la moitié de l'évaluation finale.

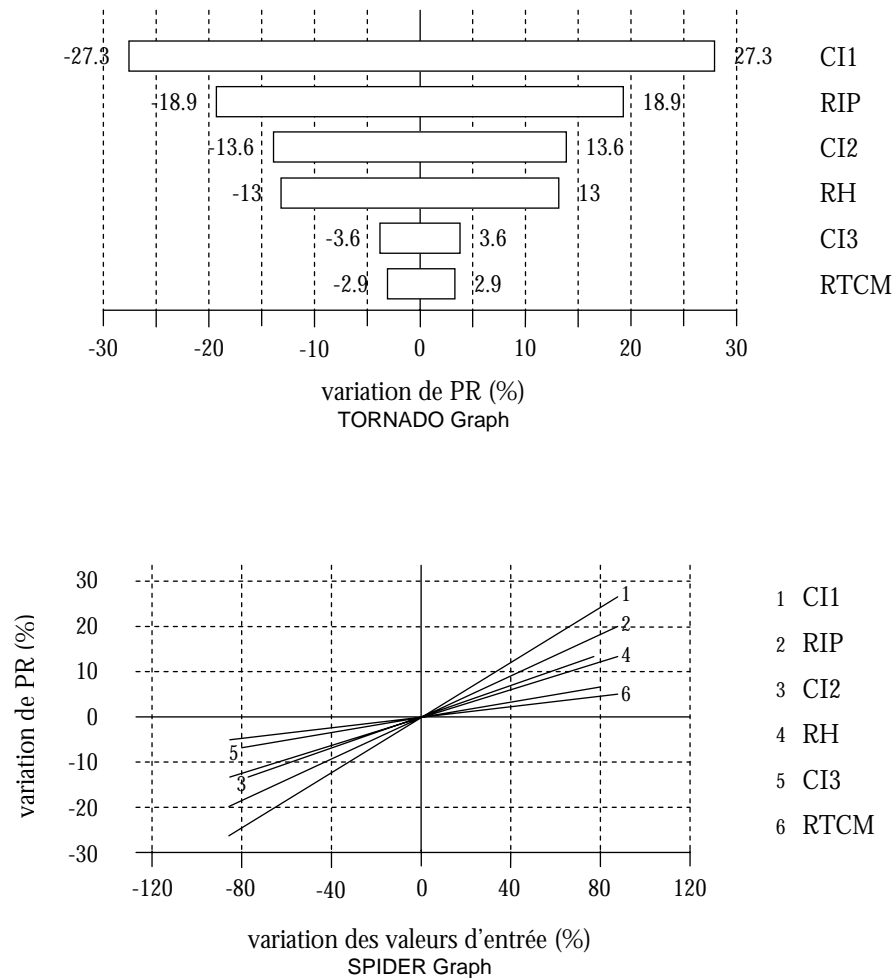


Figure IV.23 : Etude de sensibilité

L'implantation sous forme de SIAD du modèle hiérarchique est d'un double apport pour son exploitation. D'une part, elle permet de développer un outil informatique intégré au Système d'Information (ou SI). Dans le cadre d'une hiérarchie de type $(1 - \infty)$, l'intégration au SI permet de générer le tableau des solutions à partir des données du SI (voir tableau IV.11). D'autre part, elle permet de qualifier les barrières de prévention et de protection identifiées dans l'étude de sécurité principale, en simulant l'incidence de leur mise en place sur l'évaluation de la priorité de renouvellement. Ainsi, si l'on considère les critères "Réseau d'alimentation" et "Situation de CI" uniquement (voir tableau IV.9), la priorité de renouvellement d'une installation alimentée en BP, sans organe de sécurité, en plomb, traversant le

⁴⁴ L'étude de sensibilité a été réalisée à l'aide de logiciel TopRank pour Microsoft Excel (Palisade Corporation).

couloir commun en sous-sol, est estimée à 0.1701. La simulation du passage en MP (ajout d'un organe de coupure automatique et conduite renouvelée en PE) donne une priorité de renouvellement de 0.0916, soit une réduction significative pratiquement de moitié.

Installation	PR	1/43 Quartier dégradé	2/43 Densité urbaine	3/43 Nb logements	4/43 Type d'habitation	5/43 Délinquance	6/43 Fils dénudés
73887001891	0.6447	OUI	MOYENNE	FAIBLE	STANDING	FAIBLE	NON
72887005373	0.5747	OUI	FORTE	MOYEN	PERS. AGEES	MOYENNE	NON
72887005376	0.4098	NON	FORTE	MOYEN	PERS. AGEES	MOYENNE	NON
72887005375	0.3393	NON	MOYENNE	FAIBLE	STANDING	MOYENNE	NON
72887005374	0.3058	NON	MOYENNE	MOYEN	PERS. AGEES	MOYENNE	OUI
72887005378	0.2595	NON	MOYENNE	MOYEN	PERS. AGEES	MOYENNE	NON
72887005377	0.2247	OUI	MOYENNE	MOYEN	PERS. AGEES	MOYENNE	NON

Tableau IV.11 : Tableau des solutions

Le tableau IV.11 présente un extrait du tableau des solutions. Chaque ligne contient la description d'une installation. Chaque installation est désignée par un identifiant unique. Les lignes du tableau sont triées par ordre décroissant de la priorité de renouvellement (PR), permettant ainsi d'établir une hiérarchie dans les interventions de renouvellement à entreprendre. Dans le cadre du suivi de réalisation d'un programme pluriannuel, le seuil de PR (préalablement établi) permet d'identifier les installations en attente de renouvellement (ces dernières figurent dans la partie haute du classement). Dans le cadre de l'élaboration des schémas directeurs d'évolution des réseaux, le choix du seuil d'acceptabilité de PR détermine la masse d'ouvrages à traiter en priorité pour satisfaire un objectif sécurité donné.

4.4.2 Exploitation

L'intégration du SIAD au SI achève de répondre à l'ensemble des attendus spécifiés dans la démarche d'élaboration des schémas directeurs d'évolution des réseaux (voir § II.2.4.4) et qui sont :

- prise en compte des dangers nationaux et locaux : le modèle hiérarchique (voir figures IV.18, IV.19, IV.20, IV.21 et IV.22) a été établi sur la base du référentiel des dangers nationaux et des risques principaux mis en évidence par l'étude de sécurité. La hiérarchie proposée est générique et paramétrable en fonction des spécificités de son environnement d'exploitation (la pondération de l'IRC donnée dans le cadre expérimental a été validée pour la première couronne parisienne uniquement). Le SIAD peut être exploité à partir de tout ou partie des données descriptives de la hiérarchie, en fonction des données renseignées dans le SI existant ;
- hiérarchisation des installations en fonction des dangers : les installations sont rangées en fonction de leur priorité de renouvellement ;
- quantification de la masse d'ouvrages à renouveler : le classement des installations permet, en fonction d'un seuil de priorité de renouvellement donné, d'estimer la masse d'ouvrages à traiter.

L'exploitation du classement des installations de distribution nécessite au préalable, et en accord avec la stratégie d'entreprise, de définir un seuil d'acceptabilité de priorité de renouvellement en dessous duquel le maintien des ouvrages en l'état est assumé et leur renouvellement différé. Le choix de ce seuil résulte d'un compromis entre moyens engagés et niveau de sécurité espéré. L'exploitation du SIAD revêt donc un double usage dans l'estimation de ces objectifs stratégiques : en fournissant le diagnostic sécurité des réseaux de distribution existants, il permet de **justifier une demande d'engagement** de moyens humains et financiers pour son renouvellement ; inversement, à partir de moyens humains et financiers mis à disposition, il permet **d'estimer les objectifs cible** accessibles en termes de sécurité.

La région Ile de France compte plusieurs dizaines de milliers d'installations directement concernées par les programmes de renouvellement. L'exploitation du SIAD ne peut raisonnablement être opérée à ce niveau. L'expérimentation actuellement en cours avec un centre de distribution est menée à l'échelle communale. Ainsi, le nombre d'ouvrages considérés est limité à quelques milliers au plus. Pour être interprété puis exploité, le classement des installations nécessite de définir une échelle de mesure discrète de la priorité de renouvellement. L'utilisation d'une telle échelle de mesure permet de représenter graphiquement⁴⁵ le diagnostic sécurité du réseau de distribution considéré et présentant la répartition de la part de réseau (nombre d'ouvrages) en fonction de la priorité de renouvellement (voir figure IV.24). L'échelle de mesure discrète permet également de dénombrer la masse totale d'ouvrages à traiter pour un seuil de priorité de renouvellement donné. La figure IV.24 montre l'allure générale d'une telle courbe. A échéance des programmes de renouvellement, le nombre d'installations présentant une priorité de renouvellement élevée tend à être nul.

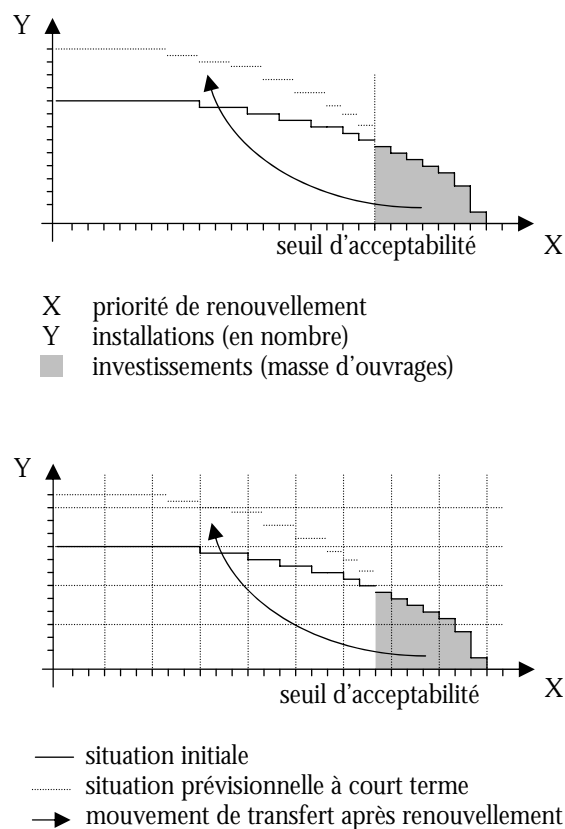


Figure IV.24 : Estimation des investissements de renouvellement à court terme

La figure IV.25 situe la place du SIAD dans le processus de réalisation des programmes de renouvellement. Elle met l'accent sur l'importance de la mise à jour du SI en fonction de l'évolution du réseau, des technologies et des réglementations (le lien dynamique entre le SIAD et le SI permet de visualiser l'état d'avancement du programme, au fur et à mesure des renouvellements opérés et renseignés dans les bases de données). Elle montre également le rôle déterminant du suivi de réalisation dans la concrétisation des objectifs initiaux. En effet, au-delà de l'engagement financier, le respect des délais ainsi que

⁴⁵ Le découpage en zones du plan est semblable à celui d'une matrice des risques (voir § III.2.3.3).

la qualité de réalisation des interventions contribuent à la qualité du processus de gestion des risques mis en œuvre.

5 Conclusion

Nous avons présenté un cas d'étude de management des risques. Dans le corps du texte, nous avons fait référence à une méthodologie de prise en compte du risque global, en précisant ses objectifs et ses conditions de mise en œuvre. Nous allons à présent dégager la synthèse des apports industriels et tirer les enseignements expérimentaux ayant contribué à la formalisation de la méthodologie ERA que nous développons à la suite en lui consacrant le dernier chapitre de ce document. **Ce cas d'étude montre l'utilité de la prise en compte du risque global résultant de l'agrégation de risques de natures différentes.** Nous verrons à la suite que nombre d'autres domaines auraient avantage à exploiter une information unique et de synthèse, permettant d'enrichir et d'améliorer la qualité du processus décisionnel. D'une manière plus générale, une telle méthode va dans le sens d'un management intégré. Si, dans le cas présent, il se limite à la considération des aspects qualité et sécurité, nous pouvons raisonnablement penser que dans d'autres domaines d'application, une telle méthode puisse également considérer et adjoindre aux précédents aspects, la santé et la protection de l'environnement.

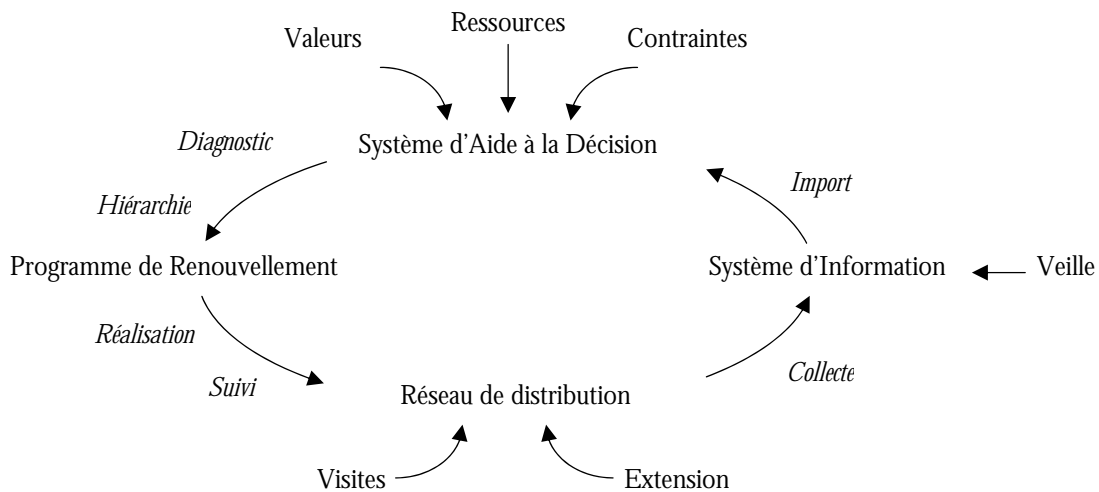


Figure IV.25 : Processus de renouvellement

5.1 Apports

Le contexte industriel lié à l'activité de distribution du gaz naturel est similaire à de nombreux secteurs d'activité. Les maîtres mots pour le décrire sont nombreux : rationalité économique, image de marque, entreprise responsable, prise en compte de l'environnement, développement durable, etc. Ces aspects sont devenus des priorités affirmées de la politique générale d'entreprise. A cette fin, l'amélioration de la chaîne de distribution du gaz naturel passe nécessairement par l'amélioration de la qualité et de la sécurité des réseaux et des installations en concession. Le maintien des réseaux de distribution en l'état constitue la problématique centrale de cette étude. L'entretien de ce patrimoine se fait au travers d'une politique de renouvellement sélective nouvellement définie et mise en œuvre au travers de programmes pluriannuels. La méthodologie que nous avons employée permet de ranger les installations par ordre de priorité de renouvellement au regard des dangers liés à leur exploitation. En conséquence,

l'identification de zones prioritaires fournit une aide au gestionnaire et répond aux principaux attendus spécifiés dans la politique qualité de la chaîne de distribution du gaz naturel, à savoir :

- identifier les configurations d'installation dangereuses ;
- fournir le diagnostic sécurité de chaque installation ;
- quantifier la part de réseau à renouveler en priorité.

La méthodologie ayant permis cette analyse innove en proposant l'évaluation d'un indice de risque global unique, en l'occurrence présenté sous la forme d'une mesure de priorité de renouvellement, résultat de l'agrégation de risques de natures différentes. Le caractère fonctionnel de la méthode est accru par une implémentation sous forme de SIAD interfacée au système d'information de l'entreprise. Ainsi, à partir des données renseignées dans le SI, l'utilisation de l'outil informatique permet de quantifier la masse d'ouvrages à traiter et, par voie de conséquence, d'estimer les moyens financiers à engager pour le renouvellement des ouvrages afin de suivre l'évolution des réseaux, au fur et à mesure de l'avancement des programmes de renouvellement. Enfin, il permet de réaliser l'étude de sensibilité des paramètres d'importance et en particulier de qualifier les barrières de prévention ou de protection en mesurant les apports de leur application.

5.2 Limites et perspectives

Ce cas d'étude a été résolu en privilégiant les aspects technique et organisationnel, au détriment de l'aspect économique. L'estimation de la masse d'ouvrages à traiter en priorité nécessite une information complémentaire relative à son coût de renouvellement. Dans son état actuel, le SIAD ne peut fournir une telle information. Aussi, l'intégration de critères technico-économiques relatifs aux coûts de renouvellement⁴⁶ et au retour sur investissement semble être une continuation logique à ces travaux. L'étude a été volontairement limitée aux conduites d'immeubles et conduites montantes. L'extension du champ d'application à l'ensemble des ouvrages de distribution et de transport semble également être une perspective à approfondir, surtout dans l'optique du développement d'un outil de gestion globale des éléments de la chaîne de distribution de gaz naturel. Enfin, le SI actuel ne permet pas d'exploiter pleinement le modèle hiérarchique de priorité de renouvellement. Une partie des données descriptives sont absentes et nécessitent d'être collectées (critères relatifs à l'incendie de proximité par exemple).

⁴⁶ Coût unitaire en mètre linéaire, coûts des matériaux, coûts d'assemblage, etc.

Chapitre V

Méthode d'Evaluation des Risques Agrégés

1 Introduction

Dans les précédents chapitres, nous avons présenté la Méthode d'Evaluation des Risques Agrégés (ou ERA) au travers de son application à la résolution d'une problématique de gestion de patrimoine. Nous allons à présent entrer dans le corps de la méthode et décrire les principes et la démarche. La méthode ERA est une méthode de gestion des risques. **Elle complète les méthodes traditionnelles d'analyse des risques et étend leur champ d'action à l'évaluation et à la prise en compte d'un risque global et unique, synthèse de risques de natures différentes.** ERA est une méthode et un outil d'aide à la décision. Elle est destinée à aider les décideurs dans la conduite de leurs activités et en particulier lors de choix décisionnels complexes. La méthode ERA contribue à améliorer la qualité et la sécurité. Elle contribue également à enrichir le patrimoine informationnel de l'entreprise en développant la connaissance de la situation étudiée, du système considéré et de son environnement proche.

L'aspect novateur et pertinent de la méthode ERA se situe à deux niveaux :

- d'une part, elle fournit une aide aux choix d'investissements en complément des critères de rentabilité ou de valorisation économique. Dans le cas de l'étude que nous avons présentée, elle fournit une aide au gestionnaire dans la sélection et le rangement des interventions à réaliser dans le cadre d'une évolution de son patrimoine vers un niveau de performance, satisfaisant les objectifs visés, en adéquation avec les contraintes qui lui sont imposées et exploitant au mieux les ressources humaines, financières et techniques engagées. Plus généralement, mais tout en restant dans le cas particulier d'investissements de modernisation, qui rappelons-le, n'ont pas pour vocation première de créer de nouvelles valeurs, la méthode ERA va dans le sens d'une productivité accrue en fournissant des éléments pour l'estimation et l'affectation des engagements financiers ;
- d'autre part, elle contribue au déploiement d'une politique de maîtrise des risques qui, en conséquence, permet d'accroître le niveau de performance industrielle et "sociale" en améliorant conjointement la qualité et la sécurité des personnes, des biens et de l'environnement.

D'un point de vue conceptuel, la méthode ERA est une méthode de gestion globale. Elle réutilise les approches probabiliste et déterministe de la gestion des risques et agit sur des facteurs techniques (vision globale du système et de son environnement), économiques (allocation optimale des ressources en fonction d'objectifs, de contraintes et de moyens) et décisionnels (modélisation des préférences à des fins de prescription).

Enfin, d’un point de vue purement fonctionnel, **la méthode ERA permet d’estimer l’importance relative de risques de natures différentes** afin d’évaluer le risque global résultant de la projection de l’évaluation des risques sur la forme d’un risque unique. La méthode ERA fait appel aux disciplines de l’analyse systémique, de l’aide multicritère à la décision et de l’ingénierie des connaissances. Elle s’articule autour de deux principes fondamentaux. Le premier repose sur une approche graduelle de la gestion des risques qui, par niveaux successifs, incite à poser les problèmes de fond (analyse du problème et de la situation décisionnels) avant de rechercher des solutions techniques. Le second repose sur une démarche progressive qui permet, par passes successives, d’aller d’une vision globale du système à une vision globale du risque. La tableau V.1 situe la démarche de la méthode ERA par rapport aux processus de gestion des risques (voir § III.2), d’analyse et de conception de systèmes d’information (dans une optique de développement de SAID) et d’aide à la décision (dans une optique prescriptive).

	Méthode ERA	Gestion des risques	Analyse et conception	Aide à la décision
1	Spécification		Spécification	Analyser Diagnostiquer
2	Analyse des risques		Conception	
3	Modélisation multicritère	-		
4	Implantation informatique	-		Réalisation	Décider
5	Exploitation / Traitement		Exploitation	Agir
6	Suivi		Maintenance	

Tableau V.1 : Phases de la méthode d’Evaluation des Risques Agrégés

La méthode ERA est composée de six phases successives (voir tableau V.1). La première phase, dite de spécification, est une étude de la situation et du problème posé. Elle aboutit à la rédaction d’un cahier des charges, spécifiant principalement les attendus liés à la politique de gestion des risques développée. La seconde phase, dite d’analyse, est une étude de danger du système et de son environnement. Elle aboutit à la rédaction d’un document descriptif des risques principaux. La troisième phase, dite de modélisation, est une phase de caractérisation des risques principaux en ensembles homogènes de critères. Ces derniers sont ensuite organisés sous la forme d’une hiérarchie, de manière à représenter un modèle analytique du risque global lié au système étudié. La quatrième phase, dite de développement, est facultative. Elle permet de rendre opérationnelle la hiérarchie précédemment développée, en l’implantant sous la forme d’un Système Informatique d’Aide multicritère à la Décision (ou SIAD). La cinquième phase est une phase d’exploitation du modèle hiérarchique (implanté ou non sous forme de SIAD). Ce dernier est mis en œuvre dans le cadre de la politique de gestion des risques, de manière à déterminer les objectifs cibles du problème décisionnel initial. Enfin, la sixième phase est une phase de suivi, permettant en particulier dans le cadre de programmes ou de projets de longue durée de donner un caractère dynamique à la méthode en intégrant les évolutions du système étudié et de son environnement.

2 Problématique de la gestion du risque global

Nous définissons la notion d’acceptabilité comme la résultante d’un compromis entre acceptabilité technique (décidée par les opérationnels), acceptabilité économique (définie par les gestionnaires) et acceptabilité sociale (appréhendée par les gestionnaires). La figure V.1 illustre une conception de l’acceptation du risque basée sur la notion de regards du modèle Cindyniques (voir § II.3.3.4).

Le développement d’une méthodologie de gestion du risque global nous a conduit à rechercher des éléments de réponse aux interrogations suivantes :

- quelle est la contribution des méthodes existantes dans l'élaboration de la méthode ERA ?
- quels sont les risques principaux susceptibles de participer à l'évaluation du risque global ?
- quelles sont les méthodes et outils de l'aide à la décision nous permettant d'évaluer un indicateur de risque unique et de synthèse ?

En réponse à ces interrogations, nous avons successivement présenté : une taxonomie du risque avec pour objectif d'établir un référentiel de base pour l'identification des risques (voir § II.3) ; une description détaillée du processus de gestion des risques et des principales méthodes d'analyse des risques (voir § III – Analyse et gestion des risques) ainsi que les éléments structurants de l'aide à la décision et en particulier l'approche du critère unique de synthèse (voir § IV.2, § IV.3).

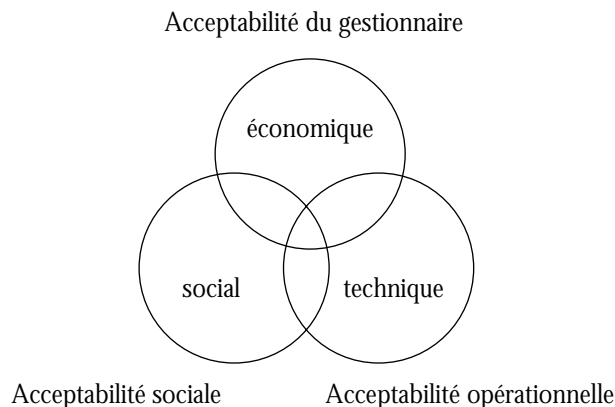


Figure V.1 : Regards sur l'acceptabilité du risque

3 Démarche

La méthode ERA repose sur un modèle de prise en compte du risque abordé sous un angle systémique. L'aspect conceptuel de ce dernier s'appuie sur le modèle Cindynique et, en particulier, sur les dimensions (épistémique, mnésique, téléologique, déontologique et axiologique) définissant le concept de situation Cindynique (voir § II.3.3.4).

3.1 Modèle de prise en compte du risque

La méthode ERA se fonde sur une approche systémique qui regroupe différents référentiels segmentés (voir figure V.2). Les interactions multiples entre chaque référentiel sont considérées, faisant ainsi de la méthode ERA un processus global dans lequel intervient chaque sous-système externe et interne à l'entité considérée. La méthode ERA est une méthode étendue. Elle est initiée en phase d'élaboration de la stratégie d'entreprise et poursuivie au cours de sa mise en œuvre (dans le cadre de programmes pluriannuels par exemple, voir II.1.3). Le modèle de prise en compte du risque global compte quatre référentiels (voir figure V.2) : **référentiel stratégique** (objectifs définis lors de l'élaboration de la stratégie d'entreprise) ; **référentiel social et réglementaire** (contraintes réglementaires, normes et valeurs¹) ; **référentiel informationnel** (savoir, savoir-faire, retour d'expérience, intuition, etc.) ; et **référentiel opérationnel** (moyens humains et financiers, et solutions techniques).

¹ La notion de valeur couvre les préférences des dirigeants d'entreprise (ou "valeurs managériales") et les responsabilités sociales (l'éthique).

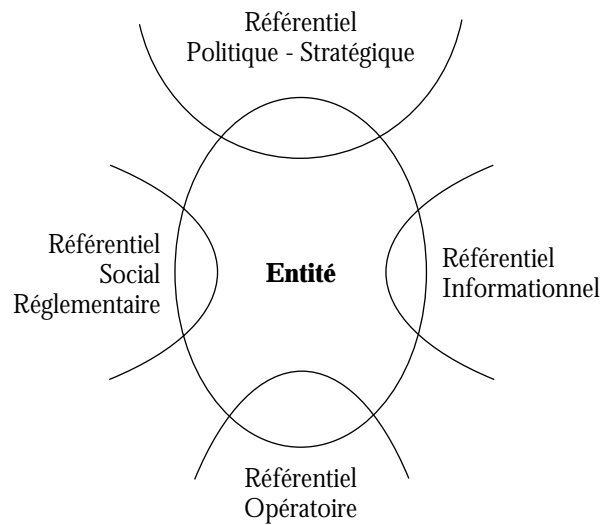


Figure V.2 : Référentiels pour la prise en compte du risque

Le référentiel stratégique est défini par la direction. Il est le résultat d'un processus décisionnel concerté, engagé par l'équipe dirigeante et auquel doit être associé l'ensemble des parties intéressées en relation avec l'entreprise. Ce processus de réflexion est nécessaire à l'élaboration d'une stratégie efficace. **L'aboutissement de ce travail doit permettre d'identifier de façon qualitative ou quantitative les objectifs qualité et sécurité qui peuvent être atteints, considération faite des attendus exprimés par chaque partie, des exigences réglementaires, des risques liés à l'activité de l'entreprise, des mesures de réductions existantes et des contraintes humaines et financières (voir figures v.3 et v.5).** La définition des objectifs est menée de front avec l'élaboration des programmes permettant de les atteindre. L'identification des objectifs cibles comprend donc le dimensionnement des engagements nécessaires à leur réalisation (investissements financiers et humains, durée de réalisation, etc.).

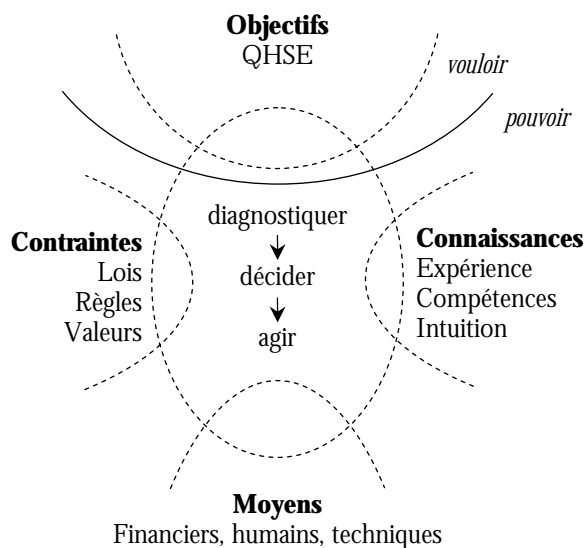


Figure V.3 : Modèle de prise en compte du risque

3.2 Processus intégrant

La méthode ERA est intégrée à la politique de maîtrise des risques. Il s'agit donc d'une démarche progressive et continue dont l'objectif est d'améliorer la sécurité du système en conformité avec la politique de l'entreprise (l'étude expérimentale présentée dans § II.2, § III.5 et § IV.4) en est l'exemple). La figure V.4 présente le processus de maîtrise des risques. La méthode ERA intervient dans chacune de ces étapes, exception faite de l'étape de "mise en œuvre".

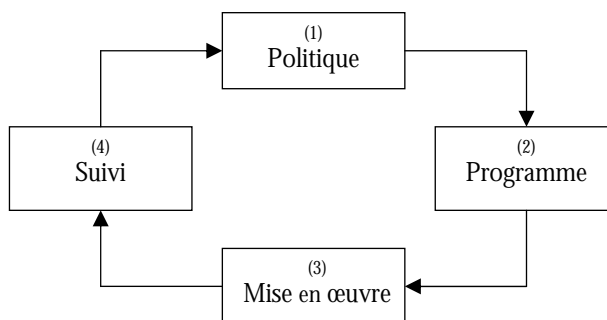


Figure V.4 : Amélioration continue

Le cycle d'amélioration continue peut être décrit comme suit :

- étape 1 : élaboration d'une politique de maîtrise des risques. Cette étape permet d'apprécier la nature et l'importance des risques afin de déterminer l'engagement nécessaire à leur réduction (voir figure V.4). Le résultat de cette étape est la définition d'objectifs cible, généralement exprimés en termes de performance sur le système considéré et relativement au niveau de maîtrise des risques. Les objectifs sont définis à partir des résultats de l'analyse des risques et en particulier en considérant les mesures de réduction identifiées. A cette étape, la contribution de la méthode ERA est d'une part de fournir le diagnostic sécurité de l'existant, **permettant ainsi d'évaluer le potentiel de dangers en mesurant les dissonances² entre les référentiels de la situation actuelle (non acceptée), et les référentiels de la situation attendue à échéance des programmes de réduction des risques.** D'autre part, de quantifier le potentiel de dangers et donc de fournir une estimation des engagements à déployer dans le cadre des programmes de réduction des risques ;
- étape 2 : programmes de réduction des risques. La politique de maîtrise des risques est mise en œuvre à l'aide de programmes pluriannuels. L'élaboration de ces derniers consiste à définir les mesures opérationnelles à appliquer, estimer les coûts et délais de réalisation et planifier les interventions à traiter en priorité. Outre la quantification des coûts et délais de réalisation (définie en étape 1), **l'évaluation du risque global permet de définir une hiérarchie dans les interventions à opérer**, contribuant ainsi à accroître le taux de convergence vers les objectifs cible (voir figure I.7) ;
- étape 3 : mise en œuvre. Les programmes de réduction des risques sont exécutés sous le suivi d'une ou de plusieurs personnes désignées responsables de par leur mission ("risk manager") ou leur responsabilité³. Ils sont accompagnés de plans de formation (gestion de crise, plan d'urgence, exercice d'évacuation, etc.), de sensibilisation (sensibilisation aux risques potentiels et à leurs conséquences),

² En référence à la notion de potentiel cindynique (voir § II.3.3.4).

³ Précisons que tout "Risk Manager" ou toute personne nommée responsable doit disposer de l'autorité suffisante pour s'assurer de la bonne conduite des programmes de réduction des risques.

d’information et de communication interne ou externe à l’entreprise (affichage de consignes, rédaction de procédures, etc.) ;

- étape 4 : validation et suivi. Les programmes de réduction des risques sont généralement de longue durée (plusieurs années). Il convient donc de s’assurer de leur bon déroulement par un suivi régulier permettant de mesurer le degré de réalisation des objectifs et de corriger au plus tôt les éventuels retards ou dérives. Les mesures de réduction des risques prises doivent faire l’objet d’un contrôle afin de s’assurer de leur qualité de réalisation et de leur conformité par rapport aux attendus spécifiés lors de l’analyse des risques. Toute non conformité doit faire l’objet d’un retour d’expérience, de manière à être intégrée à la suite des travaux. Dans une extension au développement de SIAD, la méthode ERA se dote d’outils favorisant le suivi régulier de l’état d’avancement des programmes.

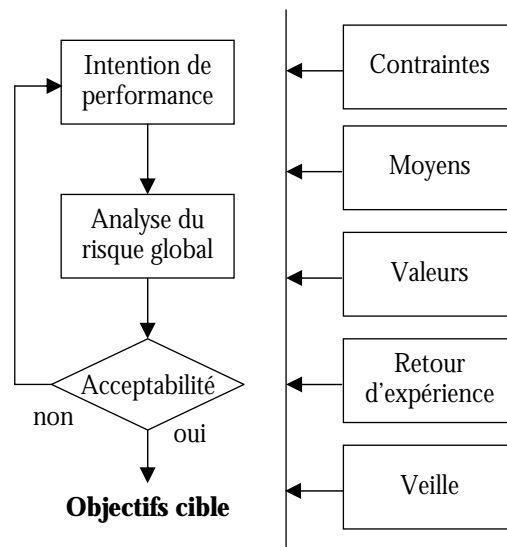


Figure V.5 : Définition d’objectifs cibles à l’aide de la méthode ERA

Chacune de ces étapes est accompagnée d’une documentation appropriée (étude de sécurité principale, manuel qualité, plan d’urgence, plan d’évacuation, procédures de maintenance, etc.). Le retour d’expérience et la capitalisation de connaissances (constitution de bases de données d’incident, accident, presque-accident, etc.) sont fondamentaux. Ils permettent de tirer les enseignements du passé et de les exploiter efficacement. Le cas échéant, ils peuvent également justifier de la conformité avec la réglementation en vigueur et du respect de tout autre engagement pris par l’entreprise.

3.3 Démarche détaillée

La méthode ERA est composée de six phases successives. Elle fait appel à diverses méthodes issues des disciplines de l’analyse des risques (voir § III.2), de la systémique, de l’aide à la décision (voir § IV.2 et § IV.3) et de l’ingénierie des connaissances. La figure v.6 présente les phases de la démarche.

3.3.1 Spécification

La gestion des risques n’est que très rarement appliquée à un problème structuré et précis, en lieu et place d’une situation connue et maîtrisée. Ce flou contextuel représente une première et réelle difficulté. La phase de spécification tente de lever ces imprécisions en définissant le système étudié et les attendus de la politique de gestion des risques dont il est l’objet. Cette spécification vise à se rapprocher d’un contexte contractuel dans lequel les besoins sont clarifiés et où les sous-systèmes décisionnel, informationnel et opérationnel de l’entreprise sont liés.

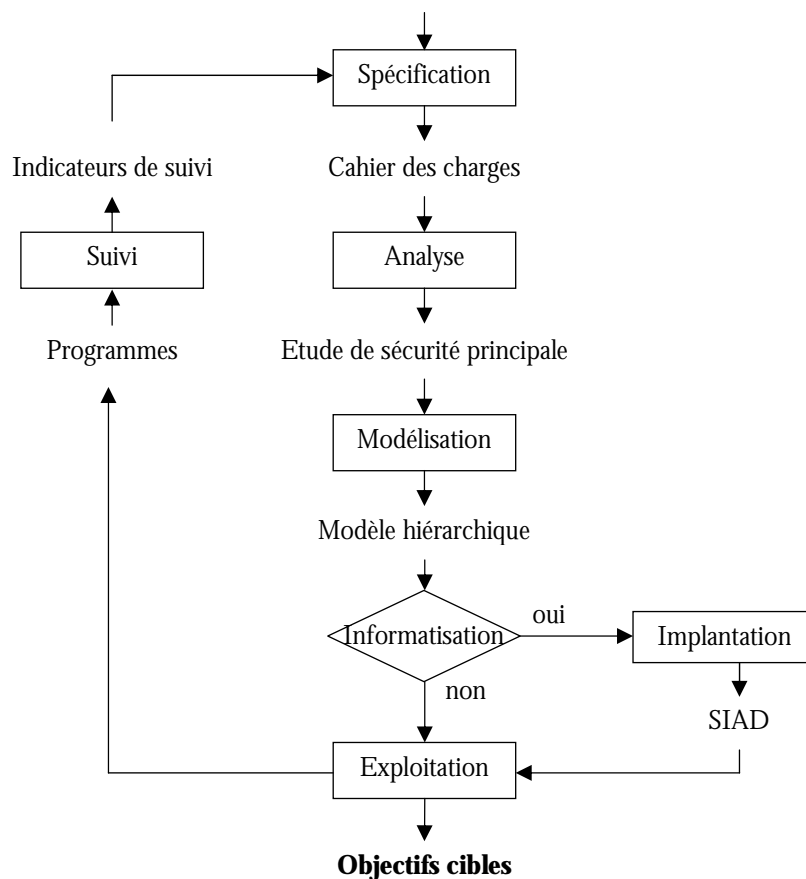


Figure V.6 : Démarche générale

3.3.1.1 Etape 1 : définition des objectifs

Le processus de gestion des risques s'inscrit dans la ligne de management de l'entreprise. L'étape de définition des objectifs situe la place et l'importance de la gestion des risques dans la politique générale de l'entreprise et ce afin d'affirmer l'engagement de l'entreprise dans un processus d'amélioration continue de un ou plusieurs aspects QHSE. Il incombe à la direction d'entreprise, en concertation avec chaque partie concernée, de spécifier une politique à suivre, des objectifs à atteindre, des stratégies possibles avec pour intention première de faciliter le déroulement du processus de gestion des risques.

3.3.1.2 Etape 2 : définition du champ et des modalités d'étude

Comme toute activité, la gestion des risques nécessite la mise en place d'une structure et d'une équipe de travail. Bien que les personnes potentiellement concernées soient nombreuses, l'équipe de travail doit être limitée en nombre afin de rendre l'étude réalisable dans les délais impartis. Elle doit également compter au moins un représentant de chaque partie intéressé par l'étude (interne ou externe à l'entreprise) afin de donner crédit, pouvoir et acceptation aux prescriptions formulées. Le groupe de travail ainsi constitué doit être représentatif de l'autorité (décideur) et des connaissances de l'organisme concerné (experts), en ayant précisé pour chacun leur statut et leur rôle. L'animation est confiée au spécialiste méthodes de la gestion des risques ("Risk Manager"). Outre la constitution du groupe de travail, cette étape vise également à définir le champ, le délai et le budget d'étude. Dans le cas de systèmes complexes ou multiples, il convient de délimiter le champ d'étude en identifiant les entités principales de manière à établir un Sous-Ensemble Représentatif (ou SER) du système étudié⁴. Rappelons

⁴ La sélection d'un SER permet de limiter la portée et le délai de l'étude. Le cas expérimental que nous avons présenté a été volontairement limité aux installations de distribution à usage collectif et aux conduites d'immeubles

que l'analyse d'un champ d'étude trop important peut être un exercice complexe aux résultats incertains. La définition du SER nécessite une observation approfondie du système. Le chargé d'étude, en l'occurrence le "Risk Manager" doit donc acquérir une connaissance suffisante du domaine concerné.

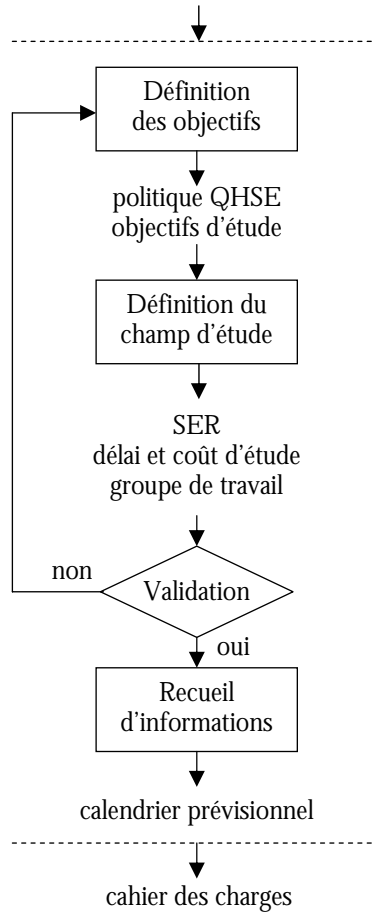


Figure V.7 : Phase de spécification

3.3.1.3 Etape 3 : recueil d'informations

La définition du SER, ainsi que l'identification des risques, nécessitent de réaliser au préalable l'inventaire et la collecte de toute l'information disponible. L'information peut être interne (expertise, données opérationnelles, retour d'expérience, etc.) ou externe à l'entreprise (veille). Pour être exploitable, l'information doit être aussi complète que possible. La préparation d'un calendrier d'entretiens individuels et de réunions (brainstorming, visite, audit, interview, questionnaire, check-lists, etc.) est de nature à faciliter son déroulement.

3.3.2 Analyse

La phase d'analyse concerne l'analyse des risques à proprement parler. Elle a pour objectif d'identifier les risques principaux du système et les mesures de réduction permettant de les ramener à un niveau acceptable, en accord avec les objectifs sécurités attendus. Les risques et les mesures de réduction asso-

et conduites montantes en particulier (voir § IV – Application au renouvellement des installations de distribution de gaz naturel). Les premiers résultats de l'étude sont exploités en l'état (expérimentation du SIAD par plusieurs centres de distribution EDF GDF Services) et ouvrent des perspectives d'extension à d'autres types d'ouvrages.

ciées sont respectivement jugés et qualifiés en fonction d'aspects techniques (solutions et moyens techniques connus et maîtrisés) et d'aspects économiques (coût de mise en œuvre et bénéfice en matière de réduction des risques), en complément des aspects liés à la sécurité des personnes et des biens.

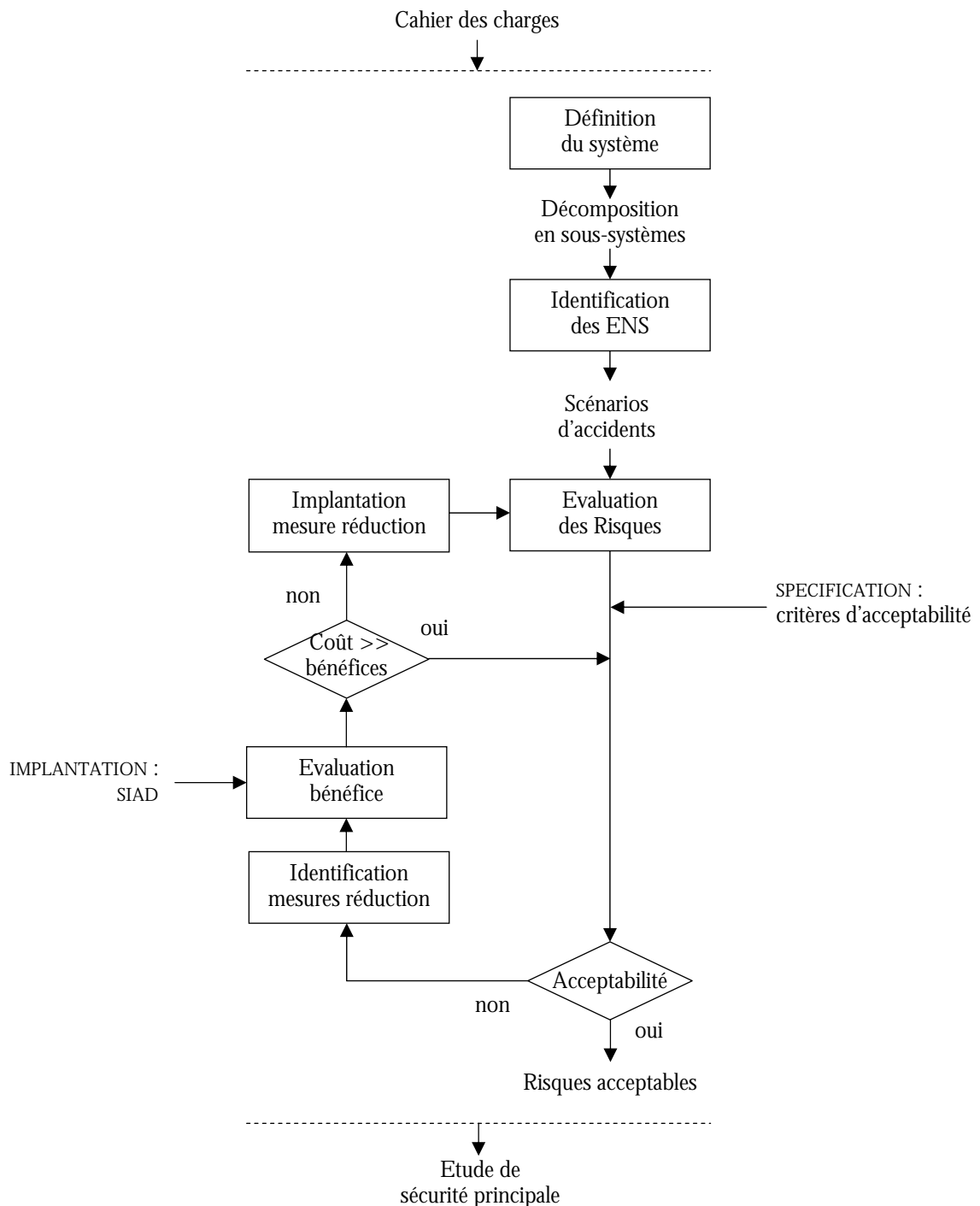


Figure V.8 : Phase d'analyse

La phase d'analyse est composée des principaux éléments structurant de l'analyse des risques (voir § III.2). L'analyse des risques repose sur le choix d'une méthode adaptée au système ou à l'entité considéré. Nous avons retenu la méthode MOSAR pour le cas d'étude que nous avons présenté (voir § III.4).

Les principales méthodes d'analyse des risques (objectifs, principes et limites) ont été présentées dans § III.3 de manière à faciliter leur choix éventuel, en adéquation avec une problématique donnée⁵. La phase d'analyse est composée des étapes d'identification, d'évaluation et de traitement des risques⁶.

3.3.2.1 Étape 1 : identification des risques

Identifier les risques consiste à identifier les menaces auxquelles l'entité considérée peut être confrontée (voir § III.2.3.2). La notion d'Événements Non Souhaités (ou ENS) est liée à la stratégie adoptée par l'entreprise. A notre sens, **un ENS désigne un événement possible, dont la survenance est susceptible de compromettre la satisfaction des objectifs cible définis par la stratégie d'entreprise**. L'identification des ENS et des relations de causes à effets qui les lient fait appel aux connaissances de l'entreprise et à l'expérience du groupe de travail⁷. Nous définissons **l'identification des risques comme la tâche qui consiste à dresser une liste aussi exhaustive que possible des ENS dont la survenance, seule ou enchaînée, est susceptible de mettre en péril la satisfaction des objectifs cible dans le respect des coûts et délais fixés initialement**. L'identification des risques se compose d'une étape de modélisation du système et d'une étape d'identification des ENS et de leurs enchaînements :

- le système est défini à partir de données techniques (description physique du système et de son environnement) et de données fonctionnelles (procédures et consignes de mise en service, d'exploitation et de maintenance). Il se décompose en un ensemble de sous-systèmes. L'identification des composantes (matérielles, humaines, etc.) et de leurs relations peut être menée selon un point de vue unique ou bien selon des points de vue multiples en mariant simultanément les approches fonctionnelles, hiérarchiques ou topologiques ;
- l'étude des ENS et de leurs enchaînements permet d'identifier les risques principaux du système. L'identification des scénarios d'accidents est d'abord menée au niveau de chaque sous-système, puis au niveau du système global. Chaque scénario d'accident identifie un risque.

En d'autres termes et selon le modèle Cindynique (voir § II.3.3.4), l'identification des risques consiste à définir la situation cindynique étudiée (champ d'étude, réseaux d'acteurs, etc.) et à identifier le potentiel cindynique (déficits et dissonances) propre à la situation actuelle.

3.3.2.2 Etape 2 : évaluation des risques

L'évaluation des risques consiste à analyser qualitativement ou quantitativement les risques principaux afin de déterminer les risques non acceptables devant nécessairement faire l'objet de mesures de réduction appropriées. L'évaluation quantitative des risques fait appel à la totalité de l'expérience de l'entreprise (dires d'experts, données techniques, bases de données d'incidents, etc., voir § III.2.3.3). Son applicabilité est liée à l'existence de mesures fiables, relatives aux incidents, accidents, etc. survenus sur le système.

L'évaluation qualitative s'inscrit dans le prolongement immédiat de l'identification des risques. Elle permet de sélectionner les risques les plus importants en termes de gravité et / ou de probabilité et

⁵ L'efficacité (rapport coût / efficacité) des principales méthodes d'analyse des risques est variable. Il convient donc de mettre en balance l'investissement en temps requis pour leur mise en œuvre et la pertinence des résultats obtenus. Dans le cas particulier de systèmes complexes ou multiples, la problématique liée à l'analyse des risques est étendue. Elle peut être simplifiée par l'utilisation de méthodes progressives telles que la méthode MOSAR, permettant une analyse à un niveau de profondeur choisi, en rapport avec le niveau de précision des résultats attendus.

⁶ Bien que la méthode ERA soit une méthode de gestion des risques, elle n'aborde pas tous les aspects de l'analyse des risques. En particulier, le traitement des risques se limite essentiellement à l'identification et à la qualification des mesures de réduction des risques.

⁷ Ce constat met en évidence l'importance du retour d'expérience et de la capitalisation des connaissances dans le processus d'amélioration continue.

devant faire l'objet d'une analyse détaillée. L'évaluation quantitative permet de hiérarchiser les risques par ordre d'importance. Leur classement est généralement établi sur la base des critères de probabilité et gravité, présentés sous la forme d'une matrice des risques (voir figure III.12). Le choix d'une frontière d'acceptabilité scindant le plan probabilité / gravité en une zone acceptable et une zone inacceptable, permet d'identifier les risques inacceptables devant faire l'objet de mesures de traitement. **A cette étape, la notion d'acceptabilité est définie en termes de probabilité et de gravité uniquement.**

3.3.2.3 Etape 3 : identification des mesures de réduction des risques

L'identification des mesures de réduction des risques consiste à identifier et à qualifier les mesures possibles permettant de réduire l'importance des risques principaux et de les ramener à un niveau de sécurité souhaité. Les mesures de réduction des risques sont constituées de mesures de prévention et de protection. Elle peuvent être de nature technique, opérationnelle ou organisationnelle (voir § III.2.3.4). Le choix des mesures de réduction des risques à privilégier repose sur :

- la répartition des engagements financiers en matière de prévention et de protection (énoncée par la politique de maîtrise des risques décrite en phase de spécification) ;
- la qualification des mesures de réduction des risques (fiabilité, vulnérabilité et efficacité), soit par retour d'expérience et analyse a posteriori d'incidents ou accidents, soit par simulation⁸ ;
- l'analyse coût-bénéfice des mesures techniquement possibles (voir § III.2.3.4.2.a) :

Ainsi, le choix des mesures de réduction des risques est fondé sur l'acceptabilité opérationnelle des risques (identification des solutions et moyens techniques possibles) et sur l'acceptabilité économique des risques (voir § III.2.3.3.3.c). L'absence ou la non existence de mesures de réduction techniquement ou économiquement viables (faute de développement ou d'un niveau de maîtrise insuffisant des technologies, ou faute d'un coût de mise en œuvre disproportionné par rapport au bénéfice espéré) entraîne nécessairement une réévaluation du niveau d'acceptabilité global des risques.

3.3.3 Modélisation

La phase de modélisation vise à construire une hiérarchie permettant d'évaluer le risque global résultant des risques principaux identifiés par l'étude de sécurité principale. La construction du modèle des risques agrégés repose sur l'approche du critère unique de synthèse de la méthode AHP. La phase de modélisation se compose de quatre étapes : caractérisation des risques, construction de hiérarchies, acquisition et validation des préférences.

3.3.3.1 Caractérisation des risques

Caractériser les risques consiste à identifier l'ensemble des facteurs discriminants des risques et d'en extraire les principaux éléments descriptifs. L'identification des principaux éléments descriptifs repose sur l'étude des déficits et dissonances entre deux situations espacées dans le temps⁹. L'étape de caractérisation est une étape déterminante dans la construction du modèle des risques agrégés. Elle doit être suffisamment exhaustive pour permettre une "juste" prise en compte de chaque risque et limitée afin de ne pas aboutir à une hiérarchie complexe et donc difficilement exploitable. Les sources d'informations permettant l'identification des éléments descriptifs sont identiques à celles exploitées lors de l'identification des risques, ce qui implique en particulier :

⁸ L'implantation sous forme de SIAD permet d'évaluer la réduction des risques (bénéfice) liée à la mise en place de mesures de prévention ou de protection (voir § IV.4.4.1).

⁹ Le Risque Incendie de Proximité (ou RIP), identifié dans l'étude de sécurité principale, illustre une caractérisation relative à l'axe déontologique du modèle Cindyniques. Son évaluation est basée sur un ensemble de points de contrôle marquant des déficits en matière de sécurité incendie. Ces derniers ont été identifiés par l'étude des évolutions des principaux textes de lois d'époque à nos jours (voir § IV.4.2).

- une participation active de l'ensemble des acteurs de l'équipe de travail, afin de bénéficier pleinement de leur expérience ;
- l'étude du SI existant, afin d'inclure à la liste des éléments descriptifs l'ensemble des données contribuant à l'évaluation des risques¹⁰.

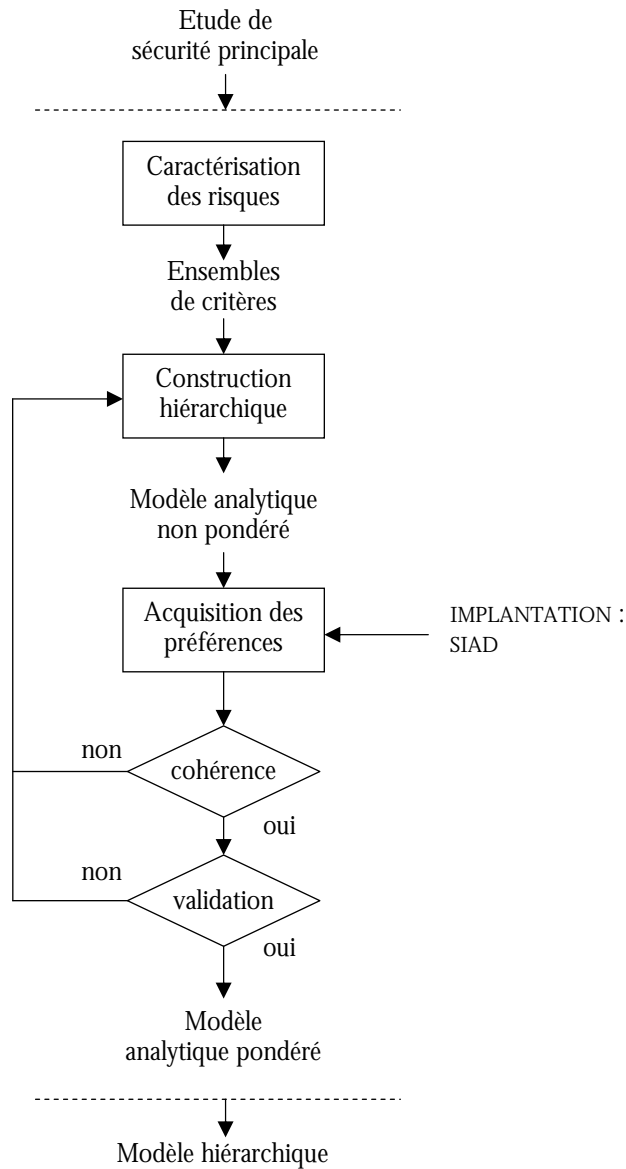


Figure V.9 : Phase de modélisation

3.3.3.2 Construction hiérarchique

L'étape de construction hiérarchique consiste à regrouper les éléments descriptifs en ensembles homogènes et à les structurer sous la forme d'une hiérarchie. La construction du modèle analytique non pondéré est la première étape de la modélisation des risques agrégés. La constitution d'ensembles homogènes vise à regrouper les éléments descriptifs sur la base de leurs caractéristiques

¹⁰ Les données du SI offrent le bénéfice d'une exploitation immédiate, en particulier lors du développement de SIAD (voir § v.3.3.4). Le SIAD développé pour l'évaluation de la priorité de renouvellement a été établi de manière à pouvoir exploiter les informations des bases de données des installations (voir § IV.4.4.1 et § IV.4.4.2).

communes, afin de préparer la structure de la hiérarchie. Les regroupements peuvent s'opérer à partir de la modélisation du système (modélisation topologique, fonctionnelle, etc.) ou à partir de la description des risques principaux qui détermine la nature de la contribution des éléments descriptifs dans l'évaluation du risque global¹¹ (incidence sur les aspects probabilité et gravité du risque). La construction de hiérarchies peut être menée de façon ascendante ou descendante. La structure d'une hiérarchie est liée à la problématique posée. Il convient cependant d'en moduler le nombre de niveaux, de façon à produire une décomposition simple, en prévision de l'acquisition des préférences partielles¹². A notre sens, il n'existe aucune règle précise pour la construction de hiérarchie. Quelques recommandations peuvent être proposées. L'étude expérimentale menée sur les installations de distribution de gaz naturel a montré que :

- la racine de la hiérarchie identifie la cible sur laquelle porte l'évaluation (en l'occurrence la priorité de renouvellement d'une installation) ;
- les premiers niveaux hiérarchiques regroupent les risques principaux identifiés par l'étude de sécurité principale (en l'occurrence les risques techniques, humain et incendie) ;
- les niveaux intermédiaires sont organisés sur la base de la décomposition du système (en l'occurrence les parties d'ouvrages et de leur environnement) ;
- la base hiérarchique se compose des éléments structurants identifiés à l'étape de caractérisation.

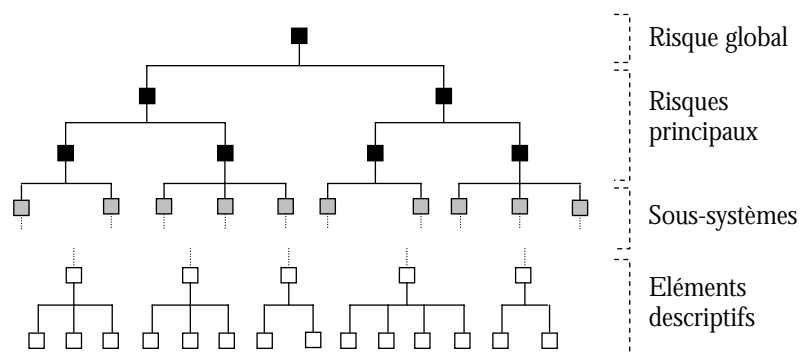


Figure V.10 : Structure hiérarchique type

Sur la base de ces seules recommandations, les hiérarchies résultantes ne font pas explicitement référence aux aspects probabilité et gravité des risques. Ceci étant, l'intégration de ces aspects à un niveau déterminé de la hiérarchie peut, dans certains cas, s'avérer judicieuse¹³.

3.3.3.3 Acquisition des préférences

L'acquisition des préférences constitue la seconde étape de la modélisation des risques agrégés. **Elle vise à acquérir et quantifier l'expression des préférences partielles formulées par les experts de**

¹¹ Initialement, les données descriptives du risque technique des CI ont été réparties en deux sous-ensembles relatifs aux aspects occurrence et gravité du risque (voir § IV.4.3.1).

¹² La hiérarchie du risque technique des CI est structurée en groupes homogènes de même importance (importance forte, moyenne et faible) de façon à la rendre aisément exploitable (voir figures IV.22).

¹³ Le modèle hiérarchique du risque incendie de proximité (voir § IV.4.2.3, figure IV.17) est implicitement construit en différenciant les points de contrôles concernant l'occurrence du risque (probabilité de naissance d'incendies) et ceux relatifs à la gravité du risque (propagation d'incendies).

L'équipe de travail. L'importance relative d'un élément de la hiérarchie exprime la part de sa contribution dans l'évaluation du risque global. Elle est évaluée à l'aide du procédé de comparaison par paire de la méthode AHP (voir § IV.3.2.2). L'acquisition des préférences partielles achève la construction d'un modèle analytique pondéré. Selon la nature de l'élément considéré, les informations permettant de qualifier ou de quantifier son importance relative peuvent être purement subjectives (intuition ou "dires d'experts"), objectives (mesures) ou issues d'un retour d'expérience (données historiques ou statistiques). A ce niveau du déroulement de la méthode ERA, le choix d'une implantation sous la forme de SIAD se pose. En effet, l'utilisation d'outils logiciels basés sur la méthode AHP offre de nombreux avantages, en particulier pour ce qui concerne l'exécution et la validation du procédé de comparaisons par paires (voir § IV.4.4.1). Plus encore, ces outils facilitent les expertises multiples, permettant ainsi de réduire les incohérences et donc de limiter les itérations du processus d'acquisition.

3.3.3.4 Validation

L'étape de validation a pour objectif de tester et de valider la structure hiérarchique. Le test de validité porte sur la structure hiérarchique (regroupements et découpage des niveaux hiérarchiques) et sur la cohérence et les valeurs des préférences (préférences partielles et globales). Ainsi pour être valide, le modèle hiérarchique doit satisfaire deux conditions. D'une part, **il doit respecter le principe de cohérence logique de la méthode AHP** validant l'expression des préférences partielles (voir § IV.3.1.3). D'autre part, **il doit produire des résultats cohérents en mesure et intensité avec l'évaluation de type "dires d'experts" de situations représentatives du terrain.** A cette fin, un cahier de cas test est élaboré. Il doit être constitué de cas représentatifs de la diversité des situations possibles ou existantes et à partir de situations passées ayant été sujettes à incidents ou accidents et ayant bénéficié d'une analyse a posteriori fiable et suffisamment détaillée. Chaque situation réelle doit être décrite et jugée sur place. La non satisfaction de l'une de ces conditions entraîne nécessairement une nouvelle itération du processus de modélisation afin de restructurer la hiérarchie ou d'affiner les appréciations.

3.3.4 Implantation

L'implantation est une phase parallèle à la modélisation. La modélisation sous la forme de SIAD revêt un usage double. D'une part elle aide à la modélisation, d'autre part elle offre de nombreuses fonctionnalités pour l'exploitation du modèle hiérarchique. La phase de modélisation peut être entièrement réalisée à l'aide d'un environnement informatique de développement de SIAD. Un tel environnement apporte une assistance réelle pour la construction et la validation du modèle hiérarchique, réduisant ainsi de façon significative la durée des étapes de construction hiérarchique et d'acquisition des préférences (voir § IV.4.4.1). Quelque soient les attendus d'usage du modèle hiérarchique, son exploitation sous la forme de SIAD offre des avantages multiples en termes de convivialité et de flexibilité d'emploi. Dans le cadre de problématiques impliquant la saisie d'un grand nombre d'informations et dont tout ou partie de celles-ci sont renseignées dans le SI existant, l'utilisation d'un outil informatique intégré s'avère nécessaire. L'étude expérimentale que nous avons présentée illustre cette situation. En effet, si le modèle d'évaluation de priorité de renouvellement peut être utilisé au "coup par coup" pour l'aide au choix du renouvellement d'ouvrages isolés, sa fonctionnalité première est de produire le rangement de l'ensemble des installations de distribution existantes. La masse d'ouvrages concernés est telle que leur saisie manuelle est difficilement concevable. De fait, l'exploitation du modèle a été rendue possible grâce à l'importation d'une partie des données descriptives contenues dans les bases de données du SI.

3.3.5 Exploitation

Le modèle hiérarchique est exploité lors des phases de planification, de suivi et de contrôle des investissements. Tout processus d'investissement est composé de trois phases essentielles (voir § I.3.2.3) :

- une phase de planification destinée à estimer les capacités financières nécessaires à l'atteinte d'un objectif donné et à proposer un échéancier de leur répartition sur une période donnée ;

- une phase de décision-réalisation identifiant la solution techniquement et économiquement optimale et sur laquelle repose l'acte et l'objet investis ;
- une phase de suivi et de contrôle des investissements au cours de la réalisation, dont les objectifs sont de détecter au plus tôt les écarts éventuels et de dresser le bilan des actions menées afin d'enrichir le processus d'investissement.

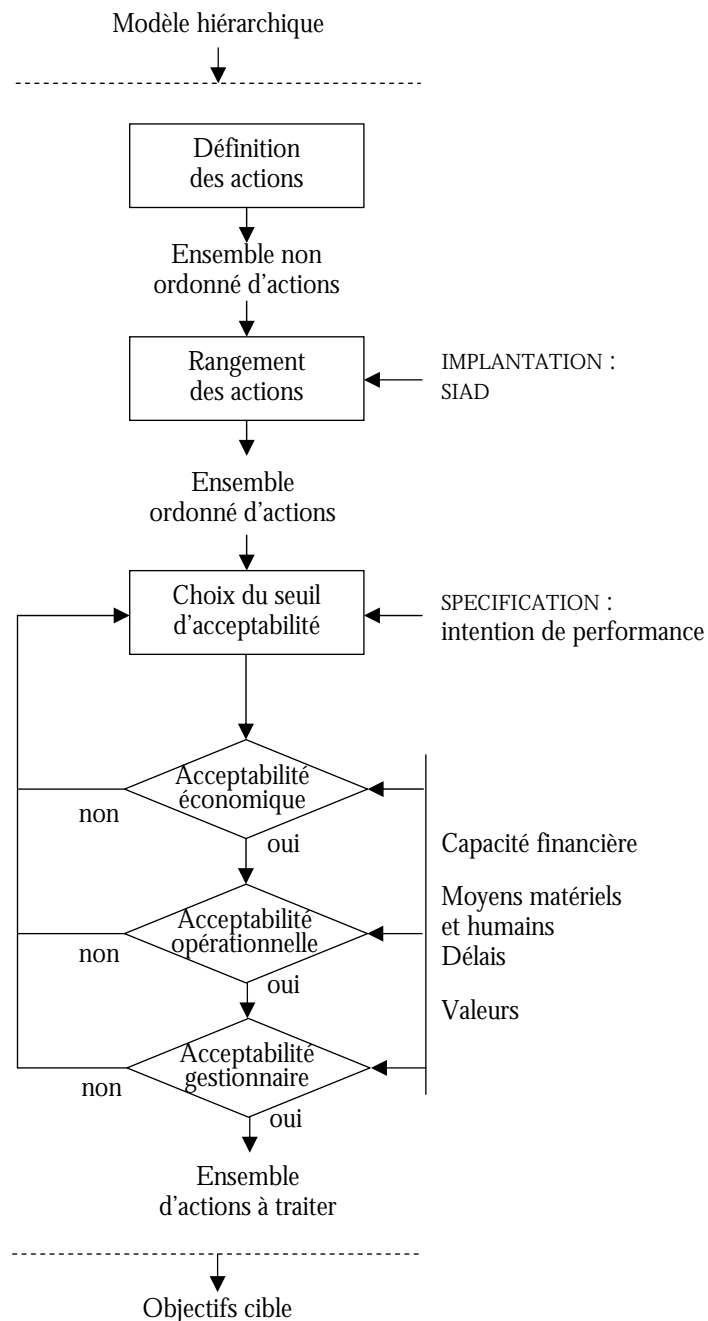


Figure V.11 : Phase d'exploitation

Le plan d'investissement se compose des étapes de définition des objectifs cible et d'estimation des moyens matériels, humains et financiers nécessaires à leur atteinte. Les autres paramètres du plan

d'investissement sont la durée de réalisation et la périodicité d'élaboration¹⁴. L'ensemble de ces éléments sont autant de moyens que de contraintes à respecter (respect des délais, coûts et performances). Le problème du choix d'investissements (défini dans § I.3.2.4) est un choix sur la nature de l'investissement et sur l'objet cible de l'investissement. Dans le cadre de la gestion des risques, le choix de nature porte sur les mesures de réductions et le choix de cibles porte sur l'action¹⁵ à traiter ou à entreprendre en priorité.

La portée de l'exploitation du modèle hiérarchique est d'abord immédiate (identification des objectifs cible), puis à moyen ou long terme selon la durée du plan d'investissements (suivi de réalisation et retour d'expérience). **La phase d'exploitation vise donc à identifier les objectifs cible (voir figures v.5) en termes de réduction des risques (identification du seuil d'acceptabilité du risque global) et en termes de moyens (estimations de moyens matériels, humains et financiers en fonction de la nature et du nombre d'actions à entreprendre).** La phase d'exploitation est composée des étapes de définition et de rangement des actions et de choix du seuil d'acceptabilité du risque global, déterminant en nombre et nature les investissements à réaliser.

3.3.5.1 Définition des actions

Cette consiste à identifier l'ensemble des actions à considérer. Ces dernières peuvent être saisies manuellement (nombre d'actions limité) ou être générées à partir de données issues du SI (grand nombre d'actions).

3.3.5.2 Rangement des actions

Les actions sont triées par ordre d'importance décroissante, selon le modèle des risques agrégés défini en phase de modélisation.

3.3.5.3 Choix du seuil d'acceptabilité

Le seuil d'acceptabilité du risque global détermine l'ensemble des actions à entreprendre en priorité et donc, par conséquent, les investissements matériels, humains et financiers nécessaires à leur réalisation. Le choix du seuil d'acceptabilité est un processus itératif. Sur la base des intentions de performances exprimées par la stratégie d'entreprise en phase de spécification (voir § v.3.3.1), le seuil d'acceptabilité est évalué et modifié jusqu'à satisfaire l'ensemble des parties prenantes du processus de maîtrise des risques. La portée de l'acceptabilité des risques définie en phase d'analyse (voir § v.3.4.2), est étendue à l'acceptabilité du risque global. Selon les termes des Cindyniques, l'acceptabilité du risque global peut se définir comme **l'acceptabilité du potentiel cindynique persistant, déterminé par la différence des potentiels cindyniques de la situation actuelle et de la situation espérée à échéance du programme de réduction des risques.** L'acceptabilité du risque global est alors déterminée à partir de l'acceptabilité opérationnelle des risques (fonction des solutions techniques et des moyens matériels et humains), de l'acceptabilité économique des risques (fonction des moyens financiers) et de l'acceptabilité des gestionnaires (fonction des objectifs stratégiques en termes de performance industrielle et "sociétale", voir § I.2.2 et § III.2.3.3).

3.3.6 Suivi

Les objectifs cible identifiés au cours des phases précédentes définissent les objectifs de coûts, délais et performance des programmes de réduction des risques. Ces derniers sont élaborés en tenant compte de l'ordonnancement proposé par la méthode ERA (voir § v.3.3.5.2), puis mis en œuvre selon le cycle d'amélioration continue (voir § v.3.2 et figure v.4). **La phase de suivi accompagne l'exécution des**

¹⁴ Dans le cas d'étude que nous avons présenté, la durée et la périodicité du plan d'investissement (en l'occurrence des programmes de renouvellement) sont des données et doivent donc être respectés.

¹⁵ Rappelons au passage que le terme action est un terme générique et que dans le cadre de l'étude expérimentale, il désigne une installation.

programmes de réduction en assurant le suivi des performances techniques¹⁶ et le contrôle qualité des mesures des réductions réalisées. Le suivi consiste à analyser l'état d'avancement des programmes afin de mesurer les écarts éventuels entre la situation réelle et la situation prévisionnelle¹⁷. Ces écarts sont mesurés à l'aide du SIAD qui, au fur et à mesure de l'exécution des programmes, prend en compte l'évolution de l'entité considérée, grâce à la saisie dans le SI des informations relatives aux tâches réalisées. Le contrôle qualité est opéré de la même manière, en évaluant les variations de l'indice de mesure du risque global pour les mesures de réduction entreprises. Le lien existant entre le SI et le SIAD permet ainsi de disposer d'indicateurs de suivi dynamiques.

4 Conclusion

En présentant la méthode ERA, nous avons présenté la formalisation d'une démarche de gestion du risque global. Une telle démarche repose essentiellement sur l'utilisation d'une méthode d'analyse des risques et d'une méthode multicritère d'aide à la décision. Le modèle des risques agrégés qui en résulte permet d'identifier et d'évaluer le risque global supporté par l'entreprise, mais aussi de définir les objectifs stratégiques pour une gestion efficace des risques.

Les principales méthodes de gestion développées jusqu'alors reposent sur une analyse et une gestion individuelles des risques. La méthode ERA est une extension de ces méthodes vers une gestion intégrée, qui associe analyse et management des risques. Elle s'inscrit dans la ligne de management de l'entreprise. Elle est ainsi la marque d'un engagement pour le développement durable, partagé par l'ensemble des parties de l'entreprise.

La portée de la méthode ERA se situe simultanément à la croisée des sous-systèmes stratégique et opérationnel de l'entreprise. En effet, la définition d'objectifs cible, l'identification de priorités dans les traitements, ainsi que le choix de mesures de réduction techniquement et économiquement optimales, constituent des éléments fondamentaux pour l'élaboration et la réalisation de plans d'investissements performants.

¹⁶ Le suivi budgétaire et le suivi des délais sont l'objet de procédures spécifiques.

¹⁷ Outre l'analyse de l'état d'avancement, le suivi doit également permettre d'identifier les mesures correctrices permettant de réduire les écarts entre le réel et le prévisionnel.

Conclusion générale

Arrivés au terme de cette présentation, force est de constater que nombre d'idées et de voies de recherche s'ouvrent à nous. Au préalable à leur présentation, nous revenons d'abord sur la méthodologie d'Evaluation des Risques Agrégés et sur notre contribution vers une gestion intégrée des risques d'entreprise.

Vue du domaine des sciences du danger et de la gestion des risques, la contribution de notre travail est la proposition d'une méthode de gestion étendue à l'évaluation des risques agrégés et à la prise en compte du risque global, synthèse de risques de natures différentes.

Du point de vue de l'entreprise, notre contribution va dans le sens du développement de standards unifiés en matière de gestion de la qualité et de la sécurité. Les entreprises concernées attendent des méthodes de gestion des risques qu'elles soient un processus intégrant des activités de l'entreprise et qu'elles permettent l'analyse et le management des risques opérationnels et des risques stratégiques.

Vue du processus de gestion des risques, notre contribution se décline en trois volets.

Le premier volet est relatif à l'évaluation des risques. Notre contribution à ce niveau est la définition d'un indicateur de risque global unique, évalué à partir d'un modèle des risques agrégés. A cette fin, nous nous sommes intéressés aux méthodes multicritères d'aide à la décision et à l'approche opérationnelle du critère unique de synthèse. L'élaboration d'un modèle des risques agrégés pose deux difficultés. La première concerne la construction de la hiérarchie. La seconde l'estimation de l'importance relative des risques.

Le deuxième volet de notre contribution est relatif à la construction de hiérarchies et à l'étape de caractérisation des risques en ensembles de critères homogènes. Cette étape situe le début de l'extension méthodologique aux méthodes classiques de gestion des risques. L'étape de caractérisation des risques repose sur l'étude des déficits et dissonances entre deux situations cindyniques.

Le troisième volet de notre contribution est l'estimation de l'importance relative de risques de natures différentes. Ce problème est résolu par l'acquisition de préférentielles partielles selon le procédé de comparaisons par paires de la procédure d'analyse hiérarchique. L'expérimentation nous a conduit à clarifier la notion de risque global et nous a permis de développer un modèle des risques d'exploitation des ouvrages de distribution de gaz naturel pour l'évaluation de leur priorité de renouvellement.

La place de la méthode d'Evaluation des Risques Agrégés dans la structure de l'entreprise est également un élément important de ce travail. Nous avons opté pour son intégration au cœur du processus d'amélioration continue, à l'articulation entre les sous-systèmes stratégique et opérant. Elle permet ainsi d'identifier les objectifs cibles de la gestion des risques en lien direct avec les objectifs stratégiques de l'entreprise. L'étude expérimentale nous a permis d'illustrer l'intérêt de ce choix en appliquant la méthode d'Evaluation des Risques Agrégés à l'élaboration de plans d'investissements dans le cadre des schémas directeurs d'évolution des réseaux de distribution.

Ce travail ouvre des perspectives de recherche intéressantes de plusieurs points de vue. Nous exposons d'abord les extensions possibles au problème traité, puis nous différencions l'axe théorique et l'axe pratique du développement de la méthode d'Évaluation des Risques Agrégés.

Par rapport au problème traité, de nombreuses extensions méritent d'être considérées, en particulier au niveau de l'intégration de l'aspect économique du traitement des risques. La méthode d'Évaluation des Risques Agrégés compte d'une part une analyse coût-bénéfice permettant d'identifier les solutions techniquement et économiquement optimales et d'autre part un test d'acceptabilité économique destiné à estimer les engagements financiers possibles, compte tenu de contingences matérielles et financières. La possible intégration de ces aspects contribuerait à concilier critères de rentabilité économique des investissements sécurité et critères d'évaluation de la sécurité. Nous pouvons également envisager une extension des types d'ouvrages pris en compte par le modèle d'agrégation des risques, notamment en l'étendant aux réseaux de distribution.

D'un point de vue théorique, la formalisation d'un modèle des risques agrégés offre de multiples extensions potentielles, en particulier pour ce qui concerne la construction de hiérarchies. La combinatoire des extensions potentielles est grande. Nous pouvons par exemple définir une structure hiérarchique type basée sur les critères de mesure d'occurrence et de mesure de gravité¹ ; ou sur un découpage relatif aux axes du modèle Cindynique. Au-delà de l'identification d'éléments structurants, une conceptualisation d'un modèle des risques agrégés peut être envisagée, notamment en proposant une structuration organisée intégrant les concepts liés au risque et les concepts des modèles MADS et Cindynique.

Dans son principe, la méthode d'Évaluation des Risques Agrégés peut être appliquée à de nombreux domaines. En effet, nous nous sommes attachés à développer une démarche formalisée basée sur des idées de réutilisabilité. Les champs d'applications similaires au problème traité par ce travail concernent les problématiques de gestion de patrimoine telles que le renouvellement des ouvrages et réseaux d'alimentation en eau potable ou la gestion technique de patrimoines immobiliers importants par exemple.

Nous pouvons également envisager d'étendre la méthode d'Évaluation des Risques Agrégés à la gestion de portefeuille d'activités.

Dans le cadre d'entreprises diversifiées, l'approche opérationnelle de la méthode d'Évaluation des Risques Agrégés peut contribuer à l'élaboration d'une stratégie globale en appréciant le niveau de risque et la situation de chacune des activités. L'entreprise performante moderne régit ces activités sur la base de décisions comportant une part plus ou moins importante d'enjeux et donc de risques de natures différentes. L'un des objectifs essentiels de la gestion de portefeuille est de permettre une allocation optimale des ressources dont dispose l'entreprise. Il serait intéressant de construire un modèle des risques agrégés intégrant analyse dynamique du portefeuille (évaluation du niveau de maturité des activités) et analyse financière du portefeuille (évaluation des flux financiers et profit des activités) à des fins de prescriptions relatives au maintien ou à l'abandon d'activités. Ainsi, la méthode d'Évaluation des Risques Agrégés pourrait être appliquée à la gestion des risques en situation multiprojet (ou portefeuille de projet). Dans une telle situation, la gestion des risques projet a pour objectif de déterminer des priorités pour l'allocation de ressources parmi les projets les mieux aboutis, et ce, afin de maximiser les chances de succès comptabilisées au niveau global du portefeuille. Les projets d'un même portefeuille sont en situation de concurrence. La méthode d'Évaluation des Risques Agrégés devrait faciliter la mesure des chances de succès de chaque projet individuellement et aider à définir des priorités dans les engagements à privilégier. Un tel développement se situe dans le prolongement des travaux actuellement menés dans notre centre de recherche [BOU et al. 99].

¹ Le modèle hiérarchique du risque incendie de proximité est construit en différenciant implicitement les aspects occurrence du risque (points de contrôles relatifs à la probabilité de naissance des incendies) et gravité du risque (points de contrôles relatifs à la propagation des incendies, voir § IV.3.2.3).

Enfin, s'agissant de l'indicateur de risque global uniquement, il serait intéressant d'étudier les apports de son intégration au corpus d'indicateurs des tableaux de bord de suivi d'une activité (projet, programme ou politique). L'adjonction d'un indicateur unique fournit une visualisation synthétique de la situation considérée. En donnant une mesure des écarts et dérives, l'indicateur de risque global apporterait une aide aux décideurs dans le suivi des évolutions et dans le contrôle du procédé ou processus dont ils ont la charge.

Bibliographie

- [ABR 96] M. ABRAMOVICI, "La prise en compte des facteurs organisationnels dans les méthodes d'analyse des risques", note de recherche n°96-07, Groupe de Recherche sur le Risque, l'Information et la Décision, Ecole Normale Supérieure, 1996.
- [AFNOR 77] Norme AFNOR, "Statistique et Qualité , introduction à la fiabilité", X NF, 06-501, Novembre 1977.
- [AFNOR 92] PME-PMI : la démarche qualité, Centres Techniques Industriels, 2^e édition, AFNOR, 327 pages.
- [ANS 89] I. ANSOFF, Stratégie du développement de l'entreprise, Les éditions d'organisation, 1989, 282 pages.
- [AUS et al. 96] N. AUSSENAC-GILLES, P. LAUBLET, C. REYNAUD, Acquisition et ingénierie des connaissances tendances actuelles, Editions CEPADUES, 1996.
- [BAK et al. 98] A. BAKER, D. PONNIAH, S. SMITH, "Techniques for the analysis of risks in major projects", Journal of Operational Research Society, pp. 567-572, vol. 46, n°6, 1998.
- [BAN 96] C. A. BANA E COSTA, "Les problématiques de l'aide à la décision : vers un enrichissement de la trilogie choix-tri-rangement", Recherche opérationnelle, vol. 30, n°2, pp. 191-216, 1996.
- [BEN et al. 94] A. BENARD, A. FONTAN, La gestion des risques dans l'entreprise, Editions Eyrolles, 1994, 153 pages.
- [BER 82] B. BERLINER, Limits of insurability of risks, Prentice Hall, Englewood cliffs, 1982.
- [BES 98] M.P. BES, "La capitalisation active des connaissances : principes, contexte et obstacles", Réalités Industrielles, pp. 38-51, décembre, 1998.
- [BHA 97] Sécurité incendie bâtiments d'habitation anciens – Diagnostic simplifié, Ministère de l'équipement, du logement, des transports et du tourisme, Direction de l'habitat et de la construction, 1997.
- [BLA 92] G. BLAISON, Extension de la sûreté de fonctionnement à la maîtrise des risques d'entreprise, thèse de doctorat, université de Nancy I, 15 septembre 1992.
- [BO 97] Circulaire interministérielle relative au contrats locaux de sécurité, Bulletin Officiel, Ministère de l'Emploi et de la Solidarité, n°97/44, pp. 189-197, 28 octobre 1997.

Bibliographie

- [BOH 98] A. BOHOLM, "Comparative studies of risk perception : a review of twenty years of research", *Journal of Risk Research*, 1, pp. 135-164, 1998.
- [BOR 99] G. BORIES, "Le risque Alimentaire", *La Lettre des Cindyniques*, n° 28, Octobre 1999.
- [BOU 84] D. BOUYSSOU, *Approches descriptives et constructives d'aide à la décision – fondements et comparaison*, Thèse de doctorat, Université de Paris-Dauphine, 1984
- [BOU 90] D. BOUYSSOU, *Méthodes d'aide multicritère – fondements et mise en œuvre*, Thèse de doctorat, Université de Paris-Dauphine, 1990.
- [BOU et al. 99] S. BOUGARET, D. GOURC, "Le management des risques appliqué au management de projets et de portefeuille de projets", *Congrès Francophone du Management de Projet*, Paris, 26-27 octobre 1999.
- [BRE 99] J. BRENOT, "Sur la perception des risques en Europe" in *Risque & Société*, pp. 123-132, Editions Nucléon, 1999.
- [BRE1 et al. 94] J. BRENOT, PH. HUBERT, M.H. EL JAMMAL, *Critères d'acceptation du risque*, Institut de Protection et de Sûreté Nucléaire, note SEGR/LSEES-94/N°24, 1994.
- [BRE2 et al. 94] J. BRENOT, PH. HUBERT, *Maîtrise des Risques : au sujet de deux modes d'approche déterministe et probabiliste*, Institut de Protection et de Sûreté Nucléaire, note SEGR/LSEES-94/N°5, 1994.
- [BSP 96] *Activité opérationnelle*, Brigade des sapeurs-pompiers de la ville de Paris, 1996.
- [BUR et al. 93] W.J. BURNS, P. SLOVIC, R.E. KASPERSON, J.X. KASPERSON, O. RENN, S. EMANI, "Incorporating structural models into research on the social amplification of risk: implications for theory construction and decision making", *Risk Analysis* 13, pp. 611-623, 1993.
- [CAR et al. 99] C. CARRETTA, G. RAGAIN, "Maîtrise des risques dans le programme Ariane 5 Plus", *Congrès Francophone du Management de Projet*, Paris, 26-27 octobre 1999.
- [CHA 82] J. CHARBONNIER, *Pratique du Risk Management*, Edition L'Argus, 1982, 191 pages.
- [CIPR 66] *Recommandations de la Commission Internationale de Protection Radiologique*. Publication 9, Pergamon Press, Oxford, 1966.
- [COC et al. 99] F. COCHOY, G. de TERSSAC, "Les enjeux organisationnels de la qualité : une mise en perspective", *Sciences de la société*, n°46, pp. 3-18, février 1999.
- [COL 93] B. COLASSE, *Gestion financière de l'entreprise*, Paris, Presses Universitaires de France, 1993.
- [COL 97] Y. COLIN, "Avant et après la crise : un apprentissage nécessaire à la sécurité civile", colloque "urgences, gestion de crise et décision", Université Paul Sabatier, 15-16 mai 1997.
- [COL 99] L. COLOMBO, "Total quality management : integrated management of quality, the environment, safety and social accountability", XV A.T.I.V. conference "Glass Industry towards 2000", n° 102, pp. 205-207, Parme, 15-17 septembre 1999.
- [COU 98] H. COURTOT, *La gestion des risques dans les projets*, Editions Economica, 1998, 294 pages.

- [CPEM 00] Commission permanente d'enquêtes sur les événements de mer (CPEM), "Naufrage du pétrolier ERIKA contribution provisoire au rapport d'enquête technique", janvier 2000.
- [CRA 95] L. CRAUET, Intégration de la sûreté de fonctionnement en conception application aux systèmes des traitements des fluides, thèse de doctorat, spécialité génie industriel, ENSAM, Laboratoire de conception de produits nouveaux, Paris, 1995.
- [DAN 97] YM. DANAN, S. DECELLE, JP. MOREL, Procerisq: procédures et réglementations applicables aux risques technologiques et naturels majeurs, Ministère de l'aménagement du territoire et de l'environnement, SDPRM, France, 1997, 161 p.
- [DAR et al. 95] M. DARBELET, L. IZARD, M. SCARAMUZZA, Notions fondamentales de gestion d'entreprise, Editions Foucher, Paris, 1995, 441 pages.
- [DAV et al. 97] L. DAVID, L. BARNAUD, Quels risques assurer ?, Les presses de l'Ecole des Mines de Paris, 1997, 130 pages.
- [DDRP 94] Système communautaire de management environnemental et d'audit, règlement du 29 juin 1993, expérience pilote, synthèse de la première phase, direction de la prévention de la pollution et des risques, service de l'environnement industriel, ministère de l'environnement, juin 1994.
- [DEM 96] N. DE MARCELLIS, "Conditions et limites de l'assurabilité des risques", note de recherche n°96-19, Groupe de Recherche sur le Risque, l'Information et la Décision, Ecole Normale Supérieure, 1996.
- [DOR 81] C. DORVAL, "Choix des investissements", Techniques de l'Ingénieur, l'entreprise industrielle, management de l'entreprise, vol. AG2, Août 1981.
- [DTU 82] Document Technique Unifié, Installations de gaz – Terminologie, Groupe de coordination des textes techniques, cahier 1764, n° 61.1, Centre Scientifique et Technique du Bâtiment, Avril 1982.
- [ECO 93] ECOSIP, Pilotage de Projet et Entreprises, Diversités et convergences, Editions Economica, 1993, 327 pages.
- [ENV 96] Environnement : il serait temps d'évaluer le progrès de gestion, L'environnement magazine, n° 1548, p 14, 1996.
- [EWA 99] F. EWALD, "Le risque dans la société contemporaine" in Risque & Société, pp. 42-61, Editions Nucléon, 1999.
- [FAG 83] F. FAGNAMI, "L'analyse et la gestion du risque technologique aux U.S.A., enjeux et perspectives", Culture Technique, pp. 45-57, n°11, 1983.
- [FAR 82] F.R. FARMER, Reactor Safety and siting : a proposed Risk Criteriom. Nuclear Safety, 8 (6), 1967.
- [FFSA 97] "Responsabilité civile produits : comment maîtriser les aspects économiques", Atelier 1, Les entretiens de l'assurance, Fédération française de sociétés d'assurance, 1997.
- [FFSA 99] "Quels risques, quelles protections au XXI^e siècle", Séance plénière 3, Les entretiens de l'assurance, Fédération française de sociétés d'assurance, 1999.

Bibliographic

- [FIS 70] P.C. FISHBURN, Utility theory for decision making, John Wiley and Sons, New York.
- [FOR 83] E.H. FORMAN, "The Analytic Hierarchy Process as a Decision Support System", Proceedings of the IEEE Computer Society, 1983.
- [FOR et al. 00] E.H. FORMAN, M. A. SELLY, Decision by Objectives: How to Convince Others that You are Right, Pre-publication book, document disponible à l'adresse : www.technology.sbpn.gwu.edu/forman.
- [FRA et al. 98] L. FRANCHINI, E. CAILLAUD, P. NGUYEN, G. LACOSTE, Skills planning and scheduling: a case study in an agro-food industry, IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics (SMC'98) - San Diego, 11-14 October 1998.
- [FRI 99] F. FRISCH, Les études qualitatives, Editions d'Organisation, 1999, 180 pages.
- [FRI et al. 51] M. FRIEDRICH, V. LUTZ, Theory of Investment of The Firm, Princeton University Press 1951.
- [FUM 97] M. FUMEY, "Animation de spécifications formelles B en programmation logique avec contraintes ensemblistes", Mémoire du Diplôme d'Etudes Approfondies Informatique, Automatique et Productique, Université de Franche-Comté, 1997.
- [FUM et al. 98a] M. FUMEY. et M. ZELFANI, Méthodologie de prise en compte du risque et d'aide à la décision pour le choix des investissements et la planification des programmes de maintenance et de renouvellement des réseaux accessoires de distribution de gaz, Ecole des Mines d'Albi-Carmaux, Rapport Interne, 1998.
- [FUM et al. 98b] M. FUMEY, M. ZELFANI et B. MOURET, PIROG, Aide à l'élaboration de Plans d'Interventions pour le Renouvellement des Ouvrages Gaz, 115ème Congrès du Gaz, Paris, France, 9-10 septembre 1998.
- [FUM et al. 99] M. FUMEY, M. ZELFANI, G. LACOSTE, B. MOURET et O. MERCIER, « Système d'aide à la décision pour le choix des investissements et la hiérarchisation du renouvellement des installations de gaz à usage collectif », 3ème Congrès International de génie industriel, Montréal, Québec, Mai 1999.
- [FUM1 et al. 01] M. FUMEY, H. PINGAUD, G. LACOSTE "Prise en compte du risque global pour le choix des investissements et la qualité", 4ème Congrès International Pluridisciplinaire Qualité et Sécurité de Fonctionnement, Annecy, France, 22-23 mars 2001.
- [FUM1 et al. 01] M. FUMEY, H. PINGAUD, M. ZELFANI, G. LACOSTE, "Agrégation des risques à l'aide de la procédure d'analyse hiérarchique", 4ème Congrès International de Génie Industriel, Aix-Marseille, France, 12-15 juin 2001.
- [GAR 94] H. GARIN, AMDEC/AMDE/AEEL L'essentiel de la Méthode, AFNOR, 1994.
- [GAR et al. 99] L. GARDES, B. DEBRAY, H. LONDICHE, "Méthodologie d'analyse des risques dans les PME/PMI", Qualita 99, 3ème congrès international pluridisciplinaire qualité et sécurité de fonctionnement, pp. 165-176, 25-26 mars 1999.
- [GEI et al. 98] B. GEIBEN, J.J. NASSET, Sécurité – Sécurité : La gestion intégrée des risques dans les organisations, Editions d'Organisation, 1998, 150 pages.
- [GIA 91] V. GIARD, Gestion de Projet, Editions Economica, 1991, 171 pages.

- [GOD et al. 85] P. GODEFROY, A. LEVRET, "Nature et définition de l'aléa sismique". Génie Parasismique, V. Davidivici, Presse de l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, pp. 159-177, 1985.
- [GOM 96] P.Y. GOMEZ, Le gouvernement de l'entreprise. Modèles économiques de l'entreprise et pratiques de gestion, Editions InterEditions, Paris, 1996.
- [GOU 99] D. GOURC, "Le management des risques en contexte projet : Quelles problématiques", Ecole d'Eté – Gestion Scientifique du Risque, Albi, France, 6-10 septembre 1999.
- [GRZ et al. 98] O. GRZEGRZULKA, A. ASCHIERI, Propositions pour un renforcement de la sécurité sanitaire environnementale, rapport à Monsieur le Premier Ministre, 16 novembre 1998
- [GUR et al. 95] E. GURRIE, J. DIEDERICH, A. TICKLE, A. ANDERSON, "KARDS : hybrid knowledge acquisition for a security risk model", industriel and engineering applications of artificial intelligence and expert system, 8th international conference, Melbourne, Juin 1995.
- [HAL 78] M. HALLER, "New dimension of Risk : consequences for management", cahiers de Genève, n°7, 1978.
- [HEN et al. 81] J. HENLEY, H. KUMAMOTO, Reliability engineering and risk assessment, Prentice Hall, Inc., Englewood Cliffs, N.J., 1981.
- [HUS et al. 97] A.B. HUSEBY, E. KALLHOVDE, "Advantages of Influence Diagrams for Risk Modelling", The International Journal of Project & Business Risk Management, vol. 1, Issue 2, pp. 169-182, 1997.
- [ILO 98] ILO Encyclopaedia of Occupational Health and Safety, Fourth Edition, 1998.
- [INS 94] installations de gaz ou d'hydrocarbures liquéfiés dans les bâtiments d'habitation, guide pratique, Editions Contrôle et Prévention, 7^e édition, 1 octobre 1994, 269 pages.
- [INS 96] INSTN, CEA Grenoble, L'analyse de risques, méthode MOSAR, fascicule à usage interne EDF, Editions Prévention Active n° HE-54/96/35 A, 1996.
- [JAC 74] A. JACQUARD, Les probabilités, Presses Universitaires de France, 1974, 125 pages.
- [JO 60] Arrêté relatif à la protection des bâtiments contre l'incendie, Sécurité et sauvegarde des personnes en cas d'incendie, modifié par l'arrêté du 18 mai 1965, Journal Officiel, 23 mai 1960.
- [JO 70] Arrêté du 10 septembre 1970, relatif à la protection des bâtiment d'habitation contre l'incendie, Ministère du l'équipement et du logement, Journal Officiel, pp. 9054-9057, 29 septembre 1970.
- [JO 86] Arrêté relatif à la protection des bâtiments d'habitation contre l'incendie, Journal Officiel, 31 janvier 1986.
- [JONC 82] Circulaire relative à la sécurité des personnes en cas de travaux de réhabilitation ou d'amélioration des bâtiments d'habitation existants, Ministères de l'Intérieur et du Logement, Journal Officiel, Numéro Complémentaire, 13 décembre 1982.

Bibliographie

- [JO 96] Décret relatif aux emplois de ville pour les jeunes résidant dans les grands ensembles et quartiers d'habitat dégradé, Journal Officiel, pp. 7940-7956, 29 mai 1996.
- [JO 99] Circulaire interministérielle relative à la mise en œuvre des contrats locaux de sécurité, Journal Officiel, pp. 8719-8722, 15 juin 1999.
- [KAH et al. 99] D. KAHNEMAN, A. TVERSKY, "La peur et le goût du risque", Pour la Science, pp. 74-80, hors série, juillet, 1999.
- [KAS 88] R. KASPERSON, "The social amplification of risk : a conceptual framework", Risk Analysis, 8, n°2, pp. 177-187, 1988.
- [KEE 92] R.L. KEENEY, "On the foundations of prescriptive decision analysis", in W. Utility Theories: measurements and applications, pp. 57-72, Edwards (ed.), 1992.
- [KER et al. 91] G.Y. KERVERN, P. RUBISE, L'archipel du danger, Editions Economica, 1991, 444 pages.
- [KER1 99] G.Y. KERVERN, "Le point sur les cindyniques au 1 septembre 1999", Ecole d'Eté – Gestion Scientifique du Risque, Albi, France, 6-10 septembre 1999.
- [KER2 99] G.Y. KERVERN, "Cindynamique : les pistes d'une formalisation", Ecole d'Eté – Gestion Scientifique du Risque, Albi, France, 6-10 septembre 1999.
- [KUC 97] D. KUCHTA, "L'approche floue comme remède partiel à quelques défauts des méthodes traditionnelles de choix d'investissement", Deuxième Congrès International Franco-Québécois de Génie Industriel, Ecole des Mines d'Albi, Albi, 1997.
- [LAG 94] P. LAGADEC, La gestion des crises : outils de réflexion à l'usage des décideurs, Ediscience International, 1994, 326 pages.
- [LAL 99] A. LALO, "La directive « SEVESO » à l'épreuve des faits" in Risque & Société, pp. 233-255, Editions Nucléon, 1999.
- [LAM 91] Y. LAMBERT-FAIVRE, Risques et assurances des entreprises, Précis Daloz, 1991.
- [LAU 76] W.W. LAURENCE, Of acceptable risk, William Kaufmann, 1976.
- [LAY et al. 94] R. LAYARD, S. GLAISTER, Cost-benefit analysis, Cambridge university press, 1994, 497pages.
- [LE M 77] J.L. LE MOIGNE, La théorie du système général : théorie de la modélisation, Editions Presses Universitaires de France, 1977, 241 pages.
- [LEN 71] M. LENZ, Risk management manual, Insurors press, 1971.
- [LER et al. 92] A. LEROY, J.P. SIGNORET, Le risque Technologique, Presses Universitaires de France, octobre 1992, 127 pages.
- [LIG 99] LIGERON S.A., "Méthodes d'évaluation des risques projet", journées d'études et d'échanges : processus et techniques d'aide à la décision dans le management des risques, institut centralien des technologies et du management, 24-25 novembre 1999.
- [LIN et al. 86] J.L. LINVILLE, A.E COTE, "Systems Concepts for Building Firesafety" in Fire Protection Handbook, 16^{ième} édition, National Fire Protection Association, Quincy, MA, pp. 7-10 à 7-14, 1986.

- [LIP 93] L. LIPMAN, "Safety and quality work together in the '90s", *Safety and Health*, pp. 50-54, Mai 1993.
- [LOU 97] G. LOUYOT, *Prise en compte des risques dans les projets de développement de produits "Proposition d'une méthode d'analyse par les scénarios"*, thèse de doctorat, Ecole Nationale Supérieure d'Arts et Métiers, 19 décembre 1997.
- [MAL 98] M. MALEK, "Le retour d'expérience et l'aide à son utilisation" in *Introduction aux Cindyniques*, pp. 161-176, Editions ESKA, 1998, 201 pages.
- [MAR 92] C. MARMUSE, *Politique Générale, Langages Intelligence, Modèle et Choix Stratégiques*, Editions Economica, 1992.
- [MAR et al. 87] J. MARGERIN, G. AUSSET, *Choix des Investissements*, Editions d'organisation, 3^{ème} édition, juin 1987, 171 pages.
- [MAR et al. 89] C. MARMUSE, X. MONTAIGNE, *Management du risque*, Vuibert Entreprise, 1989, 204 pages.
- [MAS 68] P. MASSE, *Le choix des investissements*, Edition DUNOD, deuxième édition, 1968, 501 pages.
- [MAS 98] P. MASSIERA, "La performance sociétale : une nouvelle approche de la qualité totale", *Direction et Gestion, La revue des sciences de gestion, Economie et Société*, vol. 33, n°172-173, pp. 51-58, 1998.
- [MAZ 97] H. MAZEAS, *Comment mettre en place un système de management de l'environnement performant dans votre entreprise ?*, Colloque IGE-ESEM, Management environnemental et communication d'entreprise, Orléans, 13 mai 1997.
- [MIC 96] B. MICHEL, "Création d'un outil méthodologique d'aide à la décision d'intervention programmée sur ouvrage en fonction des facteurs de risque", thèse professionnelle, mastère en ingénierie gazière, Ecole des Mines de Paris, octobre 1996.
- [MIN 90] *Les Risques Majeurs*, documentation du Ministère de l'aménagement du territoire et de l'environnement, 1990.
- [MIS 99] *Mission administrative d'enquête technique sur l'incendie survenu le 24 mars 1999 au tunnel routier du Mont Blanc*, Ministère de l'Intérieur – Ministère de l'Equipement, des Transports et du Logement, rapport du 30 juin 1999.
- [MON 96] M. MONTEAU, "Relationships between Quality and Safety: a case study", *Quality Management and Occupational Safety and Health in Europe*, pp. 92-104, 1996.
- [MOU 93] V. MOUSSEAU, *Problèmes liés à l'évaluation de l'importance relative des critères en aide multicritère à la décision : réflexions théoriques, expérimentations et implémentations informatiques*, Thèse de doctorat, Université Paris-Dauphine, 1993.
- [MOU 94] N. MOURGUES, *Le choix des investissements de l'entreprise*, Editions Economica, 1994, 111 pages.
- [MOU 95] N. MOURGUES, *L'évaluation des investissements*, Editions Economica, 1995, 110 pages.
- [OPA 91] OPAM, *Manuel I de l'Ordonnance sur la Protection contre les Accidents Majeurs (OPAM)*, Conseil Fédéral Suisse, février 1991.

Bibliographie

- [ORE 97] Communication association Orée, "Les pratiques environnementales de 50 PMI françaises : Pourquoi et Comment?", Pollutec 97 : conférence ADEME Plan Environnement Entreprise, Retour d'expérience, Paris, 3 octobre 1997.
- [PAT 98] E. PATE-CORNELL, "Dynamic Risk Management Systems : Hybrid Architecture and Offshore Platform Illustration", Risk Analysis, vol. 18, n°4, pp. 485-496, 1998.
- [PER 00] P. PERILHON, Du risque à l'analyse des risques, à paraître, Editions Nucléon, 2000.
- [PER 96] P. PERILHON, Sécurité des installations – Méthode MADS-MOSAR, support de cours, IUT Département Hygiène, Sécurité, Environnement, Université Bordeaux I, 1996.
- [PER 97] P. PERILHON, Sécurité des installations, Méthode MADS-MOSAR, CEA INSTN, Rapport de description, 1997.
- [PER 98] M. PERSONNE, Contribution à la méthodologie d'intégration de l'environnement dans les PME-PMI : évaluation des performances environnementales, thèse de doctorat, Institut National des Sciences Appliquées de Lyon, Ecole Nationale Supérieure des Mines de Saint-Etienne, formation doctorale : sciences et techniques du déchet, 1998.
- [PER 99] P. PERILHON, "Réflexion sur les modèles de la science du danger", Ecole d'Eté – Gestion Scientifique du Risque, Albi, France, 6-10 septembre 1999.
- [POM et al. 93] J.C. POMEROL, S. BARBA-ROMERO, Choix multicritère dans l'entreprise, Editions Hermès, 1993, 391 pages.
- [POU 95] M. POUMADERE, "Enjeux de la communication publique des risques pour la santé et l'environnement", revue européenne de Psychologie appliquée, vol. 45, n°1, pp. 7-15, 1995.
- [REA 75] Reactor Safety, An assessment of accident risks in US commercial nuclear power plant, Wash-1400, NUREG 74/014, US/NRC, octobre 1975.
- [ROW 77] W.D. ROWE, An anatomy of risk, Wiley, New-York, 1977.
- [ROY 73] B. ROY, "How outranking relation temps multiple criteria decision making", in Multiple Criteria Decision Making, pp. 179-201, The University of South Carolina Press, 1973.
- [ROY 85] B. ROY, Méthodologie multicritère d'aide à la décision, Economica, Paris, 1985, 423 pages.
- [ROY 92] B. ROY, "Science de la décision ou science de l'aide à la décision", Revue internationale de systémique, vol 6, n°5, pp. 497-529, 1992.
- [ROY et al. 93] B. ROY, D. BOUYSSOU, Aide Multicritère à la Décision : Méthodes et Cas, Economica, Paris, 1993, 695 pages.
- [RUB et al. 95] P. RUBISE, Y. GAUTIER, Les risques technologiques, Cité des Sciences et de l'Industrie, Pocket, 1995, 127 pages.
- [SAA 80] T.L. SAATY, The Analytic hierarchy process, McGraw Hill, New York, 1980, 287 pages..

- [SAA 81] T.L. SAATY, *Decision making for leaders*, Learning, Belmont, 1981 (traduction française : *Décider face à la complexité*, Entreprise moderne d'édition, Paris, 1984).
- [SAL 91] R. SALAIS, "Approches économiques et historiques récentes du marché", *Genèses*, n°1, pp. 162-170, 1991.
- [SAL et al. 81] M. SALVATOR, P. GONDE, *Gestion des Assurances de l'Entreprise*, CLET, 1981.
- [SER 96] A. SERIDJI, "Les nouvelles techniques appliquées à l'évaluation et à la gestion des risques", *bulletin technique du Bureau Veritas*, n°3, Novembre 1996.
- [SIM 60] H.A. SIMON, *The New Science of Management Decision*, Harper and Brothers, New York, 1960.
- [SIM 76] H.A. SIMON, *Administrative behavior*, third edition, The Free Press, New York ; 364 pages.
- [SIM 97] H.A. SIMON, *Models of Bounded Rationality*", vol. III (Empirically grounded economic reason), The MIT Press. Cambridge, Mass., 1997, 457 pages.
- [SON 99] P. SONIGO, "Autour des notions de danger et de risques. Le point de vue de l'industriel" in *Risque & Société*, pp. 63-68, Editions Nucléon, 1999.
- [STA 69] C. STARR, *Social benefits vs. technological risk*. *Science* 165 : 1232 – 1238, 1969.
- [VER 99] Y. VEROY, "Maîtrise du risque : le retour d'expérience", *Ecole d'Eté – Gestion Scientifique du Risque*, Albi, France, 6-10 septembre 1999.
- [VIL 88] A. VILLEMEUR, *Sûreté de fonctionnement des systèmes industriels*, Collection de la Direction des Etudes et Recherches d'EDF, Editions Eyrolles, 1988, 784 pages.
- [VOL et al. 96] J.L. VOLLOT, J.F. BARDET, "Maîtriser les risques", 10^e colloque national de fiabilité & maintenabilité, Saint-Malo, France, 1-3 octobre 1996.
- [VON et al. 47] J. VON NEUMANN, O. MORGENSTERN, *Theory of games and economic behaviour*, 2nd ed., Princeton University Press, New Jersey.
- [VRO 99] C. VROUSOS, J.P. PAGES, "Science, gestion des risques et débat public. Les controverses autour de la radioactivité et de la santé", in *Risque & Société*, pp. 153-167, Editions Nucléon, 1999.
- [WEKA 99] *Gestion de projet*, Editions WEKA, 1999.
- [WHY 69] L.L. WHYTE, *Hierarchical Structures*, American Elsevier, New York, N.Y., 1969.
- [WYB 98] J.L. WYBO, *Introduction aux cindyniques*, Editions ESKA, 1998, 201 pages.

Thèse de M. Marc FUMEY

Méthode d'Evaluation des Risques Agrégés : application au choix des investissements de renouvellement d'installations

Résumé: pour répondre aux exigences et aux sensibilités sans cesse croissantes des acteurs de la vie économique et sociale, les organisations sont amenées à faire évoluer leurs outils de maîtrise des risques. Ainsi assiste-t-on au développement de systèmes de management intégré, favorisant le rapprochement des aspects qualité, sécurité, santé et protection de l'environnement. Ces développements touchent les domaines des sciences du danger et de la gestion des risques qui sont un axe de recherche important. Aujourd'hui, la gestion des risques doit être ancrée dans la politique générale de l'entreprise. De plus, la complexité croissante des entités "à risque" impose un regard multiple combinant démarche pluridisciplinaire et gestion rationnelle des différentes formes de ressources. Ce contexte montre la limite des méthodes traditionnelles d'analyse des risques qui, pour la plupart, reposent sur une prise en compte individuelle des risques. En réponse à ce problème, nous avons défini une méthodologie de modélisation et d'évaluation des risques permettant d'estimer l'importance relative de risques de natures différentes et de les agréger sous la forme d'un risque unique, de synthèse. Nous proposons une méthode d'Evaluation des Risques Agrégés, ou ERA. Cette méthode permet d'associer les points de vue technique, économique, réglementaire et social, pour une gestion intégrée des risques opérationnels et des risques stratégiques. Notre démarche s'appuie sur l'approche opérationnelle du critère unique de synthèse (procédure d'analyse hiérarchique ou AHP, de l'anglais Analytic Hierarchy Process) pour la construction d'un modèle des risques agrégés. Nous présentons la formalisation de la méthode ERA ainsi que son application industrielle dans le cadre de l'élaboration du plan d'investissement des schémas directeurs d'évolution des réseaux de distribution de gaz naturel.

Mots-clés : risque agrégé, gestion intégrée des risques, choix d'investissement, aide multicritère à la décision, budgets de renouvellement, installations de distribution.

Aggregate Risk Assessment Method: application to investment selection of installations replacement

Abstract: two of the new requirements of risk management arise from the current economic and social context: the growing requirements and sensitivity of the public and industrial partners and the complexity of the entities at risk. The present trend is therefore to develop integrated management systems that bring quality, safety, health and environmental protection together. New risk management techniques must include a multidisciplinary approach and rational resource management. These changes concern the fields of danger science and risk management, both of which are considered to be an important research orientation. However, these changes show the limits of the traditional methods of risk analysis, which manage different kinds of risk individually. In this context, we defined an integrated risk management method, in order to model and evaluate the risks which a company must face. This method, called ERA "Evaluation des Risques Agrégés", enables the relative importance of various risks to be assessed and to incorporate them in the form of a single risk. Thanks to an overall view of the system, the ERA method is in line with an integrated management of operational and strategic risks, combining technical, economic, legal and social factors. Our reasoning is based on the operational approach of the single criterion (AHP "Analytic Hierarchy Process") enabling the construction of the aggregate risk model. We present the formalisation of the ERA method and its industrial application within the framework of an investment plan for gas distribution infrastructure management.

Keywords: aggregate risk, integrated risk management, investment selection techniques, multi-criteria decision aid, replacement budgets, distribution installations.