Elaboration d'un environnement semi-virtuel de formation à la gestion stratégique de crise, basé sur la simulation multi-agents.

Florian Tena-Chollet

▶ **To cite this version:**

Florian Tena-Chollet. Elaboration d'un environnement semi-virtuel de formation à la gestion stratégique de crise, basé sur la simulation multi-agents.. Autre. Ecole Nationale Supérieure des Mines de Saint-Etienne, 2012. Français. NNT : 2012EMSE0651 . tel-00741941v2

HAL Id: tel-00741941

https://theses.hal.science/tel-00741941v2

Submitted on 23 Jul 2013

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

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

NNT : 2012 EMSE 0651

THÈSE

présentée par

Florian TENA-CHOLLET

pour obtenir le grade de
Docteur de l'École Nationale Supérieure des Mines de Saint-Étienne

Spécialité : Sciences et Génie de l'Environnement

ÉLABORATION D'UN ENVIRONNEMENT SEMI-VIRTUEL DE FORMATION À LA GESTION STRATÉGIQUE DE CRISE, BASÉ SUR LA SIMULATION MULTI-AGENTS

soutenue à Alès, le 20 avril 2012

Membres du jury

Président :	Valérie LAFOREST	Professeur, Ecole Nationale Supérieure des Mines de Saint Etienne.
Rapporteurs :	Jean-Marie FLAUS	Professeur, G-SCOP, Institut National Polytechnique de Grenoble.
	Emmanuel GARBOLINO	Docteur HDR, Centre de recherches sur les Risques et les Crises, Ecole Nationale Supérieure des Mines de Paris.
Examinateurs :	Karine WEISS	Professeur, Laboratoire de Psychologie Sociale, Université de Provence
	Jean-Marc MERCANTINI	Maître de Conférences, Laboratoire des Sciences de l'Information et des Systèmes, Ecole Polytechnique Universitaire de Marseille.
	Aurélia BONY-DANDRIEUX	Maître Assistant, Ecole Nationale Supérieure des Mines d'Alès.
	Jérôme TIXIER	Maître Assistant, Ecole Nationale Supérieure des Mines d'Alès.
Directeur de thèse :	Gilles DUSSERRE	Directeur de Recherches, Ecole Nationale Supérieure des Mines d'Alès.
Invités :	Stéphane PIEROTTI	Expert en Gestion des Risques, Thalès Alenia Space, Cannes.

Spécialités doctorales :	**Responsables :**
SCIENCES ET GENIE DES MATERIAUX	J. DRIVER Directeur de recherche – Centre SMS
MECANIQUE ET INGENIERIE	
GENIE DES PROCEDES	F. GRUY Professeur – Centre SPIN
SCIENCES DE LA TERRE	B. GUY Maître de recherche – Centre SPIN
SCIENCES ET GENIE DE L'ENVIRONNEMENT	J. BOURGOIS Professeur – Fayol
MATHEMATIQUES APPLIQUEES	E. TOUBOUL Ingénieur – Fayol
INFORMATIQUE	O. BOISSIER Professeur – Fayol
IMAGE, VISION, SIGNAL	JC. PINOLI Professeur – Centre CIS
GENIE INDUSTRIEL	P. BURLAT Professeur – Fayol
MICROELECTRONIQUE	Ph. COLLOT Professeur – Centre CMP

Enseignants-chercheurs et chercheurs autorisés à diriger des thèses de doctorat (titulaires d'un doctorat d'État ou d'une HDR)

AVRIL	Stéphane	MA	Mécanique & Ingénierie	CIS
BATTON-HUBERT	Mireille	MA	Sciences & Génie de l'Environnement	Fayol
BENABEN	Patrick	PR 1	Sciences & Génie des Matériaux	CMP
BERNACHE-ASSOLLANT	Didier	PR 0	Génie des Procédés	CIS
BIGOT	Jean-Pierre	MR	Génie des Procédés	SPIN
BILAL	Essaïd	DR	Sciences de la Terre	SPIN
BOISSIER	Olivier	PR 1	Informatique	Fayol
BORBELY	Andras	MR	Sciences et Génie des Matériaux	SMS
BOUCHER	Xavier	MA	Génie Industriel	Fayol
BOUDAREL	Marie-Reine	PR 2	Génie Industriel	DF
BOURGOIS	Jacques	PR 0	Sciences & Génie de l'Environnement	Fayol
BRODHAG	Christian	DR	Sciences & Génie de l'Environnement	Fayol
BURLAT	Patrick	PR 2	Génie industriel	Fayol
COLLOT	Philippe	PR 1	Microélectronique	CMP
COURNIL	Michel	PR 0	Génie des Procédés	SPIN
DAUZERE-PERES	Stéphane	PR 1	Génie industriel	CMP
DARRIEULAT	Michel	IGM	Sciences & Génie des Matériaux	SMS
DECHOMETS	Roland	PR 1	Sciences & Génie de l'Environnement	Fayol
DESRAYAUD	Christophe	MA	Mécanique & Ingénierie	SMS
DELAFOSSE	David	PR 1	Sciences & Génie des Matériaux	SMS
DOLGUI	Alexandre	PR 1	Génie Industriel	Fayol
DRAPIER	Sylvain	PR 2	Mécanique & Ingénierie	SMS
DRIVER	Julian	DR 0	Sciences & Génie des Matériaux	SMS
FEILLET	Dominique	PR 2	Génie Industriel	CMP
FOREST	Bernard	PR 1	Sciences & Génie des Matériaux	CIS
FORMISYN	Pascal	PR 1	Sciences & Génie de l'Environnement	Fayol
FRACZKIEWICZ	Anna	DR	Sciences & Génie des Matériaux	SMS
GARCIA	Daniel	MR	Sciences de la terre	SPIN
GIRARDOT	Jean-Jacques	MR	Informatique	Fayol
GOEURIOT	Dominique	MR	Sciences & Génie des Matériaux	SMS
GRAILLOT	Didier	DR	Sciences & Génie de l'Environnement	Fayol
GROSSEAU	Philippe	MR	Génie des Procédés	SPIN
GRUY	Frédéric	MR	Génie des Procédés	SPIN
GUY	Bernard	MR	Sciences de la Terre	SPIN
GUYONNET	René	DR	Génie des Procédés	SPIN
HERRI	Jean-Michel	PR 2	Génie des Procédés	SPIN
INAL	Karim	PR 2	Microélectronique	CMP
KLÖCKER	Helmut	DR	Sciences & Génie des Matériaux	SMS
LAFOREST	Valérie	CR	Sciences & Génie de l'Environnement	Fayol
LERICHE	Rodolphe	CR CNRS	Mécanique et Ingénierie	SMS
LI	Jean-Michel	EC (CCI MP)	Microélectronique	CMP
MALLIARAS	George Grégory	PR 1	Microélectronique	CMP
MOLIMARD	Jérôme	MA	Mécanique et Ingénierie	SMS
MONTHEILLET	Frank	DR 1 CNRS	Sciences & Génie des Matériaux	SMS
PERIER-CAMBY	Laurent	PR 2	Génie des Procédés	SPIN
PIJOLAT	Christophe	PR 1	Génie des Procédés	SPIN
PIJOLAT	Michèle	PR 1	Génie des Procédés	SPIN
PINOLI	Jean-Charles	PR 0	Image, Vision, Signal	CIS
STOLARZ	Jacques	CR	Sciences & Génie des Matériaux	SMS
SZAFNICKI	Konrad	MR	Sciences & Génie de l'Environnement	Fayol
THOMAS	Gérard	PR 0	Génie des Procédés	SPIN
TRIA	Assia		Microélectronique	CMP
VALDIVIESO	François	MA	Sciences & Génie des Matériaux	SMS
VIRICELLE	Jean-Paul	MR	Génie des procédés	SPIN
WOLSKI	Krzysztof	DR	Sciences & Génie des Matériaux	SMS
XIE	Xiaolan	PR 1	Génie industriel	CIS

Glossaire :

PR 0	Professeur classe exceptionnelle
PR 1	Professeur 1ère classe
PR 2	Professeur 2ème classe
MA(MDC)	Maître assistant
DR	Directeur de recherche
Ing.	Ingénieur
MR(DR2)	Maître de recherche
CR	Chargé de recherche
EC	Enseignant-chercheur
IGM	Ingénieur général des mines

Centres :

SMS	Sciences des Matériaux et des Structures
SPIN	Sciences des Processus Industriels et Naturels
Fayol	Institut Henri Fayol
CMP	Centre de Microélectronique de Provence
CIS	Centre Ingénierie et Santé

REMERCIEMENTS

Je tiens tout d'abord à exprimer ma profonde reconnaissance à Mme Valérie Laforest pour m'avoir fait l'honneur de présider ce jury, et à MM. Jean-Marie Flaus et Emmanuel Garbolino pour avoir accepté d'être les rapporteurs et les évaluateurs de ce travail de thèse. Je souhaiterais aussi remercier Mme Karine Weiss pour ses idées de poursuite concernant ce travail de recherche, M. Jean-Marc Mercantini pour ses conseils et son aimable gentillesse, M. Stéphane Pierotti sans le partenariat duquel cette thèse n'aurait jamais vu le jour, ainsi que pour leurs participations respectives en tant que membres du jury.

J'adresse également mes sincères remerciements à MM. Alain Dorison, André Moulin, Yannick Vimont et Miguel Lopez-Ferber, respectivement Directeur, Secrétaire Général, Directeur de la Recherche et Directeur du centre LGEI, de l'Ecole des Mines d'Alès, pour leur accord et leur accompagnement dans ce projet réalisé en parallèle de mon activité salariée.

Un grand merci à M. Gilles Dusserre dont la confiance, les sages conseils et la liberté qu'il m'a accordée dans la réalisation de ces travaux de recherche, ont été tout aussi précieux que déterminants dans leur application au sein du complexe de formation à la gestion de crise de l'Institut des Sciences des Risques de l'Ecole des Mines d'Alès.

Ma gratitude va également à M. Jérôme Tixier et Mme Aurélia Bony-Dandrieux qui m'ont fait l'honneur et l'amitié d'assurer l'encadrement de cette thèse par leurs expertises, leurs aides et leurs soutiens, ainsi que MM. Laurent Aprin et Pierre Slangen pour leurs reculs et leurs conseils avisés.

Je voudrais ensuite remercier Mme Anne Le Roux, chargée de formation et conseillère technique du CEDRE, pour m'avoir fait profiter de son expérience et de ses connaissances, ainsi que MM. Christophe MARX (Sous-Préfet d'Alès), Francis Jacques (ancien chef de bataillon à la Brigade de Sapeurs-Pompiers de Paris), Christian Pinède (de la Direction Régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement du Languedoc Roussillon), Laurent Condemine (de l'entreprise NTN-SNR), Henri François (du Comité Français du Butane et du Propane), Jean Louis Bailly et Pascal Dupuis (du Service Départemental d'Incendie et de Secours du Gard), qui ont activement contribué au calibrage du système proposé.

Mes remerciements vont en outre à MM. Renaud Baraer, Christophe Millet, Philippe Bouillet et Samy Ouali de l'Ecole des Mines d'Alès, avec lesquels de nombreux échanges ont non seulement favorisé l'émergence d'idées nouvelles, mais ont aussi ouvert de larges perspectives pour enrichir l'environnement conçu et développé dans le cadre de cette thèse. De la même façon, je ne peux pas oublier Mme Carole Girard, MM. Maurice Kufferath et Imed Messaoudi (Primal Cry – Kheotek) et MM. Thierry Cottenceau et Damien Grégoire (Virdys) pour les outils de simulation virtuelle 3D utilisés dans le cadre de ce travail de recherche.

Plus largement, je souhaiterais dire à tous les membres de l'Institut des Sciences des Risques et du Laboratoire de Génie de l'Environnement Industriel de l'Ecole des Mines d'Alès que j'ai eu beaucoup de plaisir à travailler avec eux durant ces dix dernières années, et notamment : Gilles, Jérôme, Aurélia, Pierre-Alain, Fred, Laurent, Sophie, Pierre, David, Rosario, Corinne, Dominique, Cathy et Andrée.

J'adresse aussi un clin d'œil chaleureux à tous les doctorants et stagiaires de l'ISR : Mélanie, Serge, Pierre, Benjamin, Boris, Olivier, Samy, Rose, Dimitri, Camille, Cyril, Jérémy et Ingrid. J'ai une pensée particulière pour Mélanie (soutien logistique et coach personnel), Serge (soutien technique), Pierre et Benjamin (régie communication et smart-art), Boris, Samy et Rose (responsables sons et lumières), et Olivier (cellule postproduction) en compagnie desquels la tumultueuse route de la thèse a été moins rude.

Enfin, ...

SOMMAIRE

Introduction générale **21**

Partie I : La formation comme préparation à la gestion de crise **23**

Introduction 25

Chapitre 1 : La gestion de crise et la structuration des organisations décisionnaires 27

1.1. Qu'est-ce qu'une crise ? 28

1.2. L'organisation de la réponse d'urgence 30

1.3. La composition et le rôle d'une cellule de crise stratégique 32

1.4. La décision en situation d'urgence illustrée par trois retours d'expérience 35

Synthèse 39

Chapitre 2 : La problématique de l'expérience dans la gestion stratégique de crise 41

2.1. Les difficultés de coordination en situation d'urgence 42

2.2. Les problèmes de représentation mentale d'une situation inconnue 44

2.3. Les défaillances des comportements intergroupe 45

2.4. Comment sont définis les processus de prise de décision ? 47

Synthèse 50

Chapitre 3 : La formation à la gestion de crise, état de l'art et déficits 51

3.1. Le déroulement classique d'une session de formation 52

3.2. Une typologie des formations à la gestion de crise 53

3.3. Une typologie des exercices de gestion de crise 56

3.4. Des exemples de plateformes d'exercices fonctionnels à la gestion de crise 58

Synthèse 65

Chapitre 4 : Quelle stratégie pédagogique retenir pour optimiser l'apprentissage ? 67

4.1. Savoir, savoir-faire, être et savoir-être 68

4.2. Le triangle et le tétraèdre pédagogiques 68

4.3. Le principe de compréhension et les modèles d'apprentissage classiques 69

4.4. Le continuum d'apprentissage organisationnel 73

Synthèse....76

Chapitre 5 : Quel environnement de simulation proposer pour favoriser l'apprentissage ?....77

5.1. Les environnements interactifs pour l'apprentissage humain....78

5.2. Les différents types de simulation pour la formation....79

5.3. Quels prérequis pour un simulateur à vocation pédagogique ?....81

Synthèse....84

Chapitre 6 : Comment améliorer le réalisme des simulations et l'implication des participants ?....85

6.1. Les environnements virtuels comme simulateurs pédagogiques réalistes....86

6.2. Le virtuel comme représentation commune d'une situation....87

6.3. Comparaison des concepts de réalité et de simulation virtuelles....89

6.4. Les systèmes multi-agents comme outils de simulation du monde réel....91

Synthèse....98

Conclusion....99

Partie II : Définition d'un environnement semi-virtuel de formation à la gestion de crise....103

Introduction....105

Chapitre 7 : Elaboration de la méthodologie de conception....107

7.1. Proposition d'un cadre méthodologique....108

7.2. Spécification d'une architecture système dédiée....118

7.3. Définition du cahier des charges de l'infrastructure physique....119

7.4. Identification des canaux d'immersion....121

Synthèse....123

Chapitre 8 : Modélisation d'un exercice pédagogique de gestion de crise....125

8.1. Modélisation de l'environnement global....126

8.2. Définition des objectifs pédagogiques....131

8.3. Méthode de génération d'un scénario de crise....136

8.4. Définition d'une typologie d'évènements de scénario....139

Synthèse....149

Chapitre 9 : Simulation dynamique et interactive d'un scénario de crise....151

9.1. Spécifications du système multi-agents....152
9.2. Simulation des agents d'un scénario de crise....155
9.3. Elaboration d'un modèle archétypique d'agents pour la simulation de crise....161
9.4. Caractérisation de modèles pour les comportements généraux....167

Synthèse....176

Chapitre 10 : Structuration et proposition d'un guide d'évaluation....177
10.1. Définition de la stratégie d'évaluation des compétences mobilisées....178
10.2. Méthode d'évaluation pédagogique....180
10.3. Méthode d'évaluation organisationnelle....181
10.4. Vers une opérationnalisation de la méthodologie....194

Synthèse....198

Conclusion....199

Partie III : Applications, résultats et analyses....205

Introduction....207

Chapitre 11 : Validation du cahier des charges d'une plateforme physique et logicielle....209
11.1. Définition d'une infrastructure réelle de formation à la gestion de crise....210
11.2. Déploiement in situ à l'Ecole des Mines d'Alès....214
11.3. Destination d'emploi du complexe de l'Institut des Sciences des Risques....216
11.4. Présentation des outils SimulCrise d'aide à la formation....217

Synthèse....226

Discussion autour de la plateforme de formation à la gestion de crise de l'ISR....226

Chapitre 12 : Validation de la méthodologie de génération d'un scénario fictif de crise....231
12.1. Conception d'un scénario de catastrophe maritime....232
12.2. Description systémique....237
12.3. La trame principale du scénario d'exercice retenu....244
12.4. Caractérisation des acteurs impliqués : des agents aux formateurs....250

Synthèse....257

Discussion autour de la génération d'un scénario fictif de grande ampleur....257

Chapitre 13 : Validation de la méthodologie de simulation au moyen d'un cas de référence.....259
13.1. Présentation du cas d'étude.....260
13.2. Définition des agents Asymut.....263
13.3. Simulation de l'accident.....269
13.4. Présentation et analyse des résultats.....274
Synthèse.....280
Discussion autour de la simulation d'un scénario accidentel réel.....280
Conclusion.....283
Conclusion générale et perspectives.....289
Références bibliographiques.....296
Annexe I : compléments sur l'organisation de la réponse d'urgence.....316
Annexe II : types et catégories d'Etablissements Recevant du Public.....319
Annexe III : Standard European Behaviour Classification.....320
Annexe IV : difficulté didactique et syndrome du Kobayashi Maru.....321
Annexe V : algorithme comportemental de gestion des renforts.....322
Annexe VI : algorithme comportemental d'évaluation d'un danger.....323
Annexe VII : tests de validation du matériel de simulation de l'ISR.....324
Annexe VIII : actions tactiques et opérationnelles de l'accident TMD-A9.....325
Annexe IX : rôles des participants dans l'exercice TMD sur l'A9.....337
Annexe X : rôles des formateurs dans l'exercice TMD sur l'A9.....340
Annexe XI : description UML des comportements du scénario TMD-A9.....343
Annexe XII : dispositifs réglementaires concernant la pollution marine.....345
Annexe XIII : sous-systèmes MOSAR d'un exercice de pollution marine.....347
Annexe XIV : éléments retenus parmi les REX de pollutions marines.....352
Annexe XV : éléments de réalisme météorologique et hydrodynamique.....355

Annexe XVI : simulation de la pollution marine avec le logiciel CLARA 357

Annexe XVII : agents et bases de données du scénario de pollution marine. 358

Annexe XVIII : principales interactions des agents pour la pollution marine.....373

Annexe XIX : exemples de fiches informatisées d'aide à l'animation.....374

Annexe XX : avatars des formateurs dans le scénario de pollution marine. 378

Annexe XXI : cartographies, leaflets et articles de presse simulés. 385

Annexe XXII : la méthodologie REXAO de retour d'expérience.....393

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : la coopération au service de l'information et de la communication. 33

Figure 2 : continuum de la prise de décision. 48

Figure 3 : déroulement classique d'un exercice de formation à la gestion de crise. 52

Figure 4 : le triangle pédagogique. 69

Figure 5 : le tétraèdre pédagogique. 69

Figure 6 : modélisation des processus de compréhension sur ces 30 dernières années. 70

Figure 7 : le continuum d'apprentissage humain. 74

Figure 8 : vitesse et évolution de l'apprentissage organisationnel. 75

Figure 9 : exemple de métaphore inspirée d'un cas réel. 90

Figure 10 : différences entre objets et agents. 92

Figure 11 : illustration des interactions d'un agent avec son environnement. 94

Figure 12 : stratégie globale de définition d'un environnement semi-virtuel de formation. 105

Figure 13 : détail de la méthodologie de conception d'une plateforme physique de formation. 108

Figure 14 : schématisation de la méthodologie hybride proposée dans le cadre de ce travail. 110

Figure 15 : le déroulement d'un exercice de gestion de crise. 110

Figure 16 : le modèle général de la phase de briefing. 111

Figure 17 : le modèle général de la phase d'exercice. 112

Figure 18 : le modèle général de la phase de débriefing. 113

Figure 19 : les composantes retenues pour l'environnement semi-virtuel de formation. 113

Figure 20 : premier niveau de l'arborescence hiérarchique du noyau de simulation. 114

Figure 21 : stratégie pédagogique retenue pour l'environnement semi-virtuel de formation. 115

Figure 22 : les quatre pôles entretenant des interactions au sein du système de formation. 117

Figure 23 : l'architecture retenue pour la plateforme de formation à la gestion de crise. 119

Figure 24 : étapes contribuant à la modélisation d'un exercice de gestion de crise. 126

Figure 25 : composantes et interactions d'un exercice de gestion stratégique de crise. 127

Figure 26 : décomposition du système « environnement de la situation de crise ». 128

Figure 27 : le sous-système « enjeux ». 128

Figure 28 : le sous-système « réponse opérationnelle ». 130

Figure 29 : guide de conception d'un scénario de gestion de crise. 138

Figure 30 : présentation condensée de la typologie de phénomènes. 140

Figure 31 : première hiérarchie des phénomènes retenus. 142

Figure 32 : guide de génération d'un scénario de crise. 146

Figure 33 : illustration de l'impact du nombre d'évènements dans le continuum d'apprentissage. 146

Figure 34 : exemple de boîte noire MOSAR concernant une sphère de propane. 147

Figure 35 : exemple de scénarios MOSAR sur une citerne de propane. 148

Figure 36 : étapes retenues pour la simulation dynamique d'un scénario de crise. 152

Figure 37 : modélisation du système multi-agents. 155

Figure 38 : modélisation de l'action dans un système. 156

Figure 39 : l'architecture d'agents proposée avec ses trois niveaux d'abstraction. 157

Figure 40 : représentation du cycle de Norman (1989). 160

Figure 41 : l'agent réactif vu comme une machine. 161

Figure 42 : l'agent cognitif vu comme un usager. 161

Figure 43 : modèle comportemental retenu pour les agents cognitifs. 162

Figure 44 : architecture proposée pour les agents cognitifs archétypiques. 163

Figure 45 : illustration de l'algorithme global déterminant le succès ou l'échec d'une action. 164

Figure 46 : calcul du score d'aptitude d'un agent archétypique. 165

Figure 47 : calcul de la probabilité d'occurrence d'un modificateur anthropique 166

Figure 48 : histogramme des probabilités d'occurrence du modificateur anthropique. 166

Figure 49 : formalisation d'un comportement quelconque. 167

Figure 50 : notation d'une transition conditionnelle entre états. 168

Figure 51 : la réflexivité sur un état. 168

Figure 52 : la transitivité entre états. 168

Figure 53 : la symétrie entre états. 169

Figure 54 : exemple de comportement d'un agent réactif. 169

Figure 55 : notation d'une transition entre deux états d'un comportement cognitif. 170

Figure 56 : exemple de comportement d'un agent cognitif. 170

Figure 57 : algorithme de réception d'un message prioritaire. 172

Figure 58 : algorithme de transformation d'une tâche en processus d'action. 172

Figure 59 : algorithme de sélection et de traitement d'un objectif. 173

Figure 60 : algorithme de validation d'une solution. 174

Figure 61 : approche mise au point pour le suivi et l'évaluation des participants. 178

Figure 62 : radar principal d'évaluation. 181

Figure 63 : représentation de la communication avec l'extérieur d'une cellule de crise 182

Figure 64 : exemple d'arbre de compétences. 183

Figure 65 : exemple de blason d'un individu. 184

Figure 66 : exemple d'arbre avec une branche dont les brevets sont très peu partagés. 184

Figure 67 : strates des compétences non-techniques au sein de l'arbre.....185

Figure 68 : modèle d'arbre de compétences pour la gestion de crise. 186

Figure 69 : principales feuilles de l'arbre de compétences de la gestion stratégique d'une crise. 187

Figure 70 : postulat théorique de l'arbre de compétences d'un groupe de participants. 188

Figure 71 : déséquilibres dans l'arbre de compétences d'un groupe fictif de participants. 189

Figure 72 : deux exemples de blason des situations-tâches d'un scénario. 190

Figure 73 : deux exemples de blason des perturbations d'un scénario. 191

Figure 74 : corrélation des éléments contribuant à l'activation de compétences. 191

Figure 75 : principe d'arbre construit à partir des compétences détectées au sein d'un groupe.....192

Figure 76 : une branche de l'arbre pédagogique (gauche) et celle de l'arbre organisationnel (droite). 193

Figure 77 : exemple de formes typiques montrant les forces et les faiblesses d'un groupe. 194

Figure 78 : schématisation complète de la définition d'un environnement semi-virtuel de formation. 199

Figure 78 : guide méthodologique de définition d'un ESVF à la gestion stratégique de crise.....200

Figure 79 : les axes soumis à validation. 207

Figure 80 : configuration fonctionnelle de la plateforme de formation à la gestion de crise. 210

Figure 81 : dispositif d'apprentissage collectif appliqué à la plateforme de formation de l'ISR (EMA).....211

Figure 82 : implantation au sein de l'Institut des Sciences des Risques (EMA). 211

Figure 83 : constitution d'un mur d'images dans une des deux salles d'exercice. 212

Figure 84 : synoptique du matériel prévu. 213

Figure 85 : la salle d'exercice n°1 avec le volet d'isolement fermé (au fond, à gauche). 214

Figure 86 : la salle d'exercice n°1 avec le mur d'images mis en place (au fond). 214

Figure 87 : la salle d'animation et de supervision. 215

Figure 88 : les deux baies techniques. 216

Figure 89 : interface de pilotage des flux multimédias. 216

Figure 90 : trois axes d'étude développables sur la base du système proposé. 217

Figure 91 : l'écran d'accueil et l'éditeur permettant de jalonner l'évolution globale d'un scénario. 218

Figure 92 : interface de contrôle du système multi-agents. 219

Figure 93 : suivi de connexion et main courante de la plateforme de supervision SimulCrise. 220

Figure 94 : console de configuration du système multi-agent. 220

Figure 95 : interface de sélection et de configuration du scénario d'exercice. 221

Figure 96 : plan de situation permettant de suivre l'évolution de la crise simulée. 221

Figure 97 : interfaces d'envoi de fax (à gauche) et de mails (à droite) aux participants. 222

Figure 98 : indicateurs pédagogiques de suivi pour l'équipe d'animation. 222

Figure 99 : extrait de la fiche de rôle « ASF » pour les formateurs. 224

Figure 100 : organisation de l'action de l'Etat en mer. 236

Figure 101 : schéma de l'interface entre les cellules de crise en mer et sur terre. 236

Figure 102 : le sous-système « Le navire et ses équipements ». 239

Figure 103 : exemples d'interactions entre plusieurs sous-systèmes d'une catastrophe maritime. 240

Figure 104 : le sous-système « Les opérations en mer ». 241

Figure 105 : localisation des pollutions maritimes à proximité des côtes françaises (1960 – 2007). 242

Figure 106 : exemple d'états de trois sous-systèmes liés à une catastrophe maritime simulée. 247

Figure 107 : le synoptique de base du scénario de pollution marine retenu. 249

Figure 108 : les agents chimiquier et pétrolier impliqués dans la pollution marine. 251

Figure 109 : les agents avion de la douane et déchets. 252

Figure 110 : l'agent incendie. 252

Figure 111 : avatar et extrait de la fiche Météo France dans le scénario de pollution marine.....254

Figure 112 : exemples d'articles internet fictifs dépendant des décisions des participants. 255

Figure 113 : fiche d'un formateur jouant le rôle de conseil Météo France. 256

Figure 114 : machine à états finis de tout agent « Incendie ». 266

Figure 115 : machine à états finis des agents « CCGC » pour le scénario TMD-A9. 269

Figure 116 : première bibliothèque d'agents Asymut. 270

Figure 117 : méthode d'étalonnage retenu pour Asymut. 273

Figure 118 : extrait du journal d'évènements Asymut sur une simulation TMD-A9. 274

Figure 119 : moyenne des évènements simulés et écarts maximum avec l'accident de référence. 276

Figure 120 : variante de simulation avec deux fois moins de moyens de lutte contre l'incendie. 277

Figure 121 : zones de divergence du scénario TMD-A9 simulé. 278

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : organisation du commandement en fonction de l'ampleur de la crise. 31

Tableau 2 : périmètres des niveaux stratégique, tactique et opérationnel en gestion de crise. 32

Tableau 3 : compétences non-techniques requises au sein de la cellule de crise. 43

Tableau 4 : facteurs psychosociaux déterminants dans la hiérarchie d'un groupe. 46

Tableau 5 : points importants et difficultés liés aux formations à la gestion de crise. 62

Tableau 6 : typologie des dispositions pour l'apprentissage et le travail collectifs. 121

Tableau 7 : hiérarchisation des objectifs pédagogiques et des compétences mobilisées. 134

Tableau 8 : classement des types de perturbations en fonction des objectifs pédagogiques retenus. 144

Tableau 9 : gradation de la difficulté du scénario en fonction du profil des participants. 145

Tableau 10 : probabilités d'occurrence d'un modificateur anthropique (en pourcentage). 167

Tableau 11 : répartition des modes d'acquisition pour le suivi des compétences mobilisées. 196

Tableau 12 : une typologie des pollutions marines en fonction de leur ampleur. 233

Tableau 13 : une répartition des causes d'accident en fonction du type de transporteur maritime. 242

Tableau 14 : les principaux produits chimiques déversés accidentellement dans le monde. 243

Tableau 15 : exemple d'évènements suggérés pour le scénario de pollution marine. 246

Tableau 16 : aptitudes des agents archétypiques du scénario TMD-A9. 268

Tableau 17 : synopsis Asymut du scénario TMD-A9. 272

Tableau 18 : synthèse des résultats issus des simulations TMD-A9. 275

GLOSSAIRE

2D : deux dimensions.

3D : trois dimensions.

ACL : Agent Communication Language.

BDI : Belief Desire Intention.

BLEVE : Boiling Liquid Expanding Vapour Explosion.

BSPP : Brigade de Sapeurs-Pompiers de Paris.

CBR : Case-Based Reasoning.

CCGC : Camion-Citerne Grande Capacité.

CMD : Catastrophe à Moyens Dépassés.

COD : Centre Opérationnel Départemental.

CORBA : Common Object Request Broker Architecture.

CSEM : Centre de Simulation et d'Expertise Maritime.

CTT : Critical Thinking Training.

DDSC : Direction de la Défense de la Sécurité Civile.

DGPN : Direction Générale de la Police Nationale.

DOS : Directeur des Opérations de Secours.

EAO : Enseignement Assisté par Ordinateur.

EBAT : Event-Based Approach to Training.

ECASC : ECole d'Application de Sécurité Civile.

EIAH : Environnements Interactifs pour l'Apprentissage Humain.

ESVF : Environnement Semi-Virtuel de Formation.

ERP : Etablissement Recevant du Public.

FEMA : Agence Fédérale Américaine de Gestion des Urgences.

FIPA : Foundation for Intelligent Physical Agents.

FPT : Fourgon Pompe Tonne.

GVU : Graphics, Visualization & Usability.

HOS : Human-Organization Simulator.

HRO : High Reliability Organizations (Haute Fiabilité des Organisations).

ICPE : Installation Classée pour la Protection de l'Environnement.

IHM : Interface Homme-Machine.

INHESJ : Institut National des Hautes Etudes de la Sécurité et de le Justice.

IRIT : Institut de Recherche en Informatique de Toulouse.

KQML : Knowledge Query and Manipulation Language.

LCD : Liquid Crystal Display.

MASTERD : Multi Agent Simulation sysTem of Emergency Response in Disasters.

MOSAR : Méthode Organisée et Systémique d'Analyse de Risques.

MRT : Méthode de Raisonnement Tactique.

NDM : Naturalistic Decision Making.

NIST : National Institute of Standards and Technology.

OCR : Officier de Communication Régionale.

OMI : Organisation Maritime Internationale.

ORSEC : Organisation de la Réponse de SÉcurité Civile.

PC (PCC, PCO) : Poste de Commandement (Communal, Opérationnel).

PCS : Plan Communal de Sauvegarde.

PPI : Plan Particulier d'Intervention.

REXAO : Retour d'EXpérience et Apprentissage Organisationnel.

SDIS : Service Départemental d'Incendie et de Secours.

SIG : Système d'Information Géographique.

SMA : Système Multi-Agents.

SOA : Service Oriented Architecture.

SOR : Stimulus-Organisation-Réaction.

STM : State Transition Method.

SVE : Simple Virtual Environment.

TBI : Tableau Blanc Interactif.

TIC : Technologies de l'Information et de la Communication.

UVCE : Unconfined Vapour Cloud Explosion.

XML : eXtensible Markup Language.

INTRODUCTION GENERALE

Les catastrophes que le monde a connu ces trente dernières années, de Bhopal (1984), à Katrina (2005), en passant par Fukushima (2011), démontrent combien nos sociétés sont de plus en plus confrontées à des crises majeures qui désorganisent et déstabilisent leur fonctionnement. Les perturbations induites peuvent être d'ordre environnemental comme économique, social comme politique, sanitaire ou militaire, et d'échelle locale comme mondiale. D'occurrence bien souvent faible, elles projettent toutes le décideur, qu'il soit chef d'entreprise ou représentant de l'Etat, sur une durée plus ou moins longue dans l'urgence de la décision, avec l'obligation de minimiser les conséquences possibles sur les enjeux humains, matériels et environnementaux. L'importance d'être préparé à la survenue de tels évènements justifie la préoccupation que représentent la gestion de crise et la nécessité de disposer d'outils spécialement conçus pour l'aide à la décision.

Parallèlement, les psychologues qui étudient depuis le milieu des années 80 la façon dont les experts prennent les décisions dans des domaines tels que les opérations militaires, les appontages, les salles de contrôle de procédés, ou encore les cellules de crise, commencent à mettre en lumière un certain nombre de limites des modèles normatifs traditionnels du jugement et de la prise de décision. Pour Christophe Roux-Dufort[1], la principale vulnérabilité d'une équipe ayant à gérer une situation d'urgence réside ainsi dans *« l'accumulation de fragilités, plus l'ignorance »*. La démarche est alors multiple afin d'améliorer les processus de gestion d'une crise, et elle nécessite de comprendre, promouvoir et former à la prise de décision dans un contexte baigné par l'incertitude de l'information, les contraintes temporelles, et les difficultés d'appréhender un nombre conséquent de paramètres transversaux.

Les travaux de recherche réalisés dans le cadre de cette thèse ont débutés grâce à un programme de recherche initié par Thalès Alenia Space, dans le but de concevoir et implémenter un outil de formation à la gestion des crises grâce à une méthodologie de génération de scénarios d'accidents majeurs. Les résultats prometteurs obtenus ont alors ouvert la voie à des perspectives élargies en matière de recherche et développement.

Les axes méthodologiques présentés dans ce document ont pour objectif de contribuer à l'aide à la décision en gestion de crise par la définition et le développement de méthodes et d'outils de formation. Pour y parvenir, une étude du management organisationnel en situation de crise et un état de l'art des environnements de formation actuels va conduire à la conception d'une plateforme dédiée. Son socle va permettre la réalisation de scénarios d'exercice réalistes en intégrant l'émergence d'évènements non planifiés, qui dépendent de la physique des phénomènes mis en jeu, des facteurs humains, et des schémas d'intervention opérationnelle. L'enjeu du travail est ainsi de définir les spécifications de la conception d'un environnement de formation qui permette l'apprentissage et l'entraînement en situation stratégique. Il va alors s'agir de définir le cadre pédagogique relatif à cette thématique de formation puis de simuler l'environnement des acteurs de la gestion de crise afin de garantir une immersion des participants. Dans cette

[1] Christophe Roux-Dufort, *Gérer et décider en situation de crise*, Dunod, 2003.

optique, une architecture système dynamique et modulable et une ingénierie pédagogique souple sont envisagées puis validées au moyen de cas tests.

La finalité de ce travail s'inscrit notamment dans la construction en 2011 d'une nouvelle structure de recherche à l'Ecole des Mines d'Alès : l'Institut des Sciences des Risques (ISR). Cette structure a vocation d'accueillir une plateforme de formation afin de réaliser des exercices de gestion de crise simulée. L'objectif est ainsi de permettre non seulement au décideur de s'entrainer sur des scénarios inconnus, mais de favoriser aussi la capitalisation de l'expérience en étant confronté de nouveau à un évènement de référence.

Pour ce faire, la première partie de ce mémoire a pour but d'améliorer la compréhension des impacts entre formation et gestion de crise. Après une définition des problématiques de recherche, les concepts psychosociaux de représentation individuelle d'une situation nouvelle et de comportements intergroupe vont être exposés au travers d'un état de l'art bibliographique. Puis, en s'appuyant sur les différents types de processus de prise de décision, les défaillances classiques présentes au sein d'une cellule de crise vont être mises en lumière. L'étude de la typologie des exercices de gestion de crise et l'analyse de plateformes de formation existantes vont permettre d'identifier à la fois les limites et les difficultés habituellement rencontrées mais aussi les solutions envisageables grâce à l'informatique décisionnelle et les outils d'apprentissage collectif.

La seconde partie s'attache à définir un environnement semi-virtuel de formation à la gestion stratégique de crise. L'élaboration d'une méthodologie de conception va tout d'abord servir de point de départ afin de proposer un cadre méthodologique permettant d'apporter une solution aux axes d'amélioration identifiés. Il s'agit en particulier de définir une implantation physique, une ingénierie système et une ingénierie pédagogique dédiées, tout comme d'identifier des canaux d'immersion des participants. Une étape de modélisation d'un exercice de gestion de crise va être l'occasion de structurer une méthodologie visant à définir les objectifs pédagogiques retenus, et ainsi de proposer une méthode appliquée de génération semi-automatique d'un scénario didactique. Une attention particulière va être portée sur l'élaboration d'une typologie d'évènements et d'éléments logiciels permettant la simulation multi-agents de crises virtualisées dont l'évolution n'est pas préprogrammée. Enfin, une méthodologie d'évaluation des participants va être proposée dans le but d'enrichir la phase classique de débriefing d'un exercice.

Pour finir, la troisième partie est consacrée à l'application des méthodologies proposées. La généricité de la démarche globale va ainsi faire l'objet d'une phase de validation du cahier des charges proposé pour constituer une plateforme physique et logicielle de formation à la gestion stratégique de crise. La suite logicielle SimulCrise spécifiquement développée va notamment être présentée. Deux stratégies complémentaires de validation sont ensuite proposées. La première porte sur la validation de la méthodologie sur un scénario catastrophique fictif. La seconde s'attache quant à elle à réaliser une série de tests au moyen d'un évènement réel.

Pour conclure, l'intérêt et l'apport de ce travail de recherche ainsi que les limites identifiées et les perspectives envisageables vont être discutés et des pistes d'évolution futures vont être proposées.

PARTIE I : LA FORMATION COMME PREPARATION A LA GESTION DE CRISE

Introduction

La présente partie a pour objectif d'appréhender un domaine situé à la confluence de deux problématiques. La première est liée à l'occurrence d'évènements catastrophiques dont la violence n'a d'égal que le besoin rapide d'une gestion adaptée de la part des organisations décisionnaires. La seconde découle quant à elle de l'obligation qu'ont ces mêmes organisations de mettre en place des dispositifs réglementés codifiant la réponse d'urgence et préparant les futurs gestionnaires au moyen d'exercices de formation réguliers.

Afin d'identifier les facteurs prépondérants de la gestion des ***crises majeures*** par une organisation décisionnaire, le travail va s'attacher à définir en premier lieu les éléments conceptuels classiquement impliqués. La structuration des stratégies déterminées par les ***décideurs*** va alors être confrontée aux difficultés rencontrées lors d'une gestion de crise réelle, afin de mettre en évidence les facteurs mis en jeu en termes de ***défaillances organisationnelles***.

Ensuite, la problématique de la ***prise de décision*** va plus précisément être étudiée sous l'angle des besoins de coordination, de représentation mentale partagée d'une situation, et de robustesse d'une cellule de crise. Un état de l'art en matière d'entrainement, d'exercice et d'outils de ***formation*** à la gestion de crise va alors être mis en correspondance avec les besoins précédents afin de mettre en lumière les points forts ainsi que les ***déficits pédagogiques ou technologiques*** constatés.

Dès lors, les pistes théoriques permettant d'une part d'optimiser la gestion de la connaissance et les processus de compréhension vont être étudiées. Plusieurs approches vont faire l'objet d'un état de l'art puis vont être synthétisées afin de définir un continuum d'***apprentissage organisationnel*** adapté à la problématique étudiée. Des réflexions vont d'autre part être menées afin de déterminer comment favoriser l'apprentissage collectif. Une piste particulière relevant de l'***informatique décisionnelle*** va être explorée. Une typologie des environnements dédiés à cette thématique va être parcourue pour dresser les pourtours d'une approche globale permettant d'améliorer les formations à la gestion de crise.

Il va enfin être donné à ce périmètre de recherche une orientation particulière issue de l'analyse des environnements existants. Deux techniques vont notamment être étudiées sous l'angle de la ***simulation multi-agents*** et de la ***représentation virtuelle*** des évènements qualifiant une crise, et il va être montré que ces éléments sont susceptibles de constituer des supports significatifs d'***aide à l'animation*** d'un scénario de crise.

Chapitre 1 : La gestion de crise et la structuration des organisations décisionnaires

« Immergé dans le tourbillon de la crise, l'individu – qu'il soit décideur, exécutant ou citoyen impliqué – y prend conscience de la gravité de la menace et des enjeux, de l'état de dégradation et d'urgence de la situation, c'est-à-dire du peu de temps dont il dispose pour y répondre. »

Professeur Louis Crocq, *Gérer les grandes crises*, 2009.

1.1. Qu'est-ce qu'une crise ?

1.2. L'organisation de la réponse d'urgence

1.3. La composition et le rôle d'une cellule de crise

1.4. La décision en situation d'urgence illustrée par trois retours d'expérience

Le concept de risque majeur[2] est défini comme *« la possibilité d'un évènement d'origine naturelle ou anthropique, dont les effets peuvent mettre en jeu un grand nombre de personnes, occasionner des dommages importants et dépasser les capacités de réaction de la société »*. Deux familles de risques majeurs se distinguent selon que leur origine est d'ordre naturel (inondation, séisme, éruption volcanique, mouvement de terrain, avalanche, feu de forêt, cyclone et tempête) ou technologique (nucléaire, industriel, de transport de matières dangereuses et de rupture de barrage) [Bahe, 2008].

1.1. Qu'est-ce qu'une crise ?

Il existe une terminologie très riche pour définir la gravité d'une situation : incident, accident, désastre, catastrophe et crise sont autant de dénominations dont les définitions constituent le premier moment de la gestion d'un évènement critique [Denis, 1993]. Dans les faits, la perturbation d'un environnement par un évènement déclencheur peut engendrer plusieurs classes de comportements qui peuvent impacter des entités aussi variées qu'une organisation, une structure, ou encore un territoire [Heiderich, 2010]. Ce type d'évènement peut ainsi être aisément étendu à la perturbation d'un environnement au sens large et systémique du terme laquelle peut ainsi faire naître trois types de situation de gravité croissante : l'incident ou l'évènement mineur, l'évènement accidentel ou catastrophique, et la crise [Dautun, 2007 ; Crocq *et al.*, 2009]. Le terme de crise peut être défini en détail comme étant *« une situation où de multiples organisations, aux prises avec des problèmes critiques, soumises à de fortes pressions externes et d'âpres tensions internes, se trouvent projetées brutalement et pour une longue durée sur le devant de la scène ; projetées aussi les unes contre les autres, le tout dans une société de communication de masse, avec l'assurance de faire la une des informations radiodiffusées, télévisées, écrites, sur une longue période »* [Lagadec, 1984]. La crise est ainsi une situation particulière ayant ses propres composantes caractérisées par des incertitudes, une apparition rapide, une contrainte temporelle, des pertes importantes à court terme (d'un point de vue humain, économique, etc.), un manque de contrôlabilité et un niveau élevé de stress [Flin, 1996 ; Sniezek *et al.*, 2001]. Plus précisément, trois états ont lieu lors d'une crise, lesquels demandent des stratégies de gestion différentes [Fredholm, 1999 ; Dautun, 2007] :

- Un état dynamique : il s'agit de changements rapides induisant les situations les plus stressantes (car l'urgence y est très forte) et une rapide coopération entre les acteurs est donc impérative. Cet état décrit la montée d'une phase dite aigüe de la crise suivant l'évènement déclencheur.
- Un état statique instable : lorsque l'état dynamique a déjà eu lieu, la situation est dans un état qui peut évoluer à tout moment et qui demande une attention constante. L'évolution de la phase aigüe dépend alors de la gestion qui est faite de la crise.
- Un état statique stable : quand la situation ne peut plus empirer, la principale difficulté concerne alors la récupération du contrôle. Il est question d'opérer des ajustements dans les stratégies initialement adoptées afin de préparer un retour progressif à la normale.

[2] Code de l'Environnement (article L125-2) – Ministère de l'Ecologie et du Développement Durable – 2011.

De son côté, McKinney précise qu'une crise s'inscrit dans *« un environnement très spécifique dans lequel la prise de décision est critique du fait d'un évènement imprévu, mettant des vies en danger, avec une contrainte »*. Une crise combine ainsi les quatre caractéristiques suivantes [McKinney, 1997] :

- De l'incertitude : dont les sources peuvent être multiples, allant de l'imprécision des données opérationnelles, en passant par l'influence que vont avoir les décisions sur les évènements.
- De l'urgence : il peut s'agir d'une apparition rapide, comme d'une suite précipitée d'évènements dangereux, ou encore des temps de réaction raccourcis par la force des choses.
- Des pertes importantes à court terme : dont la minimisation est le but principal de la gestion de crise.
- Un manque de contrôlabilité : le cours des évènements est subi, peut être influencé mais n'est pas totalement maîtrisé.

Face à ce type d'évènements, les premières actions à réaliser par un décisionnaire et son équipe consistent à vérifier [Weisæth *et al.*, 2002 ; Crocq *et al.*, 2009] :

- La source d'information, afin de s'assurer de la véracité et de la justesse de l'annonce.
- La reconnaissance de l'existence d'un problème, depuis la nature de l'évènement aux actions déjà engagées, en passant par les premières conséquences ou difficultés envisageables.
- Le regroupement d'informations pertinentes, incluant l'identification des personnes ou des organismes qui ont connaissance de l'évènement.
- La détermination d'une solution, sa mise en œuvre et enfin le contrôle de ses effets. Cette étape passe par l'évaluation de solutions possibles et leurs conséquences potentielles.

La dimension humaine qui participe à la gestion de telles situations a été précisée par Turner pour qui les crises sont notamment entretenues par *« un traitement inadéquat des informations par les organisations »*, lesquelles sont alors en état de défaillance de par leurs mauvaises actions ou leur inaction. Les acteurs de la gestion de crise doivent en effet mesurer l'importance de mener une réflexion amont la plus large et la plus ouverte possible afin de prendre une décision appropriée, et d'identifier l'importance de la concertation dans la prise de décision en situation d'urgence [Turner, 1978]. En outre, il apparaît important de mesurer les répercutions opérationnelles de décisions stratégiques, et d'évaluer ainsi leur adéquation avec la réalité du terrain. De la même manière, il est primordial d'intégrer le positionnement des acteurs, leurs prérogatives ainsi que leurs éventuelles stratégies d'action, et d'inscrire dans cette approche l'adoption d'un vocabulaire partagé [Dautun, 2007]. Plus précisément, il existe plusieurs difficultés classiquement rencontrées par les organisations gestionnaires :

- Le blocage à l'action [Heiderich, 2010],
- Le manque de consensus [Denis, 1993],
- Les imprévus (perturbations et dysfonctionnements) [Crocq *et al.*, 2009],
- L'inadaptation du cadre d'action et les dispositifs d'urgence pris à contrepied [Dautun, 2007],
- Les incertitudes extrêmes et le manque de ressources disponibles [Bronner, 2008],
- Le nombre important d'institutions impactées [Smith *et al.*, 2000],
- Le triple choc « déferlement – dérèglement – rupture » [Lagadec, 1991],

- La prise et l'exécution de décisions défaillantes [Pearson, 1997],
- Et les temps d'action inadaptés [Lossemore, 1998].

La prise de décision dépend ainsi des organisations, depuis leurs modes de fonctionnement, à leurs routines, en passant par leurs inerties. Ces facteurs définissent les possibilités d'action dont disposent les décideurs, et leurs impacts en tant que contraintes avec lesquelles ils doivent prendre leurs décisions [Friedberg, 2000]. Ces modèles de la prise de décisions considèrent que l'organisation, si elle ne possède pas d'objectifs précis à priori, est constituée d'individus ayant leurs propres objectifs, intérêts et ressources [Crozier, 1981]. Le comportement de l'organisation apparaît alors à travers la confrontation des stratégies individuelles et des jeux de pouvoir [Boutté, 2006]. Par là-même, trois principaux facteurs fragilisent la robustesse d'un groupe de gestionnaires [Parkin, 1996 ; Sayegh *et al.*, 2004] :

- Les moyens : dont le manque ou la défaillance peut soit conduire à une inadéquation des décisions stratégiques adoptées avec la réalité opérationnelle, soit à une non prise en compte d'informations cruciales au motif que celles-ci sont inaccessibles ou imperceptibles,
- L'organisation : caractérisée par une vulnérabilité qui lui est propre, indépendante du contexte (conflits internes, etc.) ou bien fortement impactée par le stress d'une situation turbulente et instable, et qui doit pourtant prendre des décisions rapides,
- L'expérience individuelle : dépendant d'une pluralité de paramètres à la fois cognitifs, intuitifs et émotionnels et qui va définir la capacité du groupe gestionnaire à réutiliser des modèles de décision éprouvés par le passé.

Ces trois facteurs constituent les piliers du management d'un décisionnaire ainsi que de son équipe en situation d'urgence et regroupent à ce titre les principaux éléments de vulnérabilité d'une cellule de crise. Bien que chaque étape de la réponse d'urgence soit indispensable et permette de tendre à un contrôle optimal de la situation [Brehmer, 1994], les premières actions entreprises au début de la gestion d'une crise déterminent le management qui va être mis en place ainsi que sa réussite ou non dans la maîtrise de la situation.

1.2. L'organisation de la réponse d'urgence

La planification des secours repose actuellement en France sur la loi de modernisation de la Sécurité Civile du 13 août 2004[3] et plus particulièrement sur les décrets d'application n°2005-1156 du Plan Communal de Sauvegarde (PCS)[4] et le décret n°2005-115 7 du plan ORSEC. Depuis ce dernier décret, le plan ORSEC[5] devient l'unique plan d'organisation des secours dans chaque département et dans chaque zone. La protection des personnes, des biens et de l'environnement est placée sous l'autorité du Ministère de l'Intérieur au travers de deux directions : la Direction de la Défense et de la Sécurité Civiles (DDSC) et la

[3] Code des général des collectivités territoriales, articles L. 1424-7 et L. 3551-11.
[4] Article 13 de la loi n°2004-811 du 13 août 2004 de modernisation de la sécurité civile.
[5] Pris pour application de l'article 14 de la loi n°2004-811 du 13 août 2004 de modernisation de la sécurité civile.

Direction Générale de la Police Nationale (DGPN). La gestion des risques, des accidents de la vie courante et des crises majeures, relève en particulier des prérogatives de la DDSC. Les plans ORSEC permettent l'organisation des secours sous une direction unique – le Directeur des Opérations de Secours (DOS) – et ont pour objectif de protéger les personnes, les biens et l'environnement (cf. annexe I). Le tableau 1 donne des exemples d'évènements d'ampleur croissante avec les organisations stratégiques, tactiques et opérationnelles[6] respectivement mises en œuvre [Dautun, 2007].

Tableau 1 : organisation du commandement en fonction de l'ampleur de la crise.

Évènements à gérer		**Acteurs**	**Organisation du commandement**		
Exemples	*Caractéristiques*		*Directeur des Opérations de Secours (DOS)*	*Structures sur le terrain*	*Posture du COD*
▪ accident routier simple ▪ incendie simple	▪ localisé ▪ courte durée ▪ conséquences immédiates	Services de secours (intervention courante)	Maire	PC service	Veille
▪ accident routier ▪ incendie important	▪ localisé ▪ durée : quelques heures ▪ conséquences immédiates	Services d'urgence (secours avec des moyens renforcés)	Maire	PC interservices PCC	Suivi
▪ accident routier avec de nombreuses victimes ▪ accident de transport de matières dangereuses (TMD) ▪ incendie avec des problématiques particulières (site PPI, tunnel, pollution, etc.) ▪ accident de spéléologie ▪ etc.	▪ localisé ▪ durée : quelques heures ▪ conséquences immédiates	Services d'urgence + autres acteurs concernés	Préfet	PCO PC des services PCC	Appui du PCO
▪ PPI (type AZF Toulouse) ▪ pollution (type *Prestige*, *Erika*) ▪ inondation ▪ intempérie ▪ etc.	▪ localisé, multi-sites ou touchant une partie du département ▪ durée : un à plusieurs jours ▪ conséquences évolutives	Services d'urgence + autres acteurs concernés	Préfet	Un ou plusieurs PCO selon les cas PC des services PCC	Direction
▪ tempête (type 1999) ▪ pandémie (grippe aviaire) ▪ inondation (type Seine 1910 ou Loire 1856) ▪ nucléaire ▪ etc.	▪ touchant une partie ou la totalité du département voire au-delà ▪ durée : quelques jours à quelques semaines ▪ conséquences évolutives	Mobilisation générale	Préfet	Un ou plusieurs PCO selon les cas PC des services PCC	Direction renforcée

A l'inverse du niveau stratégique dont le DOS est toujours responsable, il est intéressant de noter que les niveaux tactiques et opérationnels sont plus ou moins marqués (cf. structures sur le terrain dans le tableau précédent) selon l'ampleur de l'évènement. De même, le concours actif (appui du PCO, direction et direction renforcée) du Centre Opérationnel Départemental (COD) n'intervient qu'à partir d'une gravité notable de l'évènement. Gadomski évoque les contraintes ainsi que les facteurs spécifiques à chacun de ces trois niveaux et montre combien les sphères d'action et de prise de décision sont différentes. Le tableau suivant est une synthèse des domaines, horizons, effets, facteurs de réversibilité, procédures et caractéristiques des informations disponibles, pour chacun des trois niveaux de gestion de crise [Gadomski, 1999]. Il est possible de se rendre non seulement compte de l'implication cruciale d'une cellule de crise stratégique dans la gestion d'un évènement, mais de prendre aussi conscience de la nature complexe du contexte devant être intégré à cette problématique.

[6] Source : DDSC, Guide ORSEC départemental – Méthode Générale Tome 1, 2006.

Tableau 2 : périmètres des niveaux stratégique, tactique et opérationnel en gestion de crise.

Action / Décision	Niveau stratégique	Niveau tactique	Niveau opérationnel
Domaine	En relation avec l'environnement global	Porté sur la gestion et la réalisation des opérations terrain	Utilisation des ressources et des moyens déployés
Horizon	Long terme	Moyen terme	Court terme
Effet	Durable	Bref	Très bref
Réversibilité	Nulle	Faible	Forte
Procédure	Non programmable	Semi programmable	Programmable
Informations	Incertaines et exogènes	Presque complètes et endogènes	Complètes et endogènes

L'équipe de gestion de crise (ou cellule de crise), l'équipe de gestion d'intervention, et les unités d'intervention engagées sur le terrain forment un ensemble stratégique-tactique-opérationnel qui consiste en une organisation flexible et modulable des hommes et de leurs moyens dont le but est de diriger efficacement les opérations. Le système de gestion des incidents est ainsi conçu pour être mis en œuvre dans tous les cas d'intervention, quels que soient le type et l'ampleur de l'évènement, depuis l'alerte jusqu'à la sortie de crise [Wybo *et al.*, 1998].

1.3. La composition et le rôle d'une cellule de crise stratégique

A l'échelle des gouvernements, comme des administrations, ou encore des entreprises, la gestion des crises est anticipée et confiée à une *« cellule [...] constituée d'un nombre limité de personnels préalablement choisis pour leur compétence et leur expérience, ainsi que pour leurs qualités psychologiques et microsociologiques »* [Crocq *et al.*, 2009]. Chaque membre de la cellule est spécialement formé aux différentes tâches du pilotage et de la résolution des crises : *« inventaire situationnel, évaluation en gravité et en urgence, élaboration et choix des décisions, suivi des actions et modulation des décisions en conséquence, identification de la fin de crise et évaluation du nouvel état de post-crise »* [Lagadec, 2001]. Sa constitution n'a pas vocation à être pérenne et la cellule de crise cesse de fonctionner lorsque l'évènement et ses conséquences directes sont surmontés. Elle repose enfin sur le principe de réquisition – les personnes sollicitées pour y assister ont obligation à le faire – et sur une organisation qui définit la manière dont chaque individu réquisitionné va participer à la gestion de la crise.

1.3.1. L'organisation structurelle d'une équipe de gestion de crise stratégique

Les cellules de crise sont divisées en sous-cellules dont les tâches sont spécifiques et constituent des aides à la décision du pôle qui les a réunies (expertise, logistique, communication, etc.). Elles travaillent dans l'urgence et sont contraintes par l'obligation de communiquer souvent et pour de larges publics (média,

population, représentants de l'Etat, etc.). Selon la durée, la nature et l'importance de la crise, elles bénéficient souvent de locaux spécifiques dotés d'importants moyens de communication. La figure 1 synthétise les contraintes précédentes et schématise les interactions avec l'environnement de la cellule de crise [Wybo *et al.*, 1998].

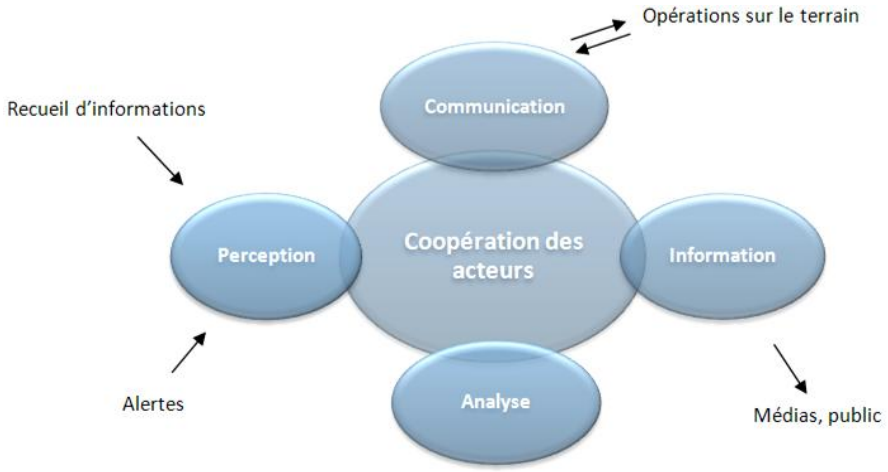


Figure 1 : la coopération au service de l'information et de la communication.

La composition de l'équipe de gestion de crise est variable selon le type et la gravité de l'évènement, mais des fonctions essentielles existent cependant dans tous les cas :

- Le suivi de situation, qui consiste à recueillir et à restituer les synthèses de situation établies par l'échelon tactique. Il s'agit d'une fonction « témoin » qui permet l'établissement de chronogrammes de la crise.
- La communication extérieure, s'appuyant sur un responsable – par exemple l'Officier de Communication Régionale (OCR) du Préfet – qui assure toute communication externe à la cellule. Ces actions sont conduites en concertation permanente si plusieurs préfectures sont impactées et sont conjointes dans la mesure du possible jusqu'au terme des opérations (échange d'officiers de liaison, communiqués et points presse communs, etc.). Des chargés de communication sont en outre désignés et immédiatement identifiés pour les organes de presse.
- La gestion des renforts, la logistique et les transports, qui a non seulement pour vocation d'anticiper les besoins en termes de moyens supplémentaires, mais qui doit aussi coordonner la mobilisation et l'acheminement des ressources et des renforts opérationnels.
- Le secrétariat de gestion de crise, qui gère le standard téléphonique de la cellule de crise, reçoit et expédie les fax, photocopie les documents essentiels à tous, et numérote et classe chronologiquement les documents reçus ou émis.

A ces fonctions de base de la cellule de crise peuvent s'ajouter si besoin un ou plusieurs comités d'experts extérieurs (Météo France, etc.) qui seront consultés afin d'évaluer et d'anticiper les conséquences possibles des évènements non-souhaités. Par ailleurs, le directeur d'intervention concerné ou son représentant peut rejoindre périodiquement la cellule de crise pour des points de situation.

La taille critique d'une cellule de crise est un élément peu détaillé dans la littérature bien qu'une fourchette allant de dix à quinze membres maximum soit évoquée [Libaert, 2001]. De la même façon, certaines organisations[7] codifient de manière individuelle un seuil minimum d'individus, notamment pour les phases de pré-alerte, durant lesquelles trois personnes peuvent suffire afin d'assurer des fonctions basiques de communication, de logistique et d'information du public.

1.3.2. Les rôles assurés au sein de la cellule stratégique

L'équipe de gestion de crise a pour mission d'élaborer au profit du Directeur des Opérations de Secours (DOS) une stratégie de gestion de crise évolutive portant à la fois sur les implications à court et long termes de l'évènement. Une attention particulière est accordée aux domaines où l'évènement peut avoir un impact dépassant le cadre des opérations. Sont notamment concernés les aspects juridiques, médiatiques, environnementaux, de santé publique, les répercussions sur les collectivités ainsi que les conséquences économiques. Le rôle de l'ensemble de la cellule de crise n'est pas de mener directement les opérations sur le terrain mais de décider des options qui vont guider l'intervention, d'apporter le soutien nécessaire à sa conduite, de conseiller et consulter le DOS sur les questions stratégiques, d'assurer l'information et la liaison avec les autorités centrales et préfectorales, et d'anticiper les répercussions à long terme. De ce fait, le DOS conserve en permanence la responsabilité générale de l'intervention et des actions qui sont à la charge de l'équipe de gestion de crise, à savoir[8] :

- De s'assurer du cadre général de l'intervention (compétences, responsabilités, partage des tâches, etc.),
- D'apporter son soutien organisationnel et logistique au(x) centre(s) opérationnel(s) compétent(s) constituant l'échelon tactique,
- D'anticiper, sous tous ses aspects, l'évolution de la crise,
- D'inscrire la gestion de l'intervention dans une stratégie plus globale,
- De préparer les options stratégiques en liaison avec le directeur d'intervention et les soumettre à la décision du DOS,
- De s'assurer que l'information susceptible d'influer sur les opérations soit communiquée à l'échelon tactique,
- De s'assurer d'être informé de façon régulière de l'évolution de la situation,
- D'établir une stratégie de communication adaptée avec les médias, les groupements d'intérêt public, les associations, les collectivités et les personnels concernés,
- D'instruire et anticiper tous les aspects juridiques et administratifs découlant de l'évènement,
- D'informer les autorités préfectorales, ministérielles ainsi que les autres services de l'Etat,
- De mobiliser les moyens nécessaires à la conduite de l'intervention au profit du directeur d'intervention,
- Et d'anticiper enfin les contentieux à venir.

[7] Guide de réalisation du Plan Communal de Sauvegarde, Préfecture de l'Hérault, Partie I, Chapitre 2, 2011.
[8] Plan ORSEC Atlantique et Plan ORSEC Méditerranée, 2009.

1.4. La décision en situation d'urgence illustrée par trois retours d'expérience

Les trois exemples qui vont suivre ont pour objectif d'illustrer la diversité des conséquences qu'un évènement catastrophique peut entraîner, ainsi que les bouleversements qu'implique l'urgence de situations critiques sur les organisations, quelles qu'elles soient. Les retours d'expérience retenus vont de l'accident majeur à la catastrophe industrielle et sont présentés sous l'angle du management adopté par les parties prenantes à des moments différents de la gestion de crise : de l'anticipation des conséquences possibles à la préparation de la réponse opérationnelle, sans oublier l'étape clef de la prise de décision.

1.4.1. L'accident de Tenerife et les quiproquos dans la gestion d'une situation critique

Le 27 mars 1977, sur l'île de Tenerife aux Canaries, a eu lieu l'un des accidents majeurs les plus meurtriers de l'histoire de l'aviation [Szpirglas, 2005]. L'aéroport de Los Rodeos est ce jour-là le théâtre d'une grave collision entre deux Boeing 747, respectivement des compagnies Pan American et KLM. L'après-midi de la catastrophe, l'atmosphère générale est tendue sur l'aérodrome car les récents attentats de Las Palmas ont entrainé une congestion du trafic aérien à Tenerife par de multiples appareils qui y ont été détournés. Les avions sont surdimensionnés (l'aéroport n'est pas prévu pour l'accueil de gros porteurs) et mis en file d'attente dans un lieu qui n'est pas familier pour les pilotes.

La conduite des actions a lieu dans un environnement générateur de stress, notamment à cause d'un épais brouillard qui s'installe progressivement sur le tarmac et empêche la tour de contrôle, comme les équipages navigant, d'avoir une vue d'ensemble de la situation. Tous les acteurs sont alors contraints *« à faire reposer la construction des représentations de leur environnement sur les échanges dialogiques qu'ils auront entre eux »* [Weick, 1990]. Pourtant, en dépit du système de radio-télécommunications utilisé par l'aviation civile qui présente l'avantage majeur de permettre aux pilotes d'entendre toutes les conversations ayant lieu avec la tour de contrôle, une série de quiproquos viennent altérer tant la quantité que la qualité des messages échangés[9].

Huit minutes avant la collision, les deux appareils impliqués vont en effet demander tour à tour l'autorisation de remonter l'unique piste de l'aéroport. Le premier, de la compagnie KLM, remonte sans encombre la piste et effectue un demi-tour pour se mettre en position de décollage. Le Boeing 747 de la Pan American remonte lui aussi la piste mais manque sans s'en rendre compte le taxiway (sortie transversale de piste) qu'il devait emprunter. La tour de contrôle, aveugle, attend toujours la confirmation du Boeing de la Pan American alors que l'équipage de la KLM formule sa clairance de départ de façon ambigüe[10]. La tour de contrôle, surprise par l'équivocité du message passé, tente alors de faire comprendre à ce dernier qu'il doit patienter, et réutilise pour ce faire le même vocabulaire que son interlocuteur[11]. Interprétant cette validation, comme une

[9] Rapport d'enquête du sous-secrétariat à l'aviation espagnol, 1978.
[10] Message de la KLM : « *Uh, the KLM ... 4805 is now ready for take-off »* (l'expression *take-off* annonce généralement un décollage immédiat), puis *« uh ... and we're waiting for our ATC clearance* » (demande classique d'autorisation de décollage).
[11] Réponse de la tour de contrôle : *« Okay, standby for take off »* (réutilisation du terme ambigu *take off*).

autorisation explicite, le pilote de la KLM, pourtant l'un des plus expérimentés de sa génération, met alors les gaz et lance son appareil à la vitesse nécessaire au décollage. Quelques secondes plus tard, il percutera à près de 300 km/h le Boeing de la Pan American toujours présent sur la piste. La violence du choc puis l'incendie des appareils entrainera un bilan humain très lourd : 583 morts et 61 blessés graves, passagers et membres d'équipage confondus.

Plusieurs auteurs soutiennent que la principale cause de cet accident relève d'un problème de représentation mentale commune de la situation [Perrow, 1984 ; Weick, 1990 ; Szpirglas, 2005]. En effet, les protagonistes ont été *« dans la situation paradoxale où chacun des groupes d'acteurs (équipages, et contrôle aérien) ne pouvait savoir directement où se trouvaient les autres et ne pouvait s'en faire une idée qu'à partir des connaissances qui étaient partagées »* : l'avion de la Pan American doit être en train d'attendre, depuis le temps l'appareil de la KLM est forcément sur son taxiway, il n'y a aucune raison que l'autorisation de décollage soit refusée, etc. Bien que le transport aérien soit une organisation qui réponde aux caractéristiques des Organisations à Haute Fiabilité (HRO), le rapport d'enquête indiquera que la raison principale de cet accident réside dans *« l'existence d'une polysémie des objets du dialogue non saillante aux yeux des acteurs »*, c'est-à-dire que chaque intervenant s'est construit, malgré la présence d'un vocabulaire unifié et consacré, et compte tenu du stress induit par le contexte, une représentation subjective et plus ou moins éloignée de la réalité.

1.4.2. L'accident de l'Erika et les difficultés rencontrées par la cellule Total-Fina

Le dimanche 12 décembre 1999, alors que les conditions météorologiques sont très mauvaises, un pétrolier battant pavillon maltais, ayant subi la veille une avarie, navigue au nord du golfe de Gascogne dans une zone située hors de portée des radars. A 06h00, le capitaine, ayant constaté des fissures sur le pont, lance un appel de détresse. Deux heures plus tard, le navire se brise en deux et rejette 10 000 des 30 900 tonnes de fioul lourd transporté. Dans les jours qui suivent, et malgré l'intervention d'un remorqueur, les parties avant et arrière de l'Erika sombrent l'une après l'autre et environ 6 000 tonnes supplémentaires sont libérées. La présence de plusieurs nappes fragmentées et les conditions météorologiques rendent difficiles les opérations de pompage. L'arrivée des premières galettes de fioul sur les côtes de Lorient s'avère inévitable et deux tempêtes concomitantes – Lothar (les 25 et 26 décembre) et Martin (les 27 et 28 décembre) – entrainent une surcharge des services de secours[12].

C'est dans ce contexte défavorable que le groupe Total-Fina connaît des difficultés internes venant complexifier sa gestion de la crise. L'offre publique d'échange entre Total-Fina et Elf Aquitaine n'étant pas encore effective, les deux entreprises fonctionnent encore avec deux sièges distincts à la Défense, et la cellule de crise est physiquement scindée en deux parties inégales : les meilleurs experts en transport et en pollution maritimes sont rattachés à Elf et ne sont par conséquent pas encore intégrés au sein de Total-Fina [Bahe, 2008]. Plusieurs groupes de travail sont ainsi constitués mais vont rapidement traduire d'un manque évident de cohésion. En effet, des opinions divergentes divisent d'un côté les services juridiques pour

[12] BARPI - base de données ARIA : retour d'expérience de l'accident de l'Erika.

lesquels la responsabilité de l'entreprise ne peut pas être engagée du fait de l'absence de fautes directes dans le naufrage de l'Erika, et les services des relations humaines et de la communication qui souhaitent éviter un lynchage médiatique et rassurer les populations.

Bahe rappelle que durant deux longues semaines le président de Total Fina a choisi de se rallier au point de vue des juristes et qu'à ce moment-là, *« par ignorance de la gravité des conséquences de la pollution, et notamment de la grande incertitude sur la dérive des nappes, personne ne se doute que la réaction des médias et de l'opinion publique va rapidement être aussi violente »* [Bahe, 2008]. Ces quinze premiers jours de silence se traduiront en effet par une culpabilité toute désignée de l'entreprise, et transformeront les tentatives d'aide et d'implication de Total-Fina en échecs successifs. Alors qu'une compagnie pétrolière s'investit pour la première fois en France dans les opérations de lutte contre la pollution, les relations intergroupes sont projetées au centre des facteurs déterminants dans la gestion de crise. Il faudra ainsi plusieurs années – jusqu'en 2004, terme des opérations de nettoyage et de traitement des déchets – pour que le groupe Total-Fina-Elf puisse redorer son blason.

1.4.3. L'accident industriel d'AZF et les difficultés du management dans l'urgence

Le 21 septembre 2001, une explosion correspondant sur le plan sismique à une magnitude de 3,4 sur l'échelle de Richter ébranle la ville de Toulouse dans un rayon de 75 km. Vers 10h00 ce jour-là, entre 20 et 120 tonnes d'un stock de déchets de nitrate d'ammonium détonent dans l'usine d'engrais AZF (AZote Fertilisants) dont il ne restera qu'un cratère d'environ 50 mètres de diamètre. De plus, un panache ocre-jaunâtre contenant des oxydes d'azote et de l'ammoniac envahit le Sud-Ouest Toulousain.

Le plan particulier d'intervention (PPI) et le plan rouge sont déclenchés, puis la protection civile mobilise une cellule d'évaluation des risques chimiques. Le bilan immédiat fait état de 30 morts (populations riveraines et employés de l'usine confondus), de 2 442 blessés au total, de 1 300 entreprises sinistrées aux alentours (21 000 salariés seront concernés en tout), et de 1 200 familles à reloger. La majorité des dégâts ont été provoqués par les effets directs du souffle de l'explosion ou par ses effets indirects (projectiles, éclats de verre, etc.)[13].

L'explosion d'AZF s'inscrit rapidement parmi les catastrophes industrielles les plus graves que la France ait connues de par ses conséquences non seulement humaines et sanitaires, mais aussi matérielles et économiques. Par ailleurs, une atteinte psychologique se fait sentir dès l'activation des cellules d'urgence par la Préfecture et la municipalité[14]. En effet, de nombreuses personnes réquisitionnées pour la gestion de la crise résident à proximité ou dans Toulouse, ont pour certaines des enfants scolarisés sur place ou des proches aux alentours, et sont alors partagées entre l'obligation de rester mobilisées pendant la crise et leur propre implication émotionnelle dans l'accident. Ce stress se traduit alors selon le rapport du ministère de la

[13] BARPI - base de données ARIA : retour d'expérience de l'accident d'AZF.
[14] Rapport du ministère de la Santé sur l'accident d'AZF à Toulouse, décembre 2002.

Santé[15] par une *« confusion totale en termes de communication, d'information et de prise en charge des victimes suite à l'explosion de l'usine »*.

Ces éléments ont abouti quelques temps après l'accident à des débats sur la gestion des risques industriels ainsi que sur les difficultés rencontrées lors du management en situation d'urgence. A l'instar de certains sociologues qui ne se focalisent pas sur l'origine de l'évènement, les analyses menées ont notamment mis en évidence les effets néfastes d'une trop forte implication personnelle des acteurs de la gestion de crise dans celui-ci, qui diminuent leur force de réaction, accroissent le stress, influencent le comportement des autres acteurs et impactent donc l'organisation décisionnaire dans son ensemble [Quarantelli, 1990 ; Dautun, 2007].

1.4.4. Que nous enseignent ces crises ?

Les retours d'expérience précédents montrent qu'indépendamment de l'origine de la crise et de la compétence des personnes impliquées, et bien que des procédures existent afin de prévenir et gérer des accidents ou des catastrophes, des éléments relevant de la perception, de la coopération, et de la communication entre les acteurs, déterminent les réactions et les décisions stratégiques qui sont prises. Ce constat tend ainsi à postuler que des perturbations interviennent dans les interactions que doivent impérativement entretenir les parties prenantes du système de gestion d'une situation d'urgence, et fragilisent dès lors l'établissement ou l'application de la réponse apportée.

Il est en outre noté que la complexité des crises découle en partie de l'implication d'un nombre important d'acteurs lors de la phase aigüe de l'évènement. Selon Dautun, ces derniers étant sous pression, des comportements particuliers peuvent émerger : attitudes irrationnelles, conflits de pouvoirs, peurs et tensions [Dautun, 2007].

[15] Circulaire DHOS/HFD n°2002/284 du 03/05/02 relative à l'organisation du système hospitalier en cas d'afflux de victimes.

Synthèse

Une crise peut être définie comme une situation susceptible d'entraîner de graves conséquences à court comme à long terme, qui demande aux organisations gestionnaires de proposer des réponses stratégiques à des problèmes critiques en conditions dégradées, et d'en rendre compte publiquement [Lagadec, 1984 ; Flin, 1996 ; Sniezek *et al.*, 2001].

La dynamique des différentes phases d'une crise nécessite en effet que les décideurs qui en ont la gestion adoptent des stratégies dans l'urgence d'une situation souvent instable, dans le stress de conséquences possiblement graves, et avec des difficultés voire une impossibilité de maîtrise de l'évènement [Fredholm, 1999].

C'est pourquoi, la structuration de la réponse d'urgence en France organise non seulement les secours en fonction du type d'évènement et de son ampleur mais codifie aussi la composition de l'équipe qui en a la gestion stratégique [Wybo *et al.*, 1998].

Néanmoins, une rapide analyse de retours d'expérience montre que les difficultés de management en situation d'urgence, les problèmes de représentation mentale commune d'un problème inconnu, ainsi que les défaillances des comportements au sein d'un groupe, constituent des éléments de vulnérabilité d'une cellule de crise.

De nombreux auteurs ont identifié que, bien avant la gestion des moyens ou l'incertitude de la situation, le facteur humain constituait une défaillance majeure du processus de gestion d'une crise d'un point de vue stratégique [Turner, 1978 ; Denis, 1993 ; Parkin, 1996 ; Pearson, 1997 ; Lossemore, 1998 ; Smith *et al.*, 2000 ; Weisæth *et al.*, 2002 ; Sayegh, 2004 ; Crocq *et al.*, 2009 ; Heiderich, 2010]. A contrario, la prise de décision, la communication, le partage de la sensibilité à la situation, le leadership ainsi que la coordination sont autant de compétences décisives dans ce processus [Salas *et al.*, 1997].

Il est alors proposé de regrouper sous la problématique unique de l'expérience les compétences relatives aux principales tâches qui incombent aux gestionnaires de la crise. Les éléments contribuant au suivi de la situation, à l'anticipation des conséquences, en passant par la construction de stratégie d'actions concertées, sans oublier la communication et plus largement à la coopération entre tous les acteurs, vont ainsi être étudiés.

Chapitre 2 : La problématique de l'expérience dans la gestion stratégique de crise

« L'histoire des crises enseigne que le maillon stratégique ne réside pas dans la détection des signaux faibles ni même dans la transmission des données, mais dans la rétroaction : le risque est identifié, l'information est transmise et reçue, et pourtant le destinataire n'agit pas. »

Thierry Libaert, *L'impossible prévision des crises*, 2009.

2.1. Les difficultés de coordination en situation d'urgence

2.2. Les problèmes de représentation mentale d'une situation inconnue

2.3. Les défaillances des comportements intergroupe

2.4. Comment sont définis les processus de prise de décision ?

La compétence est *« le système de connaissances qui permet d'engendrer l'activité répondant aux exigences des tâches d'une certaine classe »* [Leplat, 1991]. Une tâche peut par exemple être l'utilisation de moyens de télécommunication ou d'outils d'aide à la décision, la saisie d'une main courante, l'établissement d'un ordre particulier. L'interdépendance entre les compétences et l'expérience va ainsi être étudiée au travers de trois problématiques liées à la gestion stratégique de crise : les difficultés de coordination en situation d'urgence, les problèmes de représentation mentale d'une situation inconnue, et les défaillances des comportements intergroupe.

2.1. Les difficultés de coordination en situation d'urgence

Il a été montré que les réponses stratégiques, tactiques et opérationnelles mises en œuvre afin de préparer la gestion d'une crise nécessitent une coopération régulière entre plusieurs acteurs. La coordination en situation d'urgence peut en effet être identifiée comme la résolution des interdépendances entre les activités de différentes organisations impliquées dans la gestion de l'évènement [March *et al.*, 1958 ; Simon, 1978 ; Friedberg, 2000]. Les membres de la cellule de crise partagent des objectifs communs bien qu'ayant des rôles différents, lesquels dépendent du poste occupé par chacun. Les missions individuelles et les objectifs communs sont ainsi intimement liés [Smith *et al.*, 2000 ; Schaafstal *et al.*, 2001]. La cellule de crise se doit ainsi de prioriser les problèmes et les tâches qui lui incombent, et de mettre au point des orientations stratégiques souvent construites par expérience [Wybo *et al.*, 1998]. Tout le travail de réflexion nécessaire à ce management doit par ailleurs intégrer la composante temporelle de la crise. Se focaliser sur le court terme permet à la cellule de crise d'avoir directement le retour d'expérience des actions menées sur le terrain mais ne donne pas la possibilité d'acquérir une représentation globale de l'évènement. Au contraire, le travail sur le long terme engendre des problèmes dans l'évaluation de la situation et par là même dans l'organisation de la réponse apportée. Là encore, l'accès à un référentiel de comparaison permet l'adaptation de l'approche adoptée par les décisionnaires [Donovan *et al.*, 1996].

De plus, un des problèmes récurrents en gestion de crise est engendré par la nécessité d'un travail collaboratif entre des institutions qui ne sont pas seulement des services d'urgence mais aussi des représentants institutionnels, des entreprises privées ou des volontaires [Fredholm, 1999]. Il est souvent observé un manque de coordination entre toutes ces entités qui n'ont pas nécessairement pour habitude de travailler ensemble [Smith *et al.*, 2000]. Les deux principales causes de cette difficulté sont : un manque ou une absence de communication interne et externe à la cellule de crise, et des problèmes liés à des représentations individuellement différentes de la situation à gérer [Lagadec, 1995]. En effet, une partie des problèmes rencontrés lors du management en situation d'urgence peut être due à l'absence de références mnésiques et de modèle mental partagé (le terme anglo-saxon souvent employé est *Shared Mental Model*) entre les participants du système de gestion de crise [Cannon-Bowers *et al.*, 1993]. L'existence d'un référentiel commun implique une cohérence dans les représentations mentales de la catastrophe par chaque individu et présente l'avantage de mettre en avant les attentes similaires des personnes et ainsi de favoriser leur coopération [Rouse *et al.*, 1992]. Une défaillance de celui-ci peut donc engendrer une collaboration inadéquate au sein même de l'équipe.

Il est ensuite possible de constater qu'une réponse efficace et efficiente ne dépend pas seulement de la connaissance et de l'application des compétences techniques mais découle fortement de compétences dites non-techniques acquises empiriquement. Afin d'identifier ces dernières, des études ont été menées et ont eu notamment pour but de proposer une typologie des profils présents dans une cellule de crise [Crichton *et al.*, 2004], à savoir : les développeurs, les évaluateurs et les décideurs. Les développeurs sont chargés de mettre en œuvre les directives données et sont responsables de leur bonne application. Les évaluateurs ont quant à eux pour mission d'évaluer quels vont être les impacts des décisions qui vont être appliquées et ont le profil d'œil technique de l'équipe. Les décideurs doivent enfin savoir construire une stratégie viable, vérifier que tout le monde la suive, et garder une vision à long terme. Dès lors, les compétences non-techniques correspondantes ont pu être identifiées sur la base d'entretien pendant lequel les personnes ont décrit une situation vécue auparavant et ressentie comme problématique. Le tableau 3 synthétise ces éléments [Klein *et al.*, 1989 ; Militello *et al.*, 1998 ; Crichton *et al.*, 2004] :

Tableau 3 : compétences non-techniques requises au sein de la cellule de crise.

Rôle	Compétences non-techniques identifiées
Développeurs	Communication
	Anticipation
	Travail en équipe
	Gestion du stress
Evaluateurs	Communication
	Anticipation
	Travail en équipe
	Gestion du stress
	Prise de décision
Décideurs	Communication
	Anticipation
	Travail en équipe
	Gestion du stress
	Prise de décision
	Leadership

Il apparaît que les compétences listées ci-dessus dressent les pourtours d'un socle commun dont les déclinaisons sont les suivantes :

- L'anticipation : qui, avec la vision à long terme, constitue un facteur déterminant du succès des opérations. Son absence est souvent à l'origine des problèmes de management rencontrés dans ces situations. Elle est ainsi déterminante car elle consiste en la création, par avance, de représentations mentales plus objectives et qui sont plus vite mobilisées par la suite [Fredholm, 1999]. Elle doit être plus importante en ce qui concerne les rôles clefs tels que les décideurs et les experts techniques [Endsley, 2003].
- La communication : elle se doit d'être claire et efficace, c'est-à-dire précise, rapide, complète et adaptée [Lagadec, 1993]. C'est l'un des premiers principes de l'efficacité de la gestion de crise, et l'un des facteurs clefs du travail d'équipe à maîtriser afin de garantir l'efficacité d'une cellule de crise. Dans un modèle de communication parfaite, chaque individu diffuserait les données pertinentes dont il a connaissance avec tous les autres membres du groupe, et chaque personne comprendrait sans ambigüité les informations qu'elle reçoit [Persson *et al.*, 2002].

- Le travail en équipe : chaque personne doit connaître exactement son rôle ainsi que celui d'autrui. Le but est de travailler de manière efficace indépendamment du rôle de chacun. L'un des aspects qu'il est difficile de développer est notamment le partage d'une même cartographie mentale de la situation en intégrant et en optimisant les relations sociales au sein du groupe.
- La gestion du stress : qui permet d'en gérer efficacement les effets durant les phases critiques. Des études réalisées sur le stress ont montré qu'en l'absence d'exutoire physique – ce qui est le cas d'une cellule de crise dont les membres restent confinés – les effets physiques engendrés sur les individus peuvent s'avérer incapacitants [Weisæth *et al.*, 2002].
- La prise de décision : déclinée en trois niveaux, elle peut dépendre des compétences (processus automatiques), être basée sur des règles (actions décrites par des procédures) ou résulter de la connaissance (si la situation est nouvelle) [Rasmussen, 1983]. Idéalement, elle reposerait sur un choix collégial d'actions permettant de gérer de façon durable le système.
- Le leadership : le ou les décideurs doivent avoir la capacité de prendre du recul par rapport à la situation, de fixer des objectifs, de déléguer les tâches, de donner un retour de ce qui est fait et également de demander conseil à des spécialistes si nécessaire.

2.2. Les problèmes de représentation mentale d'une situation inconnue

Prendre une décision suppose d'être en possession d'un certain nombre d'informations représentatives de la situation présente afin d'en déduire les évolutions possibles. Il est donc naturel de se demander quelle est la quantité nécessaire d'informations afin de prendre une décision adaptée. Contrairement aux idées reçues, il n'est pas impératif de disposer de tous les renseignements disponibles. Fréquemment, des individus retiennent la meilleure option parmi plusieurs choix possibles en ignorant la plupart des informations relatives au problème : l'équilibre minimal est atteint lorsque la quantité de données inappropriées ou inutiles est moins importante que celle des plus opportunes [Todd, 2007]. Or, il est noté que l'efficacité de cette identification dépend de la rationalité de chacun, et est assujettie par voie de conséquence à des analyses subjectives de la situation [Todd, 2001]. Généralement, ces limites sont définies par les capacités de la mémoire et de la réflexion. L'environnement joue également un rôle non négligeable dans la hiérarchisation des informations. En effet, deux paramètres fondamentaux sont susceptibles d'intervenir [Todd, 2007] :

- L'incertitude du monde extérieur, qui oblige les esprits à construire des processus cognitifs intégrant peu de paramètres en entrée,
- La complexité du monde extérieur, qui contraint à une rapidité dans la prise de décision et qui rend donc indispensable de minimiser et de hiérarchiser la quantité d'options à traiter.

Le concept d'heuristique est à ce titre au cœur de ce modèle mental dans la mesure où l'information disponible, dans sa quantité et/ou dans sa qualité, peut être en inadéquation partielle ou totale avec la situation actuelle. Une heuristique est en effet *« une règle qu'on a intérêt à utiliser en général car on sait qu'elle conduit souvent à la solution bien qu'on n'ait aucune certitude sur sa validité »* [Carré, 1991].

Plus précisément, trois règles de recherche primaire d'informations dans la prise de décision ont été mises en avant [Todd, 2007] :

- La reconnaissance heuristique : elle se base sur le principe selon lequel, lorsqu'un choix doit être fait entre deux options, si seulement l'une des deux est reconnue par la mémoire, l'être humain va toujours choisir celle qu'il connaît [Goldstein *et al.*, 1999]. Des paradoxes peuvent apparaître lorsque les personnes suivent ce processus : celle qui connaîtra les deux options sera beaucoup moins efficace que la personne qui n'en considérera qu'une seule. De ce fait, ce modèle n'est pas adapté à toutes les situations et peut engendrer des erreurs.
- La décision heuristique un-paramètre : lorsque deux alternatives sont assez proches, un paramètre est choisi mentalement et comparé entre les deux hypothèses. Si l'expérience de l'individu permet une distinction, la réflexion s'arrête là et une décision est prise. Dans le cas contraire, un second paramètre est identifié et le même processus se répète jusqu'à ce qu'une décision apparaisse. Son nom vient du fait qu'au final, un seul paramètre contribue au choix retenu.
- La décision heuristique multi répliques : elle intervient seulement lorsqu'il y a une multitude de choix. Dans ce cas-là, un paramètre est déterminé de façon à ce qu'il élimine le plus d'hypothèses possibles. Le mécanisme est reproduit ainsi de suite jusqu'à ce qu'il ne reste plus qu'une seule option en lice.

La prise de décision en gestion de crise requiert de la rapidité et de l'efficacité alors que les évènements en question ont des occurrences variables, souvent imprévisibles. De plus, le contexte étant instable et complexe, il ne permet pas, lors d'une crise, d'avoir assez de discernement pour évaluer toutes les actions et leurs conséquences [Donovan *et al.*, 1996]. C'est pourquoi, il est nécessaire de disposer d'un référentiel de comparaison lorsqu'une situation demande des temps de réaction rapides.

2.3. Les défaillances des comportements intergroupe

Un groupe est classiquement défini comme *« un ensemble cohérent de personnes interdépendantes »* [Crocq *et al.*, 2009]. De nombreux auteurs traitent du comportement individuel et de la coopération spontanée d'individus, d'abord pour comprendre la hiérarchie des rapports de force au sein d'un groupe, puis plus récemment afin de modéliser l'organisation des comportements humains en situation de stress. Dans ce contexte, et en adoptant un point de vue relatif au traitement de l'information, certains auteurs considèrent que les principales qualités d'un individu seraient [Adkins-Regan, 1990 ; Buser, 2002] :

- L'instinct, par l'existence de réflexes et de processus innés favorisant la protection et la survie.
- L'apprentissage, qui regroupe les grandes potentialités d'apprentissages variés depuis l'enfance.
- L'intelligence, caractérisant les capacités de traitement de l'information.
- L'adaptabilité, au moyen de capacités permettant l'adaptation à des situations nouvelles.

Les principales défaillances de l'humain seraient quant à elles [Adkins-Regan, 1990 ; Mintzberg, 1998] :

- L'altérabilité, liée à une notion d''imperfection et de fragilité de la mécanique psychobiologique.

- La dysaffectivité, qui concerne la susceptibilité émotionnelle et les réactions affectives inappropriées.
- La subjectivité, induite par les distorsions du réel et les processus de traitement des stimuli.
- L'ignorance, relative à l'absence non comblée de connaissances.
- La crédulité, pour la grande propension à croire exactes ou effectives des intuitions, des perceptions affectives, ainsi que des affirmations péremptoires d'un autre membre du groupe social.
- L'asociabilité, déterminant la facilité d'acquisition de caractéristiques psychologiques et de comportements antisociaux (égoïsme, coercition, agression, exploitation, etc.), et par extension la difficulté d'apprentissage de caractéristiques favorisant la sociabilisation.

Le domaine de la psychologie sociale a en outre permis d'analyser les relations qui se créent ou se défont au sein d'un groupe composé d'individus tous étrangers les uns des autres ou bien se connaissant au préalable et ayant l'habitude de coopérer. Indépendamment des problématiques liés à ces tests, ceux-ci portent globalement sur l'observation de groupes soit confrontés à une situation nécessitant une prise de décision collective, à l'unanimité [Beauvois, 1988] ou non [Brannigan, 1996], soit non soumis à de quelconques stimuli (ni stress, ni sollicitation, ni recherche d'une solution commune) et dont les interactions sociales qui émergent spontanément sont étudiées [Abbar, 1993].

Il ressort de ces études que les facteurs psychosociaux déterminants dans l'établissement d'une hiérarchie au sein d'un groupe dépendent de contraintes physiologiques, psychobiologiques, relationnelles, émotionnelles, et cognitives [Buser, 2002]. Le tableau 4 (page suivante) formalise le continuum « corps-esprit » pour lequel il a été identifié que les facteurs psychobiologiques, relationnels et émotionnels ont généralement un impact plus fort sur l'établissement des liens sociaux et fonctionnels du fait de leur fréquente et rapide variabilité et de leurs effets immédiats sur l'attitude de chaque membre vis-à-vis des autres.

Tableau 4 : facteurs psychosociaux déterminants dans la hiérarchie d'un groupe.

Continuum :	**Corps** →				**Esprit**
Etat	physiologique	psychobiologique	relationnel	émotionnel	cognitif
Positif	santé	satisfaction des besoins	sociabilisation	plaisir	connaissance
Négatif	maladie	carence d'un ou de plusieurs besoins	agression	souffrance	ignorance

Réciproquement, il a été mis en lumière que l'amélioration globale du système social dépend des actions d'éducation, de prévention et de remédiation, car celles-ci influent directement sur les cinq états fondamentaux (état physiologique, psychobiologique, relationnel, émotionnel et cognitif) mis en jeu [Buser, 2002]. Concernant les membres d'une cellule de crise, il apparaît donc primordial de travailler en premier lieu sur ces actions d'amélioration de l'état cognitif.

La plateforme Okaygo-Letters [Bates, 1991] inspirée en partie des approches pour la modélisation psychosociale a permis quant à elle de quantifier statistiquement les comportements types d'individus placés dans un même espace virtuellement clos et ayant un choix limité d'actions au sein de ce système. Cette plateforme est constituée d'un espace web sur lequel sont présentes des lettres colorées qui peuvent être déplacées librement. Les participants peuvent s'y connecter et réaliser ces mouvements pour constituer des mots, des phrases, etc. Néanmoins, un nombre limité et non extensible de lettres est à disposition - environ 150 - ce qui contribue à créer ou donner l'impression d'une pénurie de lettres dès que plusieurs personnes tentent de participer en même temps. L'analyse qui a été faite des comportements les plus souvent adoptés montrent que les individus entreprennent : de constituer un mot (à 66% en moyenne), de créer un abécédaire (12%), de perturber un autre individu en lui prenant ses lettres (8%), de classer les lettres identiques (7%), de regrouper les lettres par similitude de couleurs (5%), de regarder sans participer (2%).Cette quantification a notamment mis en évidence qu'en l'absence de problématique à résoudre (si chacun a son propre lot de lettres inaccessibles par les autres) ou tant qu'une situation n'est pas jugée suffisamment impactante par un nombre significatif d'individus (il n'y a pénurie de lettres que si au moins cinq personnes jouent simultanément), aucun comportement commun ni structuré n'émerge du groupe : chaque individu agit localement dans une zone territorialisée sans interagir avec les autres. A contrario, dès que la plateforme n'apparaît plus à même de remplir les fonctions pour lesquelles les participants se sont connectés, des comportements coopératifs, spontanés et temporaires d'ordination naissent pour tenter de recréer un équilibre.

2.4. Comment sont définis les processus de prise de décision ?

La prise de décision en équipe est un élément clef dans la gestion de crise et les conséquences de décisions inadaptées ou tardives sont susceptibles d'être irréversibles et difficiles à rattraper en cas d'erreur. Il est ainsi important d'essayer d'évaluer cette prise de décision et de la modéliser afin de pouvoir l'améliorer. Ce processus peut être défini comme étant une compétence cognitive d'équipe qui implique *« la collecte, la transformation, l'intégration et la communication d'informations dans le but de tendre à une décision concernant des tâches pertinentes »* [Cannon-Bowers *et al.*, 1993]. De nombreuses recherches ont été menées, notamment dans le domaine militaire, afin de comprendre les processus de prise de décision en situation d'urgence. Il n'existe en réalité pas de formalisation unique et détaillée de la prise de décision, du fait de la multiplicité des facteurs hétérogènes susceptibles d'intervenir et de déterminer un choix d'actions plutôt qu'un autre.

De plus, l'adoption d'une stratégie dans un délai court fait appel à des mécanismes mentaux et cognitifs propres à chacun (expérience acquise, perception de l'environnement, niveau de stress, etc.) et ainsi difficilement généralisables [Crichton, 2002]. En revanche, ces stratégies sont identifiables et peuvent être regroupées au sein d'un continuum de stratégies relatives à la recherche d'une solution acceptable, à défaut d'être optimale [Bryant *et al.*, 2003]. La figure 2 schématise ce processus qui part du postulat qu'il existe une infinité de stratégies faisant majoritairement appel à une prise de décision créative, analytique, procédurale ou intuitive.

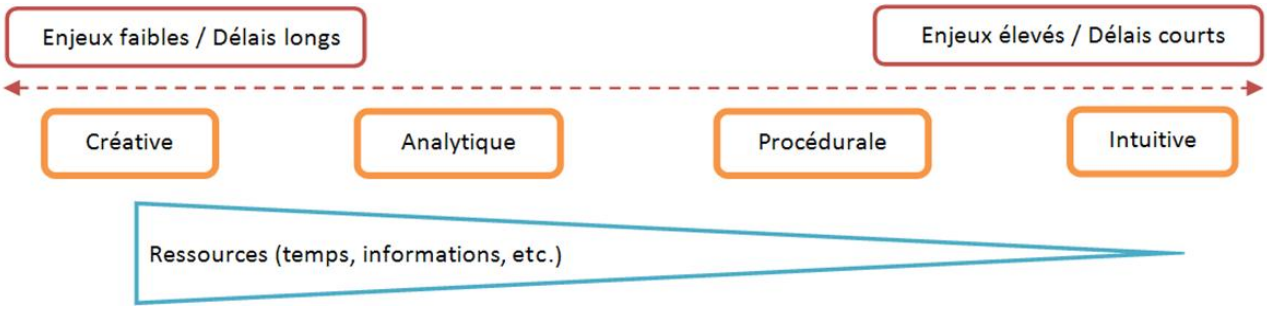


Figure 2 : continuum de la prise de décision.

Ces quatre composantes dépendent à la fois des enjeux liés à une prise de décision mais aussi des ressources disponibles et du temps alloué pour prendre celle-ci. Elle est :

- Créative : lorsque la personne invente une décision, sans référentiel mental. Dans ce cas-là, le cognitif est largement mobilisé [Crichton, 2002].
- Analytique : quand elle tend à modéliser les prises de décision de l'être humain selon des modèles mathématiques rigoureux : elle consiste à donner *« une note d'ensemble à chaque choix possible en se basant sur la somme des valeurs des dimensions pertinentes dans chaque choix, valeurs qui sont pondérées par l'importance de chacune de ces dimensions »* [Hogarth, 1980]. Cette théorie se focalise sur la décision optimale c'est-à-dire celle qui maximise les bénéfices et nécessite donc d'étudier toutes les options possibles. Il s'agit là du principal inconvénient de cette approche : dans la réalité, une recherche exhaustive de toutes les solutions n'est pas possible car elle est limitée par les informations disponibles et par les capacités mnésiques et cognitives de l'individu [Bryant *et al.*, 2003].
- Procédurale : si elle se base sur la relation entre le problème et une procédure ou une règle déjà existante [Crichton, 2002]. Elle est peu développée dans la littérature.
- Intuitive : cette approche est la plus détaillée dans la littérature actuelle et elle est assez récente comparée aux précédentes. Elle est communément appelée prise de décision naturaliste ou intuitive (*Naturalistic Decision Making*). Elle se concentre sur des études faites directement sur le terrain et se base sur la recherche dans la mémoire de conditions similaires déjà vécues avec les actions menées à ce moment-là. Il s'agit d'un processus de reconnaissance [Klein, 1997] qui repose sur la capacité à percevoir les modèles significatifs à mettre en jeu [Shanteau, 1987] et à les associer avec des réactions [Means *et al.*, 1993].

Ces composantes constituent ainsi des stratégies qui peuvent intervenir dans les différentes phases de la gestion de crise. En effet, une personne s'avère être un bon gestionnaire lorsqu'elle est capable d'utiliser la méthode la plus appropriée à la situation [Crichton, 2002]. Une bonne connaissance et une compréhension correcte des différents degrés d'urgence et des ressources à disposition permettent dès lors d'utiliser ce qui a été planifié en amont. Une phase critique dans le travail de modélisation se dessine ainsi lorsque la catastrophe qui survient n'a pas été prévue et que les décisionnaires doivent créer un management spécifique sans que celui-ci n'ait été préparé à l'avance : le principal inconvénient de cette théorie repose alors sur le fait qu'elle soit difficilement modélisable de façon précise [Bryant *et al.*, 2003].

Comme la capacité de réaction des organisations est plus complexe à améliorer à cause des facteurs humains et incertains mis en jeu [Dautun, 2007], l'une des principales perspectives d'aide à la prise de décision est alors que chaque individu puisse s'entrainer à la mobilisation de ses connaissances et de ses capacités de réflexion, aussi bien à court qu'à long terme [Fredholm, 1999].

Ce postulat s'inscrit en outre dans la considération que *« la bonne mise en œuvre des dispositifs de crise et, plus globalement, la réponse tant individuelle que collective à une situation exceptionnelle, supposent un entraînement réitéré aux situations inhabituelles »* [Lagadec, 2001]. L'intérêt de l'entrainement tire sa justification du fait que les individus expérimentés passent moins de temps à prendre une décision qu'à se focaliser sur l'évaluation de la situation. En opposition, les plus novices se concentrent davantage sur le fait de prendre la bonne décision et s'immergent ainsi au cœur de l'action afin de recueillir un nombre d'autant plus important d'informations que ces dernières sont éparses et parcellaires. Or, il est relevé que cette tendance crée un décalage entre le recul nécessaire à la prise de décisions stratégiques, et la dégradation des performances entrainée le manque d'expérience.

Il est alors intéressant d'enrichir la mémoire de chacun au moyen de connaissances (habitudes, outils, etc.) qu'ils pourront ensuite appliquer si une situation telle que celle étudiée se représente. Il apparaît de plus important qu'ils acquièrent des représentations communes du monde pour leur permettre de prendre plus rapidement des décisions collectives lorsque cela est nécessaire [Randel *et al.*, 1996]. Pour ce faire, il semble opportun de faire mesurer le pouvoir que donne l'information à celui qui la détient ou non, tout comme l'impact de l'égale information de tous les acteurs dans la gestion de la crise. Enfin, les axes d'amélioration peuvent inclure d'identifier des points de consensus pour progresser sur les points habituels de divergence, et d'appréhender la complexité du contexte multipartite d'une crise (articulation des échelons décisionnels et des politiques publiques, contradictions et quiproquos, etc.).

Cette démarche s'inscrit plus largement dans le domaine des formations, lesquelles font appel à des systèmes de mises en situation et à des sessions de cas pratiques. Elles favorisent à ce titre l'acquisition de savoirs ou de savoir-faire, qu'ils soient sensori-moteurs ou cognitifs [Lourdeaux, 2001].

Synthèse

Afin d'atteindre un objectif commun, chaque membre d'une cellule de crise a en charge une ou plusieurs tâches qui participent au travail d'équipe [Smith *et al.*, 2000 ; Schaafstal *et al*., 2001]. L'étude des profils caractéristiques permet de distinguer les développeurs, les évaluateurs et les décideurs. Tous trois mobilisent des aptitudes non-techniques spécifiques dont les six principales sont : l'anticipation, la communication, le travail en équipe, la gestion du stress, la prise de décision, et le leadership [Rasmussen, 1983 ; Fredholm, 1999 ; Weisæth, *et al.*, 2002 ; Endsley, 2003 ; Crichton *et al*., 2004].

L'incertitude, la complexité et la parcellarité des informations impactent directement l'activation de ces compétences [Todd, 2007]. Les décisions ne peuvent non seulement pas être prises en totale connaissance de cause mais nécessitent aussi la coopération d'entités qui n'ont pas toujours l'habitude de le faire [Smith *et al*., 2000]. Ces difficultés peuvent entrainer un manque ou une absence de communication interne et externe à la cellule de crise [Lagadec, 1995], et des problèmes liés à l'absence de modèle mental partagé (Shared Mental Model) entre les participants du système de gestion de crise [Cannon-Bowers *et al*., 1993]. Il a en outre été constaté que l'individualisme peut dans certains cas l'emporter sur la coopération, et que les actions des autres membres du groupe social peuvent être dégradées par les comportements humains suivants : l'altérabilité, la dysaffectivité, la subjectivité, l'ignorance, la crédulité, et l'asociabilité [Adkins-Regan, 1990 ; Bates, 1991 ; Buser, 2002]. Ces attitudes indésirables tendent cependant à disparaître dès qu'une situation impacte ou menace d'altérer les facteurs psychosociaux humains, et le comportement d'un individu en situation de stress est notamment positivement impacté par les qualités suivantes : l'instinct, l'apprentissage, l'intelligence et l'adaptabilité. Les processus de prise de décision peuvent être créatifs, analytiques, procéduraux ou intuitifs [Bryant *et al.*, 2003]. Comme la gestion d'une crise s'accompagne par définition d'enjeux élevés, de conséquences importantes et de temps de réaction réduits, la prise de décision mobilisée est ici intuitive (Naturalistic Decision Making). Ce processus s'accompagne du paradoxe suivant : alors même que ces évènements se produisent exceptionnellement et sont par conséquent inhabituels, les décisions de l'équipe de gestion de crise reposent sur la recherche de conditions similaires déjà vécues. Plusieurs auteurs postulent ainsi que la prise de décision en situation d'urgence nécessite un entraînement préalable [Lagadec, 2001], et les exercices de formation constituent une voie classique privilégiée afin de permettre aux acteurs de la gestion de crise de prendre plus facilement le recul nécessaire à l'adoption de stratégies adaptées.

Il convient dès lors d'étudier les différents types de formation à la gestion de crise. L'objectif est ainsi de contrôler que les compétences propres à une cellule de crise stratégique sont intégrées aux processus de formation, et que le contexte particulier de la gestion de crise est correctement retranscrit.

Chapitre 3 : La formation à la gestion de crise, état de l'art et déficits

« Le bon jugement vient de l'expérience. Et l'expérience vient du mauvais jugement. »

Ph.D. James J. Horning, *Prentice Hall*, 1970.

3.1. Le déroulement classique d'une session de formation

3.2. Une typologie des formations à la gestion de crise

3.3. Une typologie des exercices de gestion de crise

3.4. Des exemples de plateformes d'exercices fonctionnels à la gestion de crise

L'un des premiers constats relatifs à l'expérience individuelle est que celle acquise au quotidien n'est dans la plupart des cas pas suffisante pour constituer un moyen d'apprentissage continu, performant et suffisant, du fait de la rareté des évènements catastrophiques [Flin *et al.*, 1995 ; Lagadec, 1995 ; Lagadec, 2001 ; Schaafstal, 2001 ; Sniezek, 2001 ; Borodzicz *et al.*, 2002 ; JORF, 2004 ; Boutté, 2006 ; Mendonca, 2006]. En effet, lorsqu'il s'agit de situations exceptionnelles, la bonne mise en œuvre du dispositif de réponse suppose en effet un entraînement régulier [Lagadec, 1995] et *« à la voie de l'essai-erreur (particulièrement coûteuse, tant en termes humains qu'économiques, quand il s'agit de crise) doit se substituer celle de l'exercice »* [Lagadec, 2001]. Pour ce faire, il est important d'identifier les différentes typologies de formations et d'exercices de gestion de crise afin de définir un cadre formel d'étude de leurs principales caractéristiques. La mise en correspondance de ces éléments avec des exemples de plateformes existantes doit enfin permettre de déterminer d'éventuels axes d'amélioration.

3.1. Le déroulement classique d'une session de formation

Quel que soit la forme que prend l'exercice, la finalité est identique et tend à ce que chaque personne participante soit, par la suite, capable de transposer ce qu'elle a appris dans une situation réelle. Cela leur permet également, lors de simulations en groupe, de partager les expériences, les connaissances, les points de vue sur la situation et ainsi de perfectionner les modes de raisonnement, la gestion d'équipe, la communication. L'objectif global est donc double : représenter une situation proche de la réalité et mettre en œuvre un processus d'apprentissage [Galvão *et al.*, 2000]. Une méthode classique portant sur le déroulement des exercices de gestion de crise est synthétisée dans la figure 3 [Morin *et al.*, 2004].

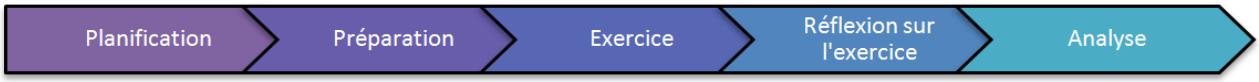


Figure 3 : déroulement classique d'un exercice de formation à la gestion de crise.

3.1.1. Détail des différentes phases classiques

Ce processus parcourt différentes phases depuis la conception jusqu'à l'analyse de l'exercice de formation de la manière suivante :

- La planification permet dans un premier temps de définir les objectifs pédagogiques de l'exercice ainsi que les indicateurs de suivi observables, puis de créer les scénarios correspondants [Crichton *et al.*, 2004],
- La préparation concerne essentiellement l'information des participants à la formation et inclut les instructions données aux éventuels observateurs,
- L'exercice implique une animation réaliste du scénario pédagogique par les instructeurs ainsi qu'un recueil des actions réalisées par les apprenants [Muller *et al.*, 1995]. Ce dernier doit avoir lieu durant l'exercice afin d'assurer les deux dernières étapes de la session de formation,

- La réflexion sur l'exercice consiste en un examen critique du déroulement de l'exercice avec tous les acteurs qui tient compte des résultats et des performances, au niveau soit individuel soit collectif [McLennan *et al.*, 1999],
- L'analyse, qui porte sur une évaluation de la façon dont le scénario d'exercice a été traité par les participants.

A ce titre, différents types d'évaluation sont envisageables d'un point de vue des compétences mobilisées par les participants lors de l'exercice. Habituellement, ces évaluations s'expriment en terme de performance [Crampes, M. & Saussac G., 1999] :

- Opérationnelle simulée, qui consiste en la détermination préalable de paramètres à atteindre afin de terminer la simulation.
- Pédagogique, par l'application adéquate des compétences relatives aux objectifs fixés.
- Critique, liée à l'identification et explication de ses propres erreurs en fin de simulation.
- Corrective, relative à la proposition d'actions plus pertinentes qui auraient dû être mises en œuvre.

3.1.2. Identification des critères prépondérants

L'étude du déroulement classique d'une session de formation à la gestion de crise met en évidence plusieurs éléments censés garantir l'acquisition d'une expérience significative supplémentaire. Afin d'améliorer les connaissances et les compétences de tous les participants, un encadrement éducatif doit être proposé pour servir notamment de facteur de motivation afin qu'ils s'engagent entièrement dans le scénario. Ainsi des critères essentiels peuvent être formulés dans le cadre de la problématique étudiée, et il semble nécessaire que la formation de décisionnaires intègre :

- Un accompagnement dans une trame simple et efficace du commandement,
- Une pratique de la prise de décision dans un environnement psychologique proche de la réalité,
- Un retour sur l'efficacité des décisions prises au cours de l'exercice et enfin la possibilité d'auto-évaluation et de réflexion sur les choix effectués.

Les différents types de formation à la gestion de crise vont dès lors être parcourus puis étudiés sous l'angle des trois critères précédents.

3.2. Une typologie des formations à la gestion de crise

Il existe trois approches classiques pour former à la gestion de crise. La première, dite polyvalente, place le rôle individuel au centre de l'entrainement. La seconde, dite d'entrainement en conditions dégradées, soutient que des conditions extrêmes et critiques peuvent rendre l'exercice plus formateur. La dernière, dite évènementielle, postule enfin que chaque composante situationnelle constitue un pivot d'apprentissage.

3.2.1. La formation polyvalente

Ce type de formation se présente sous la forme d'une stratégie éducative dans laquelle chaque stagiaire joue le rôle d'un autre membre de l'équipe. Le but est que chacun connaisse les différentes fonctions au sein de la cellule de crise. Des expériences ont montré de bons résultats grâce à cette méthode et des avantages certains : une meilleure anticipation des besoins d'autrui et un développement de la connaissance des tâches des autres membres de l'équipe. Cette formation peut accompagner un entraînement à la gestion d'équipe pour donner de meilleurs résultats. De plus, elle ne nécessite pas un temps de formation important pour être efficace [Blickensderfer *et al.*, 1998].

3.2.2. La formation en conditions dégradées

Cette méthode travaille sur l'amélioration de la prise de décision, et est aussi appelée *Critical Thinking Training* (CTT) [Cohen *et al.*, 1998]. Le principe est notamment le suivant : de grandes quantités d'informations tactiques sont données à l'équipe qui doit, à partir de là, réduire les hypothèses afin de trouver les renseignements pertinents tout en optimisant le temps mis pour résoudre le problème. Comme la performance du management dans les premières phases de la crise va déterminer si la situation va rester sous contrôle ou au contraire s'aggraver, cette approche sensibilise en particulier sur l'importance de la prise de décision en situation d'urgence [Lagadec, 1993 ; Flin *et al.*, 1995]. La philosophie de ce type d'outil se rapproche en outre de celle des jeux de décision tactique développés pour améliorer les compétences tactiques et la prise de décision en situation de stress. Il s'agit en effet d'une simulation d'évènements qui peuvent se produire lors de la gestion d'une situation d'urgence en regroupant jusqu'à une dizaine de participants auxquels sont présentées des informations parcellaires et qui doivent jouer des rôles prédéfinis. Les participants doivent alors décider des actions à réaliser pour gérer la situation dans un degré d'incertitude élevé, dans un temps limité et en disposant de peu d'informations initialement disponibles. Il est aussi noté que cette approche s'attache parfois à dégrader d'autres composantes de la gestion de crise (temps de réaction, sollicitations extérieures, enjeux impactés, etc.).

3.2.3. La formation évènementielle

L'approche évènementielle pour la formation, aussi appelée *Event-Based Approach to Training* (EBAT) dans les pays anglo-saxons, applique quant à elle le concept de la prise de décision naturaliste (ou intuitive) [Fowlkes *et al.*, 1998]. Elle permet de développer des compétences d'équipe tout en donnant un retour des performances réalisées, le tout dans un environnement proche de la réalité.

Il est spécifié que la garantie d'une formation efficace nécessite que les objectifs soient définis et que les attentes des stagiaires soient connues au préalable. Avec EBAT, deux ou trois évènements sont alors créés pour chaque objectif d'apprentissage. Ceux-ci peuvent varier en terme de difficulté à chaque moment d'un exercice afin d'adapter la formation aux stagiaires. En ce qui concerne l'évaluation, elle a lieu au cours de l'exercice : un observateur note, à l'aide d'une liste préalablement établie, les performances des personnes en

fonction des évènements auxquels ils sont confrontés. Ensuite, un débriefing est mené sur la base des comportements observés [Schaafstal *et al.*, 2001].

3.2.4. Mise en correspondance avec les critères attendus

La formation polyvalente propose une approche originale basée sur un échange des rôles visant notamment à travailler les capacités d'anticipation sur les besoins des autres participants. Bien qu'il soit noté que l'anticipation est l'un des facteurs primordiaux de la gestion stratégique d'une crise, il est jugé que ce type de formation recrée un contexte non seulement trop éloigné de la réalité, mais occulte aussi l'ensemble des autres compétences qui doivent être mobilisées en situation réelle.

La formation en conditions dégradées (CTT) reproduit de manière réaliste des éléments contextuels propres à la gestion de crise, à savoir : de l'incertitude, de l'urgence et un manque de contrôlabilité de la situation. Cette approche semble essentielle bien qu'étant excessivement réductrice, car une importance beaucoup plus forte est donnée à la gestion du stress ou à la prise rapide de décisions qu'aux autres compétences (anticipation, travail d'équipe, etc.) pourtant tout aussi capitales.

La formation évènementielle (EBAT) propose un cadre plus général qui intègre le fait que chaque individu possède des compétences bénéfiques pour l'équipe, et que le niveau d'expérience de chaque groupe implique une gradation de la difficulté de l'exercice afin d'optimiser les phases d'apprentissage. Une trame générale de construction d'un scénario est généralement structurée afin de rationnaliser la stratégie pédagogique. Cette approche semble donc regrouper des bases méthodologiques cohérentes avec l'objectif de formation à la gestion stratégique de crise.

An regard des besoins précédemment identifiés en termes de formation à la gestion stratégique de crise, trois constats peuvent être formulés :

- L'accompagnement des apprenants au moyen d'un scénario d'exercice adapté semble réalisable avec l'approche évènementielle (EBAT),
- La pratique de la prise de décision en conditions dégradées (CTT) paraît favoriser l'implication des participants dans un environnement psychologique proche de la réalité,
- Le retour sur l'efficacité des décisions prises au cours de l'exercice demeure implicite, et aucun cadre méthodologique fédérateur n'apporte la garantie qu'une analyse réflexive différente de l'auto-évaluation soit effectuée.

Il semble ainsi pertinent d'agréger les approches EBAT et CTT au sein d'une démarche méthodologique hybride, afin d'intégrer de manière pertinente le contexte général relatif à la formation à la gestion stratégique de crise.

Les constats précédents permettent cependant de formuler deux interrogations. La première concerne d'une part l'organisation du scénario d'exercice, et plus particulièrement la façon dont les évènements didactiques peuvent ou doivent être soumis aux stagiaires. La seconde pose d'autre part la question de la façon dont

l'évaluation des élèves par les formateurs peut être réalisée. Il convient ainsi de balayer les différents types d'exercices de gestion de crise afin d'identifier comment ces thèmes sont traités lors de sessions classiques de formation.

3.3. Une typologie des exercices de gestion de crise

Les bénéfices apportés par les exercices de formations dans ce domaine ont été mises en évidence par l'Agence Fédérale Américaine de Gestion des Urgences (FEMA). Selon elle, la qualité des décisions prises est directement liée aux connaissances et aux compétences des équipes chargées de gérer un exercice [Schaafstal *et al.*, 2001]. A ce titre, plusieurs types d'exercices de gestion de crise sont distingués classiquement [Trnka *et al.*, 2006] : les exercices en direct ou grandeur nature, les exercices sur table, et les exercices fonctionnels.

3.3.1. Les exercices en direct ou grandeur nature

Les exercices en direct ou grandeur nature regroupent tout ou partie des acteurs de la gestion de crise afin d'évaluer les fonctions mises en jeu en cas de catastrophe [Peterson *et al.*, 1999]. Ces exercices sur le terrain peuvent par exemple permettre aux services d'urgence de s'entrainer à la coordination des moyens et de mettre en pratique une procédure opérationnelle adaptée à un scénario particulier. Il en ressort des informations sur la façon dont les différents services réagissent, s'organisent, communiquent et utilisent les ressources dont ils disposent pour faire face à la mise en scène d'un accident. Les procédures peuvent être testées et ajustées par rapport aux observations sur le déroulement de l'intervention. Cependant, les plans sont rarement applicables dans les situations réelles et la gestion de l'évènement fait appel à une approche flexible basée sur l'improvisation [Mendonca, 2006]. Lors de ces exercices, le personnel peut ainsi développer son expérience et sa compétence, prendre conscience des lourdeurs ou de lacunes dans les procédures. Pourtant, compte tenu de l'infinité de scénarios qu'une catastrophe peut engendrer, il est impossible de reproduire en réel toutes les situations auxquelles les services d'urgence doivent faire face [Bruinsma *et al.*, 2006]. Cette approche ne permet donc pas de tester les procédures d'intervention de façon exhaustive.

3.3.2. Les exercices sur table

Les exercices sur table (ou *« table top exercises »*) reposent sur des situations dont les issues sont théoriquement ouvertes. Ils exigent des participants de construire librement leur stratégie de réponse en confrontant au préalable leurs arguments et en mettant en application des recommandations provenant par exemple de guides méthodologiques. Ils prennent en effet la forme d'un brainstorming au cours duquel les participants doivent définir leurs actions pas-à-pas. Les recherches menées dans les services d'urgence [Borodzicz *et al.*, 2002] laissent penser que le phénomène de crise n'est pas totalement retranscrit dans le

contexte de la formation lorsque cette dernière est basée sur ce type d'exercices. La gestion de crise suppose en effet du jugement tactique plutôt que des réponses tactiques prédéfinies. Si les services d'urgence disposent de fiches réflexes à mettre en œuvre pour leur activité quotidienne qui nécessite des gestes précis, rapides et codifiés, il est illusoire de vouloir proposer un tel guide pour la gestion de crise. Cet outil serait même dangereux dans certaines circonstances [Lagadec, 2001]. Cette approche demande en outre aux concepteurs de se livrer à un travail en amont pour garder la maîtrise de l'exercice. En effet, si les problèmes sont inconnus des participants ou que les procédures opérationnelles semblent inappropriées, la proposition d'actions créatives et nouvelles par les apprenants implique alors une improvisation des formateurs qui peut rendre l'animation de l'exercice plus déstructurée et l'exercice plus complexe à gérer [Borodzicz *et al.*, 2002]. Le point faible de cette approche réside dans le fait que l'instructeur puisse tendre, sans forcément s'en rendre compte, à replacer artificiellement le scénario dans un contexte qu'il maîtrise (syndrome de l'instructeur).

3.3.3. Les exercices fonctionnels

Ces exercices se concentrent uniquement sur quelques activités liées à la gestion de crise et non pas de l'opérationnel jusqu'au commandement [Peterson *et al.*, 1999]. Ils se déroulent en temps réel et doivent intégrer des parts de simulation pour pallier l'absence des activités manquantes. Issue des difficultés conduisant parfois à l'impossibilité de réaliser des mises en situation grandeur, la simulation au moyen d'un outil, informatisé ou non, offre alors des possibilités plus élargies d'un point de vue pédagogique. En particulier, la gestion des évènements du scénario (occurrences, cinétiques, ressources allouées, etc.) rendent souple et plus réaliste l'évolution du scénario de crise. Bien que cette approche ne permette pas non plus de tenir compte de l'ensemble des conséquences possibles que seule la réalité peut engendrer [Bruinsma *et al.*, 2006], il est en revanche possible de reproduire et répéter un grand nombre de scénarios sans devoir mobiliser tous les acteurs habituellement concernés (personnel, population, etc.) ce qui réduit de ce fait considérablement son coût de mise en œuvre.

3.3.4. Analyse des types d'exercice

L'exercice en direct ou grandeur nature présente l'avantage de mettre en situation réelle et globale d'une partie ou de la totalité des niveaux stratégiques, tactiques et opérationnels. Il n'apparaît cependant pas réaliste d'envisager de reproduire fidèlement le réalisme d'une situation catastrophique ni d'évaluer facilement l'ensemble des stratégies établies par les participants. En effet, les exercices grandeur nature demeurent difficiles à mettre en place, pour des raisons évidentes de coût, de temps, de disponibilité des personnels, voire de sollicitation de la population.

L'exercice sur table implique que les apprenants prédéfinissent leurs actions les unes après les autres, de manière statique, pour chaque séquence didactique. Cette approche semble être la plus éloignée du contexte de départ du fait des écarts notamment temporels avec la réalité du terrain. Le manque d'immersion des stagiaires ainsi que les difficultés pour les animateurs de garantir un niveau de réalisme cohérent, permet

d'identifier que ce type d'exercices ne correspond pas à la problématique de formation à la gestion stratégique de crise telle que définie dans le cadre de ce travail de recherche.

Enfin, l'exercice fonctionnel sollicite un niveau seulement du système global – soit stratégique, soit tactique, soit opérationnel – et permettent de soumettre des évènements avec une dynamique réaliste au moyen d'un scénario simulé. Cette approche nécessite en effet le recours à un outil de simulation afin de compenser l'absence des autres composantes intervenant dans la réalité. Bien que pouvant être source de biais simplificateurs, les simulations déchargent les formateurs d'une partie de l'effort d'animation du scénario d'exercice dont la maitrise totale serait difficile à acquérir. C'est pourquoi, il semble pertinent de retenir ce type d'exercice compte tenu de la problématique de formation étudiée dans le cadre de ce travail.

De ce fait, il est retenu qu'une approche hybride EBAT-CTT (évènementielle et en conditions dégradées) prenant la forme d'exercices fonctionnels est susceptible de correspondre aux contraintes pédagogiques qu'implique une formation à la gestion stratégique de crise. La présence d'un outil de simulation apporte une réponse à l'une des deux interrogations formulées précédemment au sujet de la manière dont les évènements didactiques peuvent être soumis aux élèves. Toutefois, il est relevé que la préparation du débriefing par les instructeurs, tout comme les facteurs de réalisme des simulations, ne font pas l'objet de recommandations classiques. Il est ainsi proposé d'étudier quelques exemples d'exercices fonctionnels afin de mettre en évidence les éventuelles stratégies mises en œuvre par les concepteurs et par les équipes de formateurs.

3.4. Des exemples de plateformes d'exercices fonctionnels à la gestion de crise

L'étude de simulateurs existants doit permettre d'identifier les choix techniques et pédagogiques pour la conception et l'animation de simulations pédagogiques. Il est à noter que certains de ces outils sont fondés à partir de moteurs d'intelligence artificielle qui calculent le comportement des entités et la propagation des phénomènes physiques, tandis que d'autres correspondent à des environnements virtuels.

3.4.1. Le simulateur Feux De Forêt de Valabre

L'ECole d'Application de Sécurité Civile (ECASC), basée à Valabre, dispose d'un outil de simulation destiné à la formation à la lutte contre les feux de forêts des Sapeurs-Pompiers et des autres acteurs de la Sécurité Civile. Les formations s'adressent à des agents amenés à occuper des fonctions de commandement, puisqu'elles sont accessibles aux chefs de groupes, chefs de colonnes et chefs de sites. L'outil de l'ECASC permet en effet la mise en situation des apprenants à travers un environnement virtuel. Basé sur les techniques de réalité virtuelle, il contribue à l'immersion des participants dans des situations proches de celles qu'ils sont amenés à gérer sur le terrain. L'approche retenue pour la conception de l'outil s'appuie sur un système de cartographie en trois dimensions. D'un point de vue pédagogique, l'animation de la formation repose sur le rôle des instructeurs, dans la mesure où l'outil dispose de peu d'automatisation des évènements. En effet, les instructeurs contrôlent en partie le déroulement du scénario en gérant manuellement l'intensité de l'incendie. Cette solution présente l'avantage d'être très réactive et réaliste puisque les instructeurs

possèdent l'expertise et agissent directement sur l'outil pour diriger le scénario de formation vers les objectifs qu'ils se sont fixés. La contrepartie est la nécessité de la présence d'instructeurs en nombre pour mener la formation.

Le simulateur de Valabre a comme caractéristique remarquable le fait d'avoir recours à des moyens d'interaction machine-utilisateur proches du réel. En effet, s'agissant d'exercices de commandement, les moyens utilisés pour interagir avec le système – ici le feu de forêt, son environnement, les enjeux et le dispositif de lutte – sont essentiellement constitués de moyens de communication ou de perception. Comme l'indique la méthode de raisonnement tactique (MRT) appliquée par les Sapeurs-Pompiers, les missions de commandement sont articulées autour de la perception et l'analyse de la situation, le raisonnement, la transmission d'ordres et de comptes-rendus. Cela permet l'utilisation en formation de moyens réalistes, comme des radios, des téléphones et l'implication (fictive) de moyens aéroportés. Bien que ne sollicitant pas toutes les compétences qui seraient activées sur le terrain, la perception de l'environnement via la visualisation 3D permet le partage d'une même représentation de la situation entre tous les acteurs.

3.4.2. Firefighter Command training Virtual Environment

Les équipes du GVU Center ont développé un outil d'entrainement pour les Sapeurs-Pompiers d'Atlanta. La problématique étudiée est celle des incendies de bâtiments et l'outil s'adresse à l'équivalent des chefs d'agrées ou chefs de groupes français. En effet, l'utilisateur commande un groupe de huit Sapeurs-Pompiers virtuels. La stratégie de développement de l'outil s'appuie sur un découpage en modules, dont les trois principaux sont : l'environnement virtuel (Simple Virtual Environment ou SVE), l'interface de commande graphique, et le simulateur d'incendie dynamique (NIST Fire Dynamic Simulator).

Le fonctionnement global du système repose sur un opérateur qui est chargé d'interpréter les commandes verbales de l'utilisateur afin de les entrer dans le système sous la forme adéquate via une interface de commande graphique. Ce module d'interface est une application autonome qui échange les messages avec l'environnement virtuel. Le module SVE est destiné à la visualisation de l'environnement de la situation de travail et des avatars. Ce module est composé d'objets 3D développés avec le logiciel 3D Studio Max. La notion de simulation intervient dans la conception du simulateur d'incendie. Il s'agit d'un modèle numérique conçu d'après les équations de Navier-Stokes. Différents scénarios d'évolution de la situation sont modélisés lors de la définition du scénario d'entrainement, en envisageant les décisions qui peuvent être prises par les utilisateurs. Des arbres de décisions permettent, par la suite, de naviguer dans les scénarios imaginés en fonction des actions de l'utilisateur.

Ce type d'outil présente la caractéristique d'être limité dans son caractère dynamique par le nombre fini de scénarios possibles, puisqu'il s'agit de naviguer dans l'éventail de situations prédéterminées, et la nécessité d'un opérateur capable à la fois d'interpréter les ordres ou les demandes de l'utilisateur et de les entrer dans le système. Aussi, l'outil a une vocation plutôt qualifiée de démonstrateur que de véritable simulateur.

3.4.3. Simulation multi-agents de situation de secours d'urgence

Ce projet réalisé à l'IRIT a une vocation d'outil d'analyse des comportements des acteurs de la gestion de crise, et en particulier ceux présents sur le terrain et chargés du secours aux victimes [Bellamine *et al*., 2003]. Basé sur une programmation orientée agents, il vise à recréer les interactions entre les différents acteurs à un niveau macroscopique. Conformément à l'approche de modélisation par les agents, l'outil se compose principalement de l'environnement et des agents y évoluant. Les différents types d'agents sont des victimes ou des intervenants. Ces derniers peuvent être des agents médecins ou secouristes. Les premiers sont capables d'effectuer des diagnostics médicaux et des soins alors que les seconds ont essentiellement en charge le transport des victimes vers les lieux d'évacuation. Ce projet exploite les résultats une étude probabiliste de transition de la gravité de l'état des victimes qui, en fonction du temps et de son état initial coté entre 0 et 4, peut se stabiliser, s'améliorer ou se dégrader.

3.4.4. MASTERD

Le simulateur japonais MASTERD (Multi Agent Simulation sysTem of Emergency Response in Disasters) a été développé afin d'évaluer la préparation et la réponse aux situations de crise en tenant compte du comportement des acteurs et des organisations impliquées telles que les autorités nationales et locales, les médias, et les services de secours [Kanno, Morimoto *et al.*, 2006]. MASTERD a été développé selon l'architecture CORBA et il est composé de cinq modules principaux, chacun étant implémenté selon l'approche agent distribué à l'exception du noyau fonctionnel [Arno *et al.*, 2001] :

- Le noyau du simulateur : il s'agit du module central chargé de la gestion du fonctionnement global de l'outil et de l'interface avec les modules périphériques, ainsi que la synchronisation du système et l'ordonnancement temporel des tâches. Ainsi, il assure la circulation des messages dans le système. L'échange d'informations et de ressources entre agents du Simulateur Humain-Organisation (HOS) se fait par transfert de messages. Ces messages ont une structure hiérarchique basée sur FIPA-ACL[16]. Les messages d'information sont ainsi de trois types : information, requête et question. En plus de des actions fixées par des règles spécifiques, chaque agent a des réactions automatiques à ces performatives.
- Le simulateur Humain-Organisation (HOS) : ce module simule le comportement des acteurs de la gestion de crise. Il comporte le modèle de l'organisation, les comportements et les règles de décision.
- Le simulateur de phénomènes : ce module fournit des informations aux autres modules sur les conséquences des phénomènes physiques.
- Le serveur SIG : cet élément cartographique transmet des informations géographiques et temporelles telles que le relief, la localisation des bâtiments et des voies de communication.
- Les outils de présentation : qui servent à l'affichage des résultats de la simulation et permettant de paramétrer les conditions du scénario.

[16] Agent Communication Language Specification, Foundation for Intelligent Physical Agents.

Une telle architecture présente de nombreux avantages [Kanno, Morimoto *et al.*, 2006]. En effet, l'outil est alors facilement extensible et réutilisable. Les modifications du modèle du simulateur sont simples, en ajoutant, enlevant ou modifiant chaque module de façon indépendante. Chaque acteur ou organisation est implémentée comme un agent, et son modèle de prise de décision est du type SOR (Stimulus, Organisation, Réaction), ce qui permet l'implémentation de nombreux facteurs influençant la décision [Kanno, Morimoto *et al.*, 2006]. Le mécanisme de prise de décision pour le prototype repose sur l'application de plans. Chaque agent répète le cycle suivant : acquisition/réception d'informations de l'environnement ou d'autres agents, décision d'une contre-mesure d'après une base de connaissances et un modèle mental, puis exécution d'une action ou d'un plan (série d'actions prédéfinies). Le modèle mental de l'agent est une image de la réponse à l'urgence que chaque agent construit à partir de l'information qu'il reçoit, en tenant éventuellement compte de sa propre histoire. A chaque agent sont allouées des ressources, lesquelles sont nécessaires à l'exécution d'actions. Les concepteurs indiquent que les plans implémentés dans la base de connaissances ont été construits d'après une analyse des plans d'urgence et des fiches d'actions des différents acteurs [Kanno, Morimoto *et al.*, 2006].

Il est toutefois important de noter que le peu d'information, notamment technique, disponible concernant le fonctionnement réel de cette plateforme ne permet pas d'évaluer son adéquation avec les besoins des décideurs.

3.4.5. Le projet iCrisis

Le simulateur iCrisis, développé en partie par l'Ecole des Mines de Nancy, a pour but de proposer un dispositif organisationnel et une plateforme technologique exploitant Internet afin de réaliser des simulations de crises virtuelles. Les simulations réalisées reposent sur une méthodologie d'observation des processus de prise de décision dans les groupes participants et impliquent trois cellules différentes : la cellule de crise à proprement parler, la cellule d'animation et une cellule de journalistes. L'exercice s'arrête lorsqu'une phase hypercritique a été atteinte mais que les cellules ont commencé à la maîtriser [Verdel, 2010].

Les compétences suivies sont majoritairement non-techniques et relèvent de l'organisation, de la capacité à déléguer, du leadership, de l'esprit d'analyse et de synthèse, du travail en équipe et de la communication. Une capture vidéo est réalisée pendant l'exercice et la cellule de journalistes constitue en cours d'exercice une série de supports de presse (articles, communiqués, etc.) qui servent de supports pédagogiques en phase de débriefing.

Ce simulateur se concentre ainsi sur un aspect particulier de la gestion de crise, à savoir la prise de décision, et chaque exercice ne porte que sur une séquence de la crise (jusqu'à maîtriser la phase hypercritique identifiée au préalable). Il est par ailleurs noté qu'environ quinze formateurs sont indispensables afin de superviser les deux groupes de participants.

3.4.6. Que nous apprennent l'étude de plateformes existantes

En termes de déficits pédagogiques et technologiques, le tableau 5 [Lagadec, 2007] synthétise les enjeux et les obstacles classiquement constatés en termes d'enseignement dans le domaine de la gestion de crise :

Tableau 5 : points importants et difficultés liés aux formations à la gestion de crise.

Points clés	Méthodes	Difficultés
Mise en situation	○ Construction des scénarios par les étudiants eux-mêmes, en groupe ○ Travail sur tous les acteurs potentiels (journalistes, dirigeants…)	Les étudiants doivent être volontaires et avoir envie d'apprendre
Cas concrets	○ Pédagogie par le récit ○ Montrer les difficultés et différents points de vue ○ Ne pas prendre des accidents trop familiers car cela aura tendance à une dédramatisation	Les REX doivent être riches en informations et très documentés : beaucoup de préparation en amont
Ecoute de témoins clés	○ Choisir une personne ayant vécu plusieurs situations de crise de préférence ○ Proposer un éventail de stratégies, d'interrogations et des clés pour la gestion de la déstabilisation	Difficulté de trouver les personnes adéquates et disponibles, possibilité de réaliser une vidéo
Apports de références	○ Apport de lignes de réflexion en réponse aux interrogations ○ Donner des outils ○ Adapter l'enseignement au comportement du groupe	Ne pas se perdre dans des faits trop anciens qui ne peuvent pas être transposés dans le monde actuel
Implication sur le terrain	○ Trouver des accords pour que les étudiants puissent participer à ces problématiques en situation réelle ○ Donner les règles à suivre aux étudiants	Opportunités très faibles en partie à cause du fait que ces questions ne sont pas abordées par les dirigeants

Concernant les conditions d'apprentissage, il est en outre intéressant de noter que les adultes font preuve – par opposition aux enfants – d'une forte résistance face à un système pédagogique classique. En effet, ils ne considèrent pas comme acquise l'autorité du formateur et refusent généralement le système de sanction tel qu'il est pratiqué dans le milieu scolaire. De plus, ils estiment qu'un exercice de formation doit avoir un résultat concret pour eux et veulent que leurs acquis et leurs expériences soient prises en considération [CRF, 2008]. Ainsi, un participant est susceptible d'apprendre :

- S'il comprend, c'est-à-dire si l'objet d'apprentissage est structuré dans une logique facile à retenir, et exprimé dans le vocabulaire du quotidien du formé [Noye *et al.*, 1987].
- S'il participe à un exercice en relation directe avec la réalité [Courau, 1993]. Trop de formations utilisent des jeux qui demandent un intense effort intellectuel pour en comprendre le lien avec l'activité professionnelle.
- S'il perçoit, comprend et accepte les objectifs de l'exercice [Courau, 1993]. Les attentes doivent ainsi être exprimées ouvertement par chacun devant le groupe, et l'apprentissage doit être fractionné en étapes successives ayant chacune un objectif pédagogique. L'intégration des apprentissages partiels dans un processus global garantit une compréhension logique des éléments clefs du système.
- S'il s'engage personnellement dans la simulation [Mucchielli, 2008]. En effet, un individu retient approximativement 90% de ce qu'il a décidé de faire quand ses choix d'action ont été réfléchis et que ces derniers l'ont impliqué dans la situation émulée.

- S'il est confronté aux effets de réussite et d'échec [Courau, 1993]. Le rôle de l'équipe d'animation est ici essentiel puisqu'il doit favoriser les succès et expliquer les échecs par des éléments observés.
- S'il se sent intégré dans un groupe car l'adulte est plus facilement convaincu par ses pairs que par un formateur extérieur ou un supérieur hiérarchique [Noye *et al.*, 1987]. Ainsi, la progression de l'apprentissage est d'autant plus facilitée que les groupes de travail sont homogènes en niveaux de connaissance et d'expérience.
- S'il est dans un climat de participation, se sentant *« utile et non utilisé, considéré et non jugé, capable et non complexé »* [Mucchielli, 2008]. Plusieurs approches sont développées selon que l'animation est immergée ou non dans le groupe de participants.

Différents obstacles surviennent néanmoins lorsqu'il est question de formation à la gestion de crise [Sniezek *et al.*, 2001] :

- La détermination du contenu de la formation : les compétences mobilisables n'étant pas toujours connues d'avance, il est impératif de déterminer sur quelles bases va être fondée la formation et d'identifier les besoins des apprenants.
- L'évaluation des performances, pour lesquelles deux approches se distinguent. La première concerne la mesure de la performance individuelle de la prise de décision tandis que la seconde se base sur la mesure de la performance des données du système. Cependant, il s'avère souvent difficile de les mettre en œuvre et de vérifier leur pertinence.
- Le retour d'expérience : il se doit d'être utile dans la formation et donc rapide et efficace. Les erreurs ne sont pas les seuls éléments à mettre en avant, il est également nécessaire d'expliquer leurs causes et leurs conséquences afin que l'apprenant-stagiaire puisse acquérir une meilleure compréhension des crises.
- Les interactions : la communication entre le formateur et le stagiaire doit se faire dans les deux sens afin d'optimiser l'apprentissage.
- Le planning : les personnes devant se former à ce type d'évènement disposent de peu de temps pour cela, devant en priorité gérer les problèmes quotidiens. Il est donc difficile de trouver un moment où toutes les personnes indispensables à la formation sont disponibles.
- Les coûts : bien qu'idéalement les exercices aient intérêt à être proposés plusieurs fois aux mêmes individus afin de réaliser des entrainements réguliers, les matériels et équipements multimédias nécessaires représentent souvent un investissement trop conséquent pour certaines structures [Schaafstal *et al.*, 2001].
- Le réalisme : les mêmes processus psychologiques (stress, contrainte temporelle, etc.) que ceux mis en jeu lors d'une situation réelle doivent être reproduits dans le but de recréer le contexte d'origine [Kantowitz, 1992]. Un environnement stressant peut être simulé par des interfaces multimédias, une surcharge d'informations ou encore une synthèse régulière des pertes.
- Le transfert des connaissances : une fois la formation réalisée, une des phases les plus complexes est la transposition de l'apprentissage dans un contexte réel. Cependant, l'entraînement n'est valable qu'un temps car les technologies et les procédures changent régulièrement, ce qui diminue fortement l'efficacité des enseignements précédents.

Il est ensuite constaté que la simulation d'un système à cinétique variable – qu'il s'agisse d'un phénomène, d'un modèle, ou d'une série d'évènements – peut être améliorée par l'utilisation de sous-systèmes intégrant des vitesses de simulation différente [Lafitte *et al.*, 1997]. Ces dernières peuvent être : en temps accéléré (Fast Time Simulation), en temps réel (Real Time Simulation), ou en temps ralenti (Slow Time Simulation). D'après le Centre de Simulation et d'Expertise Maritime (CSEM)[17], et d'un point de vue strictement indépendant de toute contrainte de réalisation ou de mise en application, les simulations en temps accéléré ou en temps ralenti offrent la même fidélité et la même exactitude que celles effectuées en temps réel. La principale différence réside dans le degré d'immersion humaine dans l'environnement, laquelle peut être plus ou moins altérée en fonction de l'impact qu'ont ces variations de rythme sur le réalisme de la simulation. En pratique, la précision, la performance et la stabilité d'une simulation à vitesse variable dépend à la fois de la façon dont les sous-systèmes sont couplés mais aussi de l'interface de transition (passage d'une vitesse de simulation à une autre) [Pavard, 1999]. Certaines méthodes de transition entre états – ou State Transition Method (STM) en anglais – existent afin d'aider aux réglages de ces interfaces, mais elles sont exclusivement dédiées aux domaines des simulations numériques dont l'efficience est directement mesurable en fin de processus. En l'absence de méthodologie permettant de caractériser précisément les interfaces les plus idoines, il est souvent constaté que le calibrage de l'ensemble exige alors l'expérience de nombreuses simulations.

Pour pallier ces difficultés, un grand nombre d'auteurs suggèrent l'utilisation de formation assistée par l'informatique. Ceci permet, entre autres, de générer des retours sur les actions de manière automatique et de pouvoir les analyser par la suite afin d'évaluer les performances. La portabilité ainsi que la flexibilité de tels systèmes constituent des points forts d'un point de vue pédagogique [Mouloua *et al.*, 1997]. D'autres auteurs rappellent par ailleurs que les dynamiques organisationnelles en groupes restreints (de 3 à 20 personnes) favorisent les synergies des compétences détenues par les individus devant faire face à une problématique donnée [Johnson, 1984].

[17] Simulateur SIM-PILOT. « Projets d'ingénierie » consulté en ligne sur le site du CSEM le 27 octobre 2011. http://sim-pilot.com/fr/projets-ingenierie/projets-ingenierie.php

Synthèse

La formation à la gestion de crise a pour vocation de faciliter la transposition d'acquis en situation réelle. Lors de sessions en groupe, il est question pour les participants de partager des expériences, des connaissances et des points de vue, de perfectionner les modes de raisonnement, la gestion d'équipe et la communication [Galvão *et al.*, 2000]. Classiquement, la formation peut être polyvalente, évènementielle, ou en conditions dégradées (CTT) [Blickensderfer *et al.*, 1998 ; Cohen *et al.*, 1998 ; Fowlkes *et al.*, 1998]. La formation évènementielle (EBAT) travaille la prise de décision intuitive (NDM) [Fowlkes *et al.*, 1998] et s'inscrit ainsi directement dans la problématique étudiée. Il est en outre intéressant de noter que l'approche CTT traite de certains aspects clefs de la gestion de crise, comme le choix rapide de stratégies sur la base de grandes quantités d'informations. Il est ainsi proposé de développer une approche hybride EBAT-CTT.

Le déroulement d'une formation passe par les étapes de planification, de préparation, d'exercice, et d'analyse réflexive [Morin *et al.*, 2004]. Il peut s'agir d'exercices sur table, grandeur nature, ou fonctionnels. Ces derniers confèrent aux sessions l'avantage de travailler sur les rôles et les interactions de chacun dans la cellule de crise [Trnka *et al.*, 2006] et reposent sur la simulation d'un scénario, reproductible à dessein, sans devoir mobiliser tous les acteurs habituellement impliqués. Ils facilitent de ce fait la gestion des évènements et leur évolution – en temps réel, accéléré ou ralenti [Lafitte *et al.*, 1997] – et réduisent leurs coûts de mise en œuvre.

L'étude de plateformes existantes dont la mission est de favoriser la mise en place d'exercices fonctionnels de gestion de crise a permis d'identifier plusieurs déficits. Il est possible de distinguer ceux liés à l'inadaptation du cadre pédagogique aux participants, et ceux relatifs à la complexité de préparation pour les formateurs [Lagadec, 2007]. La première difficulté traduit notamment la nécessité d'une immersion participative et proactive du formé dans un contexte fidèle à la réalité et dans un groupe le plus homogène possible en termes de connaissance et d'expérience individuelles [Noye *et al.*, 1987 ; Courau, 1993 ; McLennan *et al.*, 1999 ; Mucchielli, 2008]. La deuxième évoque le rôle difficile de l'animation qui – alors même que son autorité n'est pas acquise – doit favoriser les succès et expliquer les échecs par des éléments factuels réalistes (phase d'évaluation), tout en conservant une certaine distance avec les participants [Muller *et al.*, 1995 ; Kantowitz, 1992 ; Courau, 1993 ; Schaafstal *et al.*, 2001 ; Sniezek, *et al.*, 2001].

Certaines de ces difficultés semblent pouvoir être solutionnées par l'emploi de formations assistées par l'informatique [Mouloua *et al.*, 1997], ce qui ouvre donc deux perspectives d'amélioration des systèmes de formation à la gestion de crise. Le premier concerne l'ingénierie pédagogique mise en œuvre tandis que le second relève de l'ingénierie système d'animation d'un exercice.

Chapitre 4 : Quelle stratégie pédagogique retenir pour optimiser l'apprentissage ?

« La didactique fait l'hypothèse que la spécificité des contenus est déterminante dans l'appropriation des connaissances, tandis que la pédagogie porte son attention sur les relations entre l'enseignant et les élèves, et entre les élèves eux-mêmes. »

Michel Develay, *Didactique et pédagogie*, 1998.

4.1. Savoir, savoir-faire, être et savoir-être

4.2. Le triangle et le tétraèdre pédagogiques

4.3. Le principe de compréhension et les modèles d'apprentissage classiques

4.4. Le continuum d'apprentissage

Différents concepts pédagogiques sont généralement abordés dans la littérature en termes de gestion de la connaissance, depuis l'acquisition de celle-ci jusqu'à sa mobilisation. Les processus de compréhension se déclinent quant à eux en modèles fondamentaux qui permettent d'identifier les stratégies permettant l'acquisition de savoirs et de compétences, notamment dans le cadre des interactions sociales lors de formations collectives (par opposition aux exercices individuels). Cette partie aborde les processus structurant la pédagogie avant de s'intéresser de façon plus approfondie à l'un d'entre eux, l'apprentissage, au travers d'un état de l'art des courants de pensées classiques.

4.1. Savoir, savoir-faire, être et savoir-être

Il est généralement considéré que quatre grandes composantes pédagogiques sont parties prenantes dans les processus d'apprentissage : le savoir, le savoir-faire, l'être et le savoir-être [Houssaye, 2000].

Le savoir correspond aux connaissances intellectuelles pour l'acquisition desquelles l'apprenant doit suivre un cheminement pédagogique, et ce quel que soit le domaine étudié. Le savoir-faire est relatif à l'ensemble des compétences pratiques, manuelles et intellectuelles, acquises de manière empirique et entretenues par la pratique régulière de l'activité concernée. L'apprentissage d'automatismes est au cœur des études qui visent notamment à identifier les moyens pédagogiques permettant aux apprenants d'acquérir des réflexes dans la prise de décision ou la réalisation d'une série d'actions.

L'être est lié quant à lui à l'état physique et psychique du sujet. Dans ce domaine, les recherches ont pour objectif d'identifier des moyens pédagogiques permettant d'optimiser ces états afin d'atteindre un niveau de motivation, de confiance et de satisfaction des besoins mentaux (plaisir, sécurité, confort, etc.).

Enfin, le savoir-être concerne la capacité d'une personne à restituer des actions cohérentes avec son environnement (social, économique, etc.). Cette capacité s'acquiert non seulement par la connaissance de ces problématiques mais aussi par la maîtrise de la situation en question. Cela peut passer par de l'empathie envers un autre membre du groupe, le contrôle émotionnel de soi, ou encore la coopération et la gestion des conflits.

4.2. Le triangle et le tétraèdre pédagogiques

Houssaye représente ce système par un triangle dont chacune de ces entités constitue un sommet. Les côtés du triangle représentent les relations établies entre les entités, c'est-à-dire les processus pédagogiques [Houssaye, 2000]. Les processus mis en œuvre par la pédagogie sont l'enseignement, la formation et l'apprentissage. La figure 4 ci-après [Houssaye, 2000] définit dans un système de référence les relations entre les trois entités impliquées dans les processus pédagogiques : apprenant, enseignant et savoir.

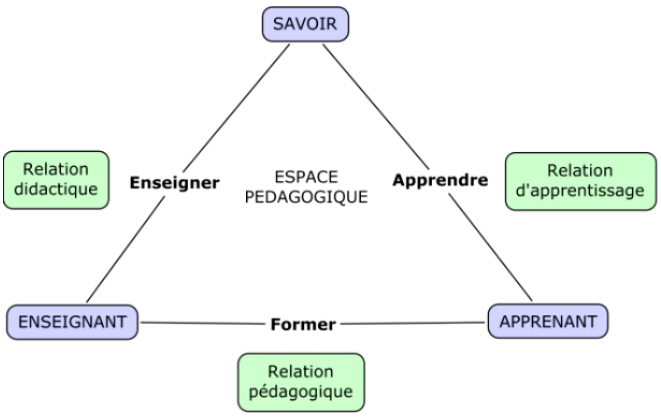


Figure 4 : le triangle pédagogique.

L'enseignement est le processus liant l'enseignant au savoir. La formation désigne la relation intentionnelle de l'enseignant vers l'apprenant. Là, le savoir n'est plus ce qui monopolise l'intérêt de l'enseignant. L'essentiel, pour lui, réside dans les rapports avec les apprenants lors d'une situation d'apprentissage. Dernier processus, l'apprentissage, considère la relation que l'apprenant peut développer vis-à-vis du savoir. L'adjonction d'une quatrième entité propre à l'apprentissage collectif entraîne trois nouveaux rapports liés aux dynamiques de groupe (cf. figure 5 ci-dessous) [Faerber, 2003].

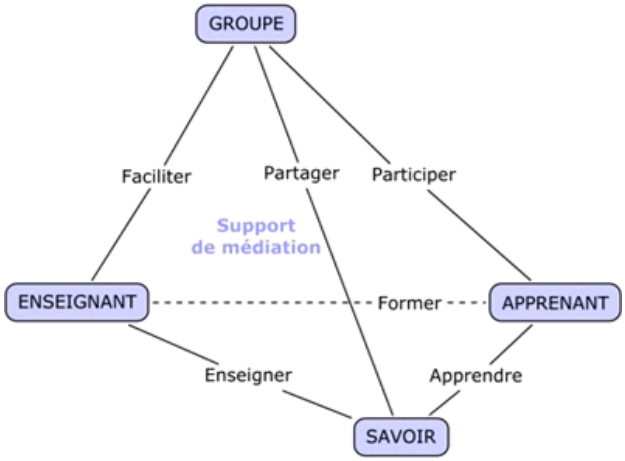


Figure 5 : le tétraèdre pédagogique.

4.3. Le principe de compréhension et les modèles d'apprentissage classiques

L'apprentissage est défini comme un *« processus d'acquisition de connaissances »* [Le Bas, 1993 ; Fillol, 2004]. Les courants de pensée visant à modéliser ces processus ont convergé ces dernières décennies vers un cheminement relativement identique selon les auteurs [Carpenter *et al.*, 2008].

La figure 6 qui suit en présente une synthèse et propose une ontologie unique afin de décrire le schéma cognitif d'apprentissage [Carpenter *et al.*, 2008].

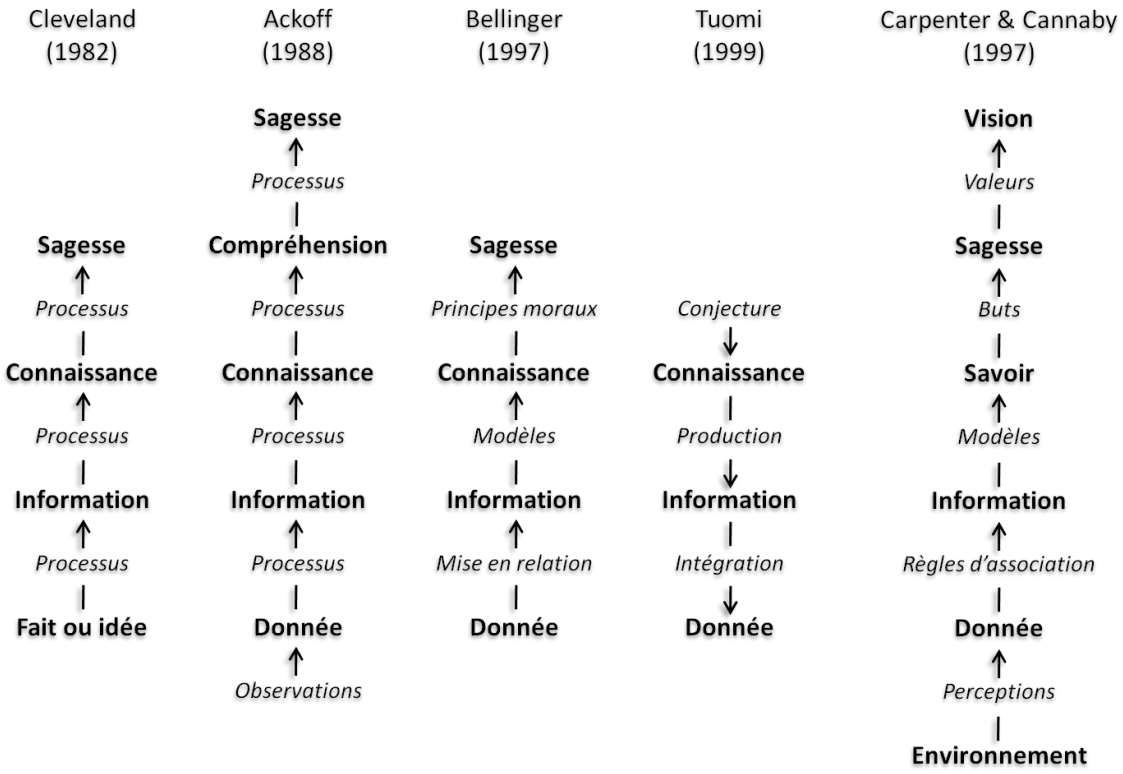


Figure 6 : modélisation des processus de compréhension sur ces 30 dernières années.

Le dernier processus propose une synthèse dans laquelle l'environnement produit un ensemble de stimuli, qui se transforme en *donnée* brute lorsqu'il est perçu. Un ensemble de *données* devient une *information* lorsqu'elles sont assemblées par des règles formelles et mises en cohérence afin d'être éventuellement reliées à d'autres informations. L'*information* devient *savoir* lorsqu'elle est intégrée à d'autres informations sous la forme d'un modèle mental permettant de prendre des décisions et de définir des actions. Le *savoir* devient *sagesse* lorsqu'il est relié à d'autres savoirs d'une manière qui permette d'anticiper, de juger et d'agir variablement selon le contexte, c'est-à-dire quand il est modulé par une mémoire. La *sagesse* se transforme pour finir en *vision* lorsqu'elle permet d'atteindre un niveau garantissant un cadre éthique dans les décisions prises sans mettre en danger la stabilité et la pérennité du système dans lequel évolue l'individu en question.

En outre, ces approches structurent la théorie de l'apprentissage et permettent d'identifier les interdépendances entre la finalité d'un apprentissage et le profil des apprenants. Ces approches ont formé différents courants de pensée dont les principaux sont : le comportementalisme, le cognitivisme et le constructivisme [De Vries *et al.*, 2006]. Ces derniers permettent de décrire à la fois l'évolution historique de la discipline et les apports dans la façon d'appréhender le phénomène d'apprentissage.

4.3.1. Le comportementalisme

Le courant comportementaliste (ou behavioriste) est issu des travaux de Watson en 1913 et donne naissance à la science du comportement [Barnier, 2008]. Le concept de behaviorisme repose sur le principe de stimulus-réponse [Fillol, 2004]. En effet, il s'agit de mettre en évidence une relation entre un antécédent, un comportement et une conséquence [De Vries *et al.*, 2006]. Dans cette approche, il est considéré que la manipulation d'une situation initiale donne lieu à une réponse puis à une récompense le cas échéant. Une illustration de cette théorie est l'apprentissage par l'essai-erreur.

Les courants de pensée liés aux théories comportementalistes sont représentés par Watson, Skinner, Hull, Crowder ou Tolman [Barnier, 2008 ; De Vries *et al.*, 2006] et ils présentent la caractéristique d'être extrêmement linéaires, d'une part dans le déroulement du processus d'apprentissage, et d'autre part dans sa courbe de progression [De Vries *et al.*, 2006]. Cette particularité est mise en évidence par l'approche de Skinner qui consiste en une décomposition de l'activité d'apprentissage en comportements élémentaires. Le courant comportementaliste doit aussi beaucoup aux travaux de Fechner, physicien et philosophe allemand, qui entreprit dans les années 1860-1880, des expériences de psychophysique pour étudier les sensations. La démarche expérimentale de Fechner a consisté, afin de contourner les difficultés liées à la mesure des sensations, à fixer l'intensité d'un excitant et de noter le moment d'apparition de la sensation. En proposant différents stimuli et en observant les réponses, il conclut qu'il peut parfaitement prévoir certains comportements [Barnier, 2008 ; Sall, 2002].

4.3.2. Le cognitivisme

Reposant aussi sur le principe de stimulus-réponse, le cognitivisme est un concept complémentaire du behaviorisme dans la mesure où ce principe est commun aux deux courants. L'apport du cognitivisme réside dans le fait qu'il s'intéresse davantage aux processus intermédiaires situés entre le stimulus et la réponse. Ceci est rendu possible par la conceptualisation des représentations mentales construites et traitées par le sujet au cours de la réalisation de l'acte d'apprentissage [De Vries *et al.*, 2006]. Les cognitivistes définissent ensuite l'apprentissage comme un processus au cours duquel les représentations mentales de l'individu sont modifiées [Fillol, 2004]. L'apprentissage par la résolution de problèmes a été développé dans les années 1970 dans le domaine de la formation médicale afin de remplacer l'approche classique basée sur la lecture pour l'apprentissage de l'anatomie, la pharmacologie, la physiologie, etc. [Savery *et al.*, 1995]. La théorie de l'apprentissage par la résolution de problèmes est intimement liée à la notion d'apprentissage groupé puisque cette théorie postule que la coopération favorise la compréhension [Martel *et al.*, 2007].

Cette approche consiste à regrouper les apprenants et à les confronter à un problème dont ils doivent expliciter les tenants et les aboutissants. L'approche est centrée sur l'apprentissage de l'élève plutôt que sur le processus d'enseignement. L'objectif est la maitrise des connaissances et des savoir-faire nécessaires à la mise en œuvre des pratiques visées par la formation. Le problème sert ainsi de prétexte à l'apprentissage [Savery, 2006]. Néanmoins, cette démarche ne tient pas compte d'un problème pourtant central : dans l'apprentissage lié à celui d'autrui, l'information pertinente peut être inconnue de tous, ce qui augmente le

risque que l'apprenant tire des leçons à partir d'interprétations imparfaites des évènements qui sont observés [Stern, 1997].

L'apprentissage par la résolution de problème tend ainsi à imposer un style pédagogique relativement directif dans la mesure où laisser l'apprenant s'éloigner d'une solution peut rendre difficile le diagnostic d'erreurs [Pernin, 1996 ; Labat *et al.*, 2006]. Deux applications pratiques du cognitivisme sont les tuteurs intelligents et les outils multimédias éducatifs [De Vries *et al.*, 2006]. Quelle que soit la stratégie pédagogique adoptée – initiative mixte, dialogue socratique, guidage discret – les tuteurs intelligents sont constitués des connaissances expertes du domaine et ont pour vocation de les transmettre à l'apprenant.

4.3.3. Le constructivisme

Les travaux de Piaget en 1969, théoricien de la pédagogie à l'origine de ce courant de pensée, abordent l'apprentissage comme étant le résultat d'une interaction entre le sujet et son environnement. La principale caractéristique des théories constructivistes repose sur l'initiative de l'apprenant dans la construction de son savoir [Labat *et al.*, 2006]. Cette approche de l'apprentissage et du développement cognitif est qualifiée de constructiviste car elle est basée sur un processus de construction des connaissances grâce à l'interaction entre l'individu et le milieu dans lequel il évolue [De Vries *et al.*, 2006].

Selon cette approche, la gestion des relations sociales pendant l'apprentissage lui est favorable parce qu'elle favorise l'apparition du conflit cognitif qui permet l'émergence d'une solution commune [Martel, 2007]. L'illustration de cette approche apparait dans les travaux de Piaget pour qui la capacité de l'individu à interagir avec son milieu de vie passe par les deux processus suivants : l'assimilation et l'accommodation. L'assimilation consiste en l'intégration par un individu des données qui viennent du milieu avec lequel il interagit, sans modification de ces données [Fillol, 2004]. Il s'agit, au cours de ce processus, d'intégrer des nouvelles idées, notions, analyses, à des schémas mentaux existants : l'assimilation est ainsi un processus d'enrichissement. Le processus d'accommodation consiste quant à lui en une adaptation de l'individu à des situations nouvelles, dont la résultante est une modification des schémas mentaux [Fillol, 2004]. Au cours de l'accommodation, le milieu s'impose sur l'activité cognitive de l'individu. Le principe essentiel relatif à l'approche constructiviste de l'apprentissage réside dans le fait qu'il se produit par l'action du sujet.

L'apprentissage expérientiel consiste à mettre l'apprenant en situation de réaliser une expérience puis à orienter sa réflexion afin d'augmenter ses connaissances et ses compétences [Dewey, 1938]. L'expérience survient alors comme un résultat de l'interaction entre un comportement humain et un environnement en termes de pensée, de vue, de perception et de manipulation [Dewey, 1938]. Cette occurrence de l'expérience peut se produire indifféremment dans un environnement réel ou virtuel, dans la mesure où il s'agit de construire la connaissance comme résultant de l'expérimentation et de l'interaction avec un environnement [Kebritchi *et al.*, 2008]. Le courant d'apprentissage expérientiel peut donc être défini comme une approche utilisant l'expérience du participant pour faciliter l'apprentissage [Kebritchi *et al.*, 2008]. Une déclinaison de l'apprentissage expérientiel est l'apprentissage par l'action, connu sous l'appellation anglo-saxonne « learning by doing ». Schank justifie les bénéfices de l'apprentissage par l'action par rapport à

l'apprentissage transmissif par des concepts issus des théories du raisonnement par cas (Case Based Reasoning) [Schank, 1996].

4.3.4. Le socioconstructivisme et l'apprentissage collectif

Les modèles socioconstructivistes ajoutent les bénéfices de l'interaction sociale entre les apprenants lors de situations d'apprentissage collectif, propices à la réorganisation des connaissances au cours du conflit cognitif [De Vries *et al.*, 2006]. Ce concept est fondé sur le principe d'un travail réalisé en groupe, dans un but commun, afin d'optimiser l'apprentissage de chacun [Baudrit, 2005].

L'apprentissage est en effet plus efficace quand les apprenants travaillent en groupe et qu'ils verbalisent leurs pensées et collaborent afin de résoudre des problèmes [Johnson *et al.*, 2002]. Ce terme désigne l'ensemble des apprentissages relatifs à une activité coopérative. La notion de coopération fait référence à la poursuite d'un but supposé commun et à l'absence de connaissances mutuelles parfaites parmi les membres du groupe, ce qui exige une interaction communicative [Baker *et al.*, 2006]. La mise en œuvre de fonctionnalités de groupement, de communication ou de partage ne suffit pas à garantir le travail collaboratif [Faerber, 2003]. Stern soutient que seuls des niveaux modérés de conflit sont les plus productifs en termes d'apprentissage. Les niveaux de conflit extrêmes inhibent la communication et l'ouverture d'esprit, l'absence de conflit, par définition, implique une absence de dynamisme lié à la notion de compétition et qui conduit le processus dialectique [Stern, 1997].

Cependant, parmi les compétences relationnelles mises en jeu dans le travail de groupe, plusieurs d'entre elles peuvent être regroupées sous le même terme générique de collaboration [Hellouin, 2003] : la collaboration, la coopération, le travail en équipe et le fonctionnement par projet. Le développement cognitif vient en particulier de la collaboration entre pairs [Faerber, 2003]. Le courant pédagogique socioconstructiviste, en plus des relations entre formateurs et apprenants, met en évidence l'intérêt du groupe d'apprentissage comme un concept particulièrement propice à la formation [Faerber, 2003]. La dimension à la fois individuelle et collective de l'apprentissage impliqué conduit à identifier que l'approche socioconstructiviste semble la plus adaptée à la problématique organisationnelle d'un groupe en gestion de crise.

4.4. Le continuum d'apprentissage organisationnel

Par-delà la variété des approches classiques en matière d'apprentissage collectif, il est un consensus sur les voies de passage obligatoires pour prétendre construire une théorie pertinente de l'apprentissage organisationnel. Trois niveaux articulent cette approche en travaillant sur des processus cognitifs différents afin d'optimiser la mémorisation d'informations [Guilbert, 1990 ; Porquier, 1994 ; Mager, 1995 ; CRF, 2008] : l'initiation, le perfectionnement et l'entraînement.

La phase d'initiation porte sur la transformation des données brutes en information pertinente : c'est ainsi le moment d'un premier apprentissage d'ordre individuel en vulgarisant des concepts inconnus jusqu'alors.

Puis, une seconde étape de perfectionnement peut suivre afin de travailler sur la mémorisation d'informations en liaison avec une problématique : il s'agit de créer une catégorisation des connaissances en groupes d'informations, en cartes cognitives collectives et en références partagées. Cette deuxième phase permet de travailler non seulement au niveau de l'apprenant mais aussi sur ses interactions avec les éventuels autres membres du groupe.

Enfin, la troisième et dernière phase dite d'entraînement (ou de restitution répétée) travaille la capacité à retrouver le plus rapidement et le plus précisément possible une information parmi un très grand nombre. Pouvant impliquer tous les membres de l'organisation, elle consiste à acquérir des réflexes en réactivant les choix adoptés lors de situations précédemment rencontrées.

La figure 7 synthétise l'ensemble de ces processus, à l'instar de Girod, et en adoptant le vocabulaire de Baumard [Baumard, 1995 ; Girod, 1995] :

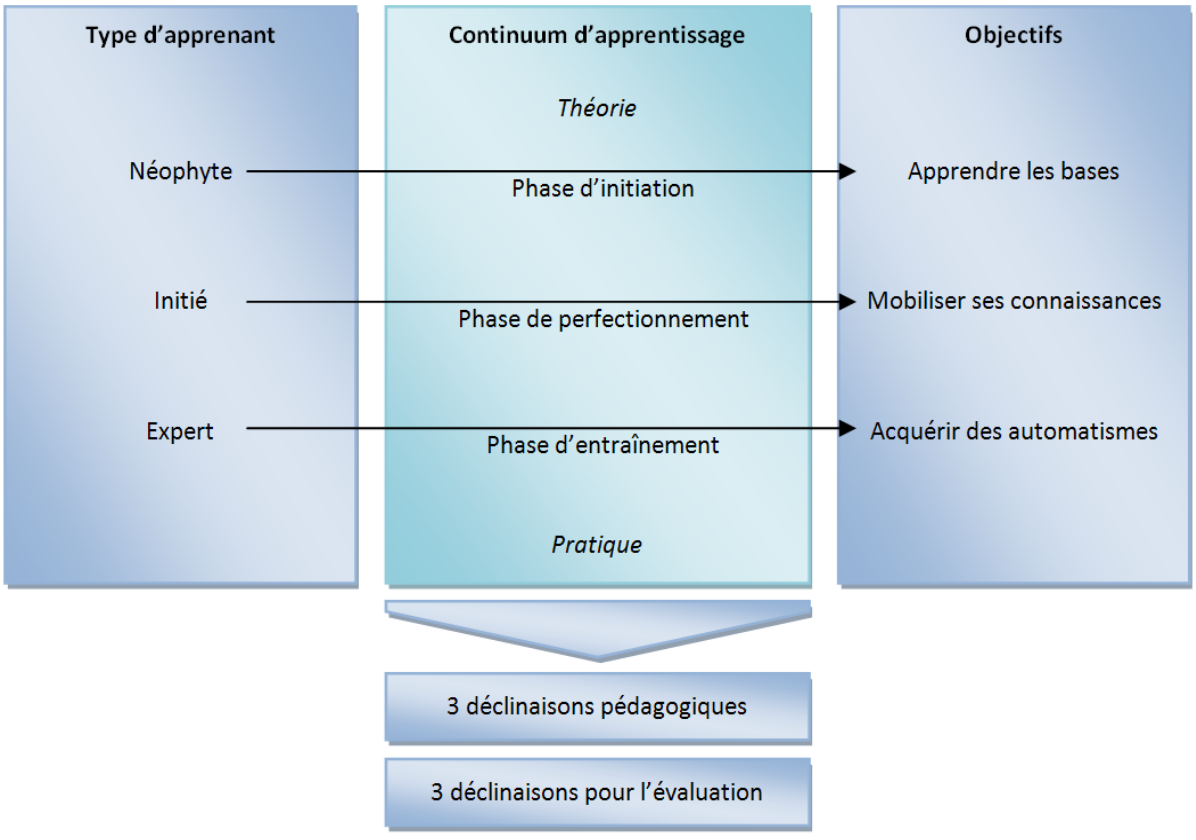


Figure 7 : le continuum d'apprentissage humain.

Il est intéressant de noter que ce continuum est un processus d'apprentissage non linéaire d'un individu. En effet, des progrès manifestes sont généralement constatés très rapidement au début, puis vient une phase où la vitesse d'apprentissage diminue au fur et à mesure du perfectionnement [Liu *et al.*, 2004].

Cette tendance peut être représentée sur un graphique (cf. figure 8) qui superpose les types d'apprentissage activés ainsi que le potentiel de progression individuelle.

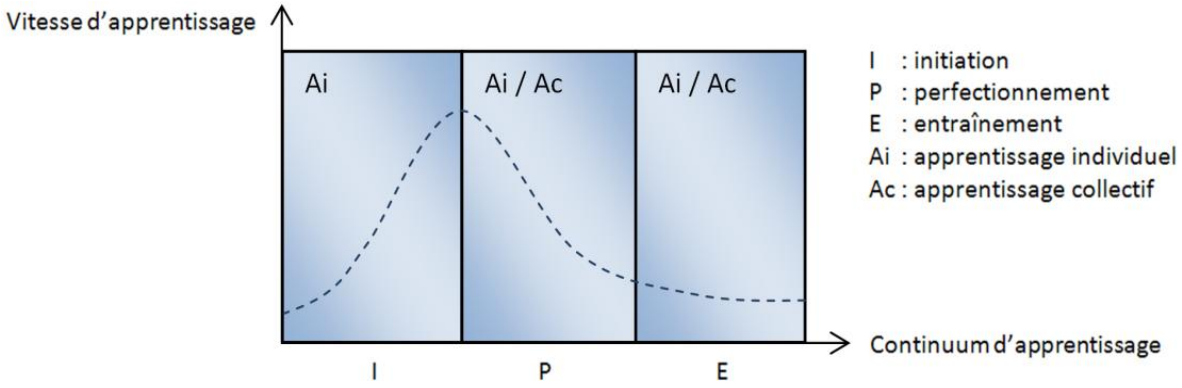


Figure 8 : vitesse et évolution de l'apprentissage organisationnel.

Cette représentation met en évidence qu'un individu professionnel ou expert dans son domaine, dont le profil s'insère donc dans une stratégie pédagogique d'entraînement et non pas d'initiation ou de perfectionnement, aura une vitesse d'apprentissage relativement faible eu égard aux personnes néophytes ou initiées. Ce constat permet ainsi de mettre en lumière qu'il y a un intérêt pédagogique fort de considérer l'ensemble des profils.

Même si la pédagogie est un moyen d'atteindre les objectifs fixés en tenant compte de l'individu apprenant et de sa vitesse d'apprentissage, elle ne permet en revanche pas de contrôler si ceux-ci ont été atteints. Pour ce faire, ce continuum propose également de mettre en place des procédures d'évaluation ayant pour but de vérifier l'adéquation entre les stratégies pédagogiques et les résultats obtenus. Dans ce but, il est alors nécessaire de lister au préalable l'ensemble des facteurs clefs participant à une gestion optimale de crise afin d'identifier des critères d'évaluation en fin d'exercice.

Synthèse

Les quatre grands axes pédagogiques classiquement identifiés dans les processus d'apprentissage sont : le savoir, le savoir-faire, l'être et le savoir-être [Houssaye, 2000]. En matière de savoir-faire, il s'agit généralement de travailler sur l'acquisition d'automatismes. Au sujet du savoir, l'accent est principalement porté sur l'enseignement de connaissances. Concernant l'être, il est question de mobiliser des facteurs de motivation, d'implication, de confiance et de satisfaction afin de favoriser un contexte propice à la performance. Le savoir-être est quant à lui abordé sous l'angle de la restitution des acquis en termes de maitrise de soi et de coopération avec le reste du groupe. Les processus d'enseignement, d'apprentissage et de formation associés aux composantes précédentes peuvent ainsi modélisés par un tétraèdre pédagogique [Houssaye, 2000 ; Faerber, 2003] qui définit dans un système de référence les relations entre les quatre entités impliquées : l'apprenant, l'enseignant, le savoir, et les dynamiques de groupe.

Les processus d'apprentissage sous-jacents peuvent être intégrés dans un cycle (perception, donnée, information, savoir, sagesse, et vision) garantissant que les décisions prises ne nuisent pas à l'environnement dans lequel l'individu évolue [Le Bas, 1993 ; Fillol, 2004 ; Carpenter, 2008]. Le franchissement de ces étapes identifie deux prérequis. Le premier appelle à ce que tout évènement didactique soit rendu perceptible afin de pouvoir être capté par l'apprenant. Le deuxième traduit la nécessité d'intégrer l'hétérogénéité des profils d'apprenant avec la finalité de l'apprentissage. Quatre approches classiques se distinguent à ce sujet : le comportementalisme, le cognitivisme, le constructivisme et le socioconstructivisme [De Vries *et al.*, 2006].

Cette dernière est celle qui retranscrit le mieux les problématiques d'apprentissage collectif, mais il est constaté qu'elle ne s'attache pas à la définition d'un cadre pédagogique adapté aux profils d'apprenants. C'est pourquoi, il est proposé de compléter l'approche socioconstructiviste par un continuum d'apprentissage organisationnel qui s'articule autour de trois phases, applicables selon que le groupe est néophyte, initié ou expert dans le domaine, et respectivement dites d'initiation, de perfectionnement et d'entraînement [Guilbert, 1990 ; Porquier, 1994 ; Baumard, 1995 ; Girod, 1995 ; Mager, 1995]. Cette démarche met en lumière la nécessité de développer des objectifs pédagogiques ainsi que des niveaux d'évaluation des participants spécifiques. Il est enfin noté que la vitesse d'apprentissage est plus élevée durant les deux premières phases ce qui indique qu'à temps d'exercice équivalent, un public non-initié monte plus vite en compétence qu'un groupe composé d'experts [Liu *et al.*, 2004]. Bien que la problématique de formation étudiée tire son intérêt premier du besoin d'entrainement que peuvent avoir des équipes de gestion de crise déjà effectives, il semble néanmoins intéressant de ne pas écarter les autres profils d'apprenants pour lesquels un intérêt pédagogique fort est donc identifié.

Chapitre 5 : Quel environnement de simulation proposer pour favoriser l'apprentissage ?

« L'apprentissage de la logique, de l'analyse, de la pratique, de la recherche de documents et de l'expression, sont de plus en plus favorisés par l'informatique. »

Sc.D. De Rosnay, *La Révolte du pronetariat*, 2006.

5.1. Les environnements interactifs pour l'apprentissage humain

5.2. Les différents types de simulation pour la formation

5.3. Quels prérequis pour un simulateur à vocation pédagogique ?

Selon le Ministère de la Jeunesse et de l'Éducation nationale, les Technologies de l'Information et de la Communication (TIC) permettent de travailler l'information en termes de partage, de diffusion, d'organisation, d'apprentissage et de production de connaissances. Les principaux usages pédagogiques de ces technologies sont les suivantes : coopérer, mutualiser, produire, créer, rechercher, se documenter, se former, s'autoformer, animer, organiser et conduire. En cela, l'informatique décisionnelle – ou business intelligence – qualifie l'exploitation des données liées à une problématique dans le but de faciliter la prise de décision par les décideurs en intégrant la compréhension du fonctionnement actuel et l'anticipation des actions. Les outils décisionnels sont en effet basés sur l'exploitation d'un système d'information décisionnel alimenté à partir des données de production (documents techniques, etc.), d'informations concernant les évènements passés (retours d'expérience), et de données conjoncturelles (économiques, sociologiques, etc.) [Crichton *et al.*, 2000].

5.1. Les environnements interactifs pour l'apprentissage humain

Les environnements interactifs pour l'apprentissage humain (EIAH), avec l'aide d'ordinateurs ou non, sont des systèmes destinés à favoriser l'apprentissage ou l'entrainement d'utilisateurs. Les apprenants, au sens large, sont généralement placés en situation active de résolution de problèmes tout en étant guidés et évalués en temps réel ou en différé par le système [Guéraud, 2003]. Pour aider aux apprentissages multidisciplinaires ou scientifiques et technologiques, la Direction de la technologie du Ministère de la Recherche propose plusieurs axes exploratoires :

- L'Enseignement Assisté par Ordinateur (EAO),
- La mise en place de simulations interactives,
- L'expérimentation active, l'entrainement et les tests de connaissance,
- L'utilisation de logiciels, souvent ouverts, permettant de personnaliser voire créer ses propres exercices.

Le recours à la simulation est de plus en plus fréquent dans le processus d'apprentissage [Pernin, 1996 ; Mellet d'Huart, 2001 ; Pastré, 2005]. A ce titre, Pernin cite les travaux de De Jong pour identifier un certain nombre d'intérêts dans une typologie de raisons qu'il qualifie d'affectives et de pratiques [Pernin, 1996]. Les principales raisons pratiques justifiant l'intérêt du recours à la simulation sont étudiées par de nombreux auteurs [Crichton *et al.*, 2000 ; Banks, 2001 ; Lourdeaux, 2001 ; Borodzicz *et al.*, 2002 ; Querrec, 2002 ; Guéraud, 2003 ; Kincaid *et al.*, 2003 ; Guéraud, 2005 ; ; Bruinsma *et al.*, 2006 ; Idasiak *et al.*, 2006 ; Joab *et al.*, 2006 ; Mendonca *et al.*, 2006 ; Schurr *et al.*, 2006 ; Crichton, 2009]. L'intérêt de la simulation peut être défini à travers :

- Le danger potentiel pour l'homme, l'environnement ou le matériel de travailler sur le système réel (situations à risques ou peu reproductibles),
- La source d'angoisse que peut constituer le système réel pour un débutant,
- La possibilité de simuler des situations extrêmement graves pour entraîner l'utilisateur à y faire face,
- La liberté vis-à-vis de l'échelle de temps en simulation pour favoriser la compréhension,
- L'opportunité de simplifier ou d'altérer une réalité afin de mieux l'étudier,

- L'acquisition de compétences liées à la prise de décision et à la résolution de problèmes,
- L'attrait de la simulation pour l'apprenant car celle-ci est source de motivation, contribue à une meilleure compréhension des phénomènes et à une plus grande aptitude à l'adaptation lors de situations similaires,
- Les coûts engendrés par la formation sont plus faibles, qu'ils soient d'ordre financier ou relatifs aux problèmes de mobilisation du personnel.

Selon l'utilisation pour laquelle le système de simulation est conçu, l'approche dans la définition des spécifications prendra différentes orientations, favorisant les aspects techniques, pédagogiques ou encore l'interaction.

5.2. Les différents types de simulation pour la formation

Une typologie des systèmes d'aide à la formation distingue les concepts de micromondes, de jeux de rôle, et de jeux de simulation [Guéraud, 2005 ; De Vries *et al.*, 2006]. Alors que les jeux simulations et micromondes sont plutôt utilisés dans les disciplines scientifiques, les simulations ont alors tendance à être du type jeux de rôle en sciences humaines [Guéraud, 2005].

5.2.1. Les jeux de rôle

La simulation par le jeu de rôle est une technique pédagogique fréquemment utilisée dans le domaine de la formation professionnelle. Elle permet de mettre en scène des situations, de les revivre ou de les anticiper, puis de les observer et les analyser entre participants [Guéraud, 2005 ; Bruinsma *et al.*, 2006]. Dans ce cas-là, l'objectif est orienté vers la prise de conscience à travers des conduites provoquées. L'intérêt du jeu de rôle en termes didactiques est important lorsque les missions des participants intègrent une dimension relationnelle forte. L'utilité de l'exercice, au-delà de la mise en situation globale, réside dans l'analyse qui va en être faite à posteriori. Le jeu de rôle sert de support d'observation et la période qui suit l'exercice est capitale, ainsi que la façon dont elle est menée. Le concept du jeu de rôle consiste ainsi à placer l'apprenant dans un contexte technique et organisationnel qui reproduit les situations professionnelles auxquelles l'apprenant est amené à faire face. Le type d'apprentissage sollicité est socioconstructiviste [Guéraud, 2005]. Les jeux de rôle permettent l'acquisition de savoirs, savoir-être et savoir-faire. La mise en situation concerne les apprenants, mais aussi d'éventuels joueurs virtuels et un ou des maîtres du jeu, chacun pouvant jouer un ou plusieurs rôles. Les rôles qui ne sont pas tenus par les apprenants peuvent l'être soit par des joueurs virtuels, soit par l'animation du jeu [Guéraud, 2005]. Le scénario auquel les apprenants sont confrontés décrit la situation initiale, les rôles de chacun et les règles qui régissent le système simulé. Crampes définit deux types de scénarios [Crampes *et al.*, 1999] : ceux dits programmés et ceux dits canevas. Les scénarios canevas sont ceux qui laissent le plus de liberté aux apprenants, dans la mesure où ils fixent la situation, la mission et les rôles, puis laissent la simulation se dérouler, sous le contrôle du maître du jeu qui assure l'animation et garantit l'intérêt pédagogique. Les scénarios programmés imposent quant à eux le passage par des situations définies à priori.

5.2.2. Les micromondes

Certains auteurs définissent les micromondes comme des outils s'intéressant à simuler le comportement d'objets ou de concepts abstraits [Guéraud, 2005 ; De Vries *et al.*, 2006]. Selon De Vries, l'objet des micromondes est d'immerger l'apprenant dans un monde animé par des objets et concepts abstraits afin de lui permettre de développer ses propres modèles [De Vries *et al.*, 2006]. Les micromondes sont utilisés pour simuler des environnements dans lesquels l'apprenant est mis en situation de grande autonomie. Ils permettent en effet aux différents acteurs d'éprouver leurs capacités de réaction. Afin d'évaluer si ce type d'exercice est réellement efficace, des recherches ont été menées dans le but d'évaluer certains paramètres de formation [Granlund *et al.*, 2001] :

- La coopération au sein même de l'équipe est analysée en filmant les acteurs au cours de la simulation et en observant les comportements de chaque personne,
- La qualité de la communication entre les différents acteurs est mesurée en étudiant les flux de message (mail, téléphone, etc.) et leur priorisation selon la personne émettrice.

Granlund soutient dans son étude que les micromondes offrent la possibilité de créer un environnement dynamique et évolutif pour la formation. Afin d'évaluer la qualité de la communication, il suffit d'étudier le vocabulaire utilisé : s'il reprend naturellement les termes propres à la profession, alors l'hypothèse selon laquelle l'immersion favorise les échanges entre les participants peut être postulée [Granlund *et al.*, 2001]. Il a été démontré que ce type de formation permet un apprentissage rapide de la coopération au sein d'une équipe dont les personnes ne travaillent habituellement pas ensemble. De plus, les modèles élaborés lors de la conception du micromonde permettent enfin à l'apprenant de conceptualiser son activité et l'organisation sollicitée par l'activité, afin de construire sa représentation mentale en s'appropriant le modèle proposé et en le modifiant [Taurisson *et al.*, 2005]. Bien que pouvant être réalisé en groupe, cet apprentissage relève plutôt d'une approche cognitiviste puisqu'une étape initiale de conceptualisation de la réponse précède une phase de test et d'évaluation du processus de résolution du problème soumis à l'apprenant.

5.2.3. Les jeux de simulation

Un jeu de simulation est un environnement qui tend à reproduire le comportement d'un système à partir d'un modèle du système d'origine (appareil physique, phénomène naturel ou système abstrait) [Guéraud, 2005]. A ce titre, il se doit de contenir au minimum les douze éléments suivants : un modèle, des scénarios, des évènements inattendus, un processus de jeu, une durée de jeu, des rôles, des procédures, des décisions, des résultats, des indicateurs, des symboles et enfin des matériels dédiés [Duke *et al.*, 1981]. La simulation favorise l'apprentissage car il est possible de matérialiser des concepts abstraits ainsi que leurs interactions au moyen de représentations : elle permet la manipulation de l'objet de l'apprentissage qui devient observable, et l'analyse de ses comportements et de ses caractéristiques. Le jeu de simulation peut alors conduire le participant vers une démarche d'apprentissage par la découverte et par la résolution de problèmes [Guéraud, 2005]. Dans le cas de l'apprentissage par la découverte, il s'agit d'abord pour lui de comprendre le fonctionnement du système simulé puis les règles qui le régissent. Dans le cas de l'apprentissage par la

résolution de problèmes, l'apprenant bénéficie d'une représentation de la situation concrète dans laquelle il est amené à évoluer [Cortes Buitrago, 1999]. Le jeu de simulation peut être réalisé seul (apprentissage constructiviste) ou à plusieurs (apprentissage socioconstructiviste). Il est intéressant de noter que ces deux types d'apprentissage prennent parfaitement place dans les deux premières phases du continuum d'apprentissage « initiation – perfectionnement – entrainement » détaillé précédemment (cf. figure 7, p74), non seulement d'un point de vue de la complexité des concepts abordés (relevant de la découverte ou de l'initiation) mais aussi dans le changement d'échelle (de l'individuel vers le collectif) qu'entraine les efforts de représentation nécessaires à l'élaboration de stratégies communes [Moore, 2002]. Les contributions des jeux de simulation dans les processus d'apprentissage sont de différentes natures. Il est tout d'abord constaté que l'aspect dynamique et visualisable de cette approche est source de motivation [Cortes Buitrago, 1999]. L'utilisation de la simulation peut également être intégrée dans le processus d'apprentissage en tant qu'élément permettant l'interaction avec l'apprenant. Dans ce cas, leur vocation est de consolider les connaissances en confrontant les participants à des situations diverses [Cortes Buitrago, 1999].

Une approche basée sur les jeux de simulation semble ainsi appropriée à la fois pour développer la stratégie pédagogique identifiée précédemment, et pour minimiser l'implication physique des formateurs au sein du groupe de participants. Cette thématique rejoint celle des « *serious game* » (ou jeux sérieux) dont l'objectif est de combiner à la fois les aspects sérieux liés à l'enseignement, à l'apprentissage, à la communication ou encore à l'information, avec des ressorts ludiques issu du jeu vidéo. Une telle association, qui s'opère par l'implémentation d'un scénario pédagogique, a alors pour but de s'écarter du simple divertissement [Alvarez, 2007].

5.3. Quels prérequis pour un simulateur à vocation pédagogique ?

« Un logiciel de simulation reproduit le comportement d'un système en se basant sur un modèle du système référent - appareil physique existant, phénomène naturel ou système abstrait. Il offre une interface de manipulation et permet à l'utilisateur d'observer ce qui se passe en fonction du réglage de paramètres et des actions qu'il effectue » [Guéraud, 2005]. Par définition, un simulateur est ainsi *« un environnement technique et humain dynamique doté de point d'interactions sur lesquels les opérateurs peuvent agir pour provoquer, observer ou contrôler les évolutions de cet environnement »* [Crampes *et al.*, 1999]. Le but de ce type d'outil est l'apprentissage de compétences techniques et non-techniques, de savoir-faire et de méthodes de réflexion. A ce titre, un simulateur se doit d'intégrer des paramètres tels que le réalisme, le temps et les enjeux, lesquels permettent une immersion complète du participant. La composante temporelle se divise en deux catégories : le temps réel pour des simulations se déroulant dans le même espace temporel que le réel et le temps simulé qui peut être une accélération ou une décélération du temps réel [Crampes *et al.*, 1998]. Pernin identifie trois contextes d'utilisation des simulations [Pernin, 1996] :

- le contexte traditionnel dans lequel le pédagogue se sert de la simulation à des fins démonstratives ou propose des activités autour de la simulation. Son rôle est de guider et d'aider les apprenants,
- l'utilisation autonome dans le cadre d'une auto-formation ou d'une auto-évaluation,

- l'utilisation coopérative dans laquelle un groupe d'apprenants réalise un travail coopératif s'appuyant sur la simulation.

Il est à noter que l'emploi de simulateur se généralise dans différents contextes et cadres de formation, et différents travaux tendent à affirmer que leur efficacité en termes d'apprentissage est liée aux objectifs pédagogiques fixés, aux règles d'utilisation définies pour l'apprenant et aux orientations données par les instructeurs [Pernin, 1996 ; Cortes Buitrago, 1999]. Ainsi, l'utilisation libre d'une simulation par l'apprenant au cours d'une session de formation ne garantit pas l'apprentissage [Pernin, 1996]. Le cadre pédagogique doit intégrer le contexte d'utilisation du simulateur afin de s'assurer de son utilité et de son efficacité d'un point de vue pédagogique. Le contenu des formations est enfin lié au choix des scénarios [Joab *et al.*, 2000]. Le simulateur permet à un utilisateur de mettre en pratique la conduite d'un système dans une situation donnée. Il peut s'agir d'exploration libre, associée ou non à des retours en arrière, d'exploration restreinte, comme d'exploration guidée [Joab *et al.*, 2000]. Dans les simulateurs à vocation pédagogique, l'apprenant est ainsi mis dans une situation d'apprentissage par la découverte et par l'action [Pernin, 1996 ; Joab *et al.*, 2006 ; Labat *et al.*, 2006]. Lorsque l'objectif du simulateur est d'être utilisé dans le cadre de formations, il est question de simulations pédagogiques [Pernin, 1996 ; Cortes Buitrago, 1999]. Afin de définir ce concept, il s'agit de préciser en premier lieu qu'une simulation pédagogique n'est pas une simple animation. Alors que l'animation peut être considérée comme un support ne permettant pas d'intervenir sur le comportement du système simulé en modifiant des paramètres, la simulation, au contraire, le permet [Cortes Buitrago, 1999]. L'utilisation d'une simulation pédagogique a pour objectif principal de favoriser l'apprentissage, lequel n'est pas nécessairement liée à la fidélité de la modélisation du système simulé [Cortes Buitrago, 1999 ; Crampes *et al.*, 1999 ; Joab *et al.*, 2006]. Ainsi, le concepteur d'une simulation pédagogique a la liberté de simplifier ou de mettre en évidence des phénomènes ou des caractéristiques du système simulé lorsque ces écarts sont justifiés d'un point de vue pédagogique. Les exercices proposés sont généralement encadrés par un ou plusieurs formateurs [Joab *et al.*, 2006] et des interventions didactiques doivent être définies selon plusieurs critères. En effet, chaque évènement du scénario dépend du profil de l'apprenant et du type d'erreur commise [Lourdeaux, 2001]. Généralement, plus l'individu formé est confirmé, plus il est bénéfique de lui faire prendre conscience de son erreur sans le sortir de la situation simulée.

Lors de la conception d'un simulateur à des fins pédagogiques, il est important de définir dès le départ les différentes stratégies pédagogiques comprenant les éléments suivants : les processus de motivation (enjeux, compétition, urgence, etc.), l'évaluation des performances, les mécanismes d'apports de connaissances et enfin la façon dont le stagiaire va acquérir de l'expérience. Le réalisme est une donnée importante mais il a cependant été démontré qu'il doit laisser une place à l'imagination afin que les apprenants puissent s'approprier la situation [Crampes *et al.*, 1999]. Selon la formation proposée et le but recherché, les participants peuvent jouer un ou plusieurs rôles différents au cours de la même formation. De plus, trois modes tactiques existent et déterminent quelle sera la dominante de la simulation [Crampes *et al.*, 1999] :

- La position d'indépendance : c'est un apprentissage centré sur la personne, chaque individu suit son cheminement sans tenir compte de l'avancement des autres,
- La position de coopération : les apprenants travaillent ensemble dans le but, par exemple, de développer leur capacité de négociation entre eux. Ils peuvent tenir ou non le même rôle,

- La position de concurrence : l'objectif de chaque stagiaire est le même et ils jouent chacun des rôles différents. Il s'agit de l'un des cas où la motivation est généralement la plus forte car engendrée par la concurrence.

De plus, la visualisation est un des concepts clefs dans la simulation, directement issu du fait que le cerveau humain à l'habitude depuis l'enfance de se focaliser en premier lieu sur l'aspect visuel des choses [Rohrer, 2000]. Pour améliorer les processus de compréhension humaine, différents sources d'information peuvent être rendues perceptible et doivent être choisies en fonction du message à véhiculer [Morin *et al.*, 2004] :

- Les objectifs visuels, adaptés pour motiver les équipes,
- Les cartes, dédiées au suivi de la situation et à l'illustration des limites géographiques,
- Les statistiques, qui permettent d'avoir la synthèse d'une grande quantité de données,
- Les évolutions temporelles, favorisant la perception de changements dans le système simulé,
- Les photographies, qui sont des illustrations statiques d'une situation,
- Les animations en 2D ou en 3D, qui rendent compte de la dynamique des évènements.

Les avantages liés à l'utilisation de la simulation à des fins de formation sont multiples [Banks, 2000]. Tout d'abord il est possible de tester les paramètres de simulation afin de les valider ou non, de comprendre pourquoi un évènement se déroule d'une manière ou d'une autre en l'étudiant rétrospectivement, et d'explorer différentes évolutions du scénario simulés notamment pour apprendre de ses propres erreurs sans risquer de conséquences sur le monde réel [Mendonca *et al.*, 2006]. Cependant, la simulation présente également certains inconvénients liés à la difficulté représentation des résultats (problème de retranscription) ainsi qu'à l'évaluation des performances de l'équipe (problème d'interprétation). Ceci vient en effet du fait que l'impact des décisions prises par le groupe sur l'évolution de la simulation n'est bien souvent pas observable ou difficilement mesurable [Banks, 2000].

La conception d'un simulateur basé sur des animations – en 2D ou en 3D – pour réaliser des formations à la gestion de crise pose néanmoins la question de la pertinence de l'utilisation d'images virtuelles dans un contexte qui en est complètement détaché. En effet, aucune cellule de crise de niveau stratégique n'est actuellement dotée d'un accès visuel direct à la réalité terrain ni même à une représentation en temps réel des éléments liés à l'évènement qui se déroule. Il est de ce fait possible de considérer cette altération comme le risque de discrétiser trop fortement le substantiel du virtualisé, ou au contraire comme une aide possible dans la mesure où elle ouvre un accès plus large à un plus grand volume d'informations. A titre d'exemple, la sémantique de l'expression « réalité augmentée » témoigne directement de cette volonté d'ajouter un niveau supplémentaire de compréhension des informations brutes qui nous entourent en les présentant sous un angle particulier. C'est pourquoi, l'ajout d'une nouvelle couche d'informations doit nécessairement passer par l'étude des manières de représenter une réalité, existante ou fictive, d'analyser les tenants et les aboutissants de chacune de ces méthodes et de mesurer l'impact de cet ajout au sein du système de gestion d'une crise.

Synthèse

L'informatique décisionnelle permet de faciliter l'anticipation et la compréhension d'une situation, ainsi que la prise de décisions. Les environnements interactifs présentent plusieurs avantages : source de motivation pour l'utilisateur, ils aident ce dernier à appréhender des situations complexes ou dangereuses en les étudiant avec des facteurs d'échelles différents [Lourdeaux, 2001 ; Borodzicz *et al.*, 2002 ; Querrec, 2002 ; Idasiak *et al*., 2006 ; Joab *et al*., 2006 ; Mendonca *et al.*, 2006 ; Schurr *et al*., 2006 ; Crichton, 2009]. L'étude de la typologie des environnements interactifs pour l'apprentissage humain permet de distinguer les jeux de simulation, les micromondes et les jeux de rôle. Il est identifié que le jeu de simulation [Duke *et al.*, 1981], intervient sur des aspects mobilisés lors de formations à la gestion de crise, à savoir : des modèles, des scénarios, des évènements inattendus, des processus temporisés, des rôles, des procédures, des décisions, des résultats, des indicateurs, des symboles et des matériels dédiés.

Ce type de jeux sérieux peut prendre la forme de simulateurs à vocation pédagogique pour l'acquisition de compétences techniques et non-techniques, de connaissances, d'automatismes et de méthodes de réflexion [Crampes *et al.*, 1999]. Ils sont néanmoins utilisés à des fins démonstratives, d'auto-formation, d'auto-évaluation, ou de travail collaboratif : il s'agit dans tous les cas d'apprentissage par la découverte et par l'action [Pernin, 1996 ; Joab *et al.*, 2006 ; Labat *et al*., 2006].

Trois modes existent et déterminent quelle sera la dominante de la simulation [Crampes *et al.*, 1999] : la position d'indépendance, la position de concurrence et la position de coopération. Cette dernière offre l'opportunité aux apprenants de travailler ensemble dans le but de développer leur capacité à aboutir à un consensus dans la prise de décision. Ces outils tolèrent à la fois un fonctionnement en temps réel comme simulé [Crampes *et al.*, 1998] afin de simplifier ou de mettre en évidence des phénomènes ou des caractéristiques du système lorsque ces écarts sont justifiés d'un point de vue pédagogique [Cortes Buitrago, 1999 ; Crampes *et al.*, 1999 ; Joab *et al.*, 2006]. La propension de l'être humain à accorder une grande importance à l'aspect visuel des choses [Rohrer, 2000 ; Morin *et al.*, 2004], doit inciter les concepteurs d'un environnement interactif à y intégrer des supports permettant aux apprenants de maîtriser le contenu simulé dans toute sa dynamique et toute son ampleur. Ceci peut par exemple passer par l'utilisation de cartographies, de statistiques synthétiques, ou de représentations – 2D comme 3D – permettant d'évaluer l'impact de ce qui a été planifié.

Chapitre 6 : Comment améliorer le réalisme des simulations et l'implication des participants ?

« Les images du virtuel doivent nous aider à révéler la réalité du virtuel, qui est d'ordre intelligible, et d'une intelligibilité proportionnée à la fin poursuivie, théorique ou pratique, utilitaire ou contemplative. »

Philippe Quéau, *Le virtuel : vertus et vertiges*, 1993.

6.1. Les environnements virtuels comme simulateurs pédagogiques réalistes

6.2. Le virtuel comme représentation commune d'une situation

6.3. Comparaison des concepts de réalité et de simulation virtuelle

6.4. Les systèmes multi-agents comme outils de simulation du monde réel

De plus en plus de chercheurs en sciences de l'éducation affirment que les technologies du virtuel constituent un apport important pour l'enseignement et la formation [Mellet d'Huart, 2001]. Les disciplines pour lesquelles l'usage d'outils de simulation permet une aide à l'apprentissage sont nombreuses et variées. Peuvent être cités en exemples les pratiques médicales, le maniement d'engins ou encore l'algorithmique.

6.1. Les environnements virtuels comme simulateurs pédagogiques réalistes

6.1.1. Définition

Les environnements virtuels sont utilisés à des fins diverses, dont la démonstration, la conception, la formation et l'apprentissage, ou encore la recherche [Mellet d'Huart, 2001 ; Burkhardt, 2003]. Comme la formation à la gestion de crise nécessite le recours à la mise en situation et aux cas pratiques, l'utilisation d'environnements virtuels s'avère théoriquement appropriée pour atteindre ces objectifs en permettant alors l'acquisition de savoirs et de savoir-faire, qu'ils soient sensori-moteurs ou cognitifs. Il existe de plusieurs définitions classiques du concept d'environnement virtuel :

- Pour Eddings, c'est le « *résultat de l'utilisation d'un ordinateur et d'autres matériaux pour générer une simulation du monde réel* » [Eddings, 1994].
- Selon Latta, il s'agit d'une « *forme avancée d'interface homme-machine qui simule un environnement réaliste et permet à son utilisateur d'interagir avec lui* » [Latta, 1994].
- Enfin, pour Earnshaw, il est question d' « *un monde tridimensionnel généré par un ordinateur qui reproduit de façon exact un environnement réel* » [Earnshaw, 1994].

Une définition unifiée peut alors proposée afin de considérer un environnement virtuel comme un environnement interactif, construit par ordinateur, en vue de simuler de manière réaliste le monde réel. Cette réalité peut être représentée de façon tridimensionnelle pour plonger l'utilisateur en immersion dans l'environnement simulé.

6.1.2. Conception

Les approches de conception diffèrent selon la finalité retenue. Une typologie distingue l'approche technologique de l'approche éducative [Burkhardt, 2003]. La première a pour objectif de permettre aux utilisateurs de contrôler de façon interactive les paramètres d'un monde virtuel. Lorsqu'ils sont conçus pour une utilisation pédagogique, les environnements virtuels de formation sont destinés à être utilisés par le ou les apprenants en vue de créer une interaction didactique, ou par le formateur comme support d'animation [Burkhardt, 2003]. Lorsque les aspects technologiques visant le réalisme sont privilégiés au cours de la conception de l'environnement virtuel, l'idée sous-jacente est le fait que le monde réel est l'environnement le plus efficace pour l'apprentissage [Burkhardt, 2003]. Son niveau de fidélité doit alors être défini en fonction des aspects pédagogiques de l'utilisation de l'environnement virtuel [Crampes *et al.*, 1998 ; Lourdeaux *et al.*, 2002].

A l'inverse de la formation classique qui n'est pas toujours adaptée à la réalisation d'objectifs pédagogiques, les environnements virtuels de formation présentent des avantages en termes de performances. Ce sont des outils efficaces du point de vue de la formation à des compétences complexes pour plusieurs raisons. En effet, ils mettent en œuvre l'action de l'apprenant plutôt que l'explication, créent une motivation et une satisfaction personnelle, permettent la combinaison de plusieurs types d'apprentissages et de plusieurs compétences, renforcent l'acquisition de compétences et favorisent l'immersion dans une situation interactive de prise de décision [Kebritchi *et al.*, 2008]. Le courant théorique de l'apprentissage sollicité par le recours aux environnements virtuels de formation est ainsi constructiviste [Mellet d'Huart, 2001]. De nombreux auteurs insistent sur l'importance de la prise en compte des travaux menés sur la théorie de la formation lors de la conception des outils [Gredler, 1992 ; Beroggi *et al.*, 1995 ; Mellet d'Huart, 2001 ; Kebritchi *et al.*, 2008]. Alors que la formation conventionnelle est centrée sur le formateur, la formation réalisée grâce à des moyens d'outils de simulation est centrée sur le formé, ce qui favorise l'apprentissage [Sniezek *et al.*, 2001]. De plus, en tant qu'outils de formation, les environnements virtuels apparaissent comme des émulations de situations de travail, à moindre risque et avec des arrêts sur image permettant l'analyse [Stern, 1997 ; Perrenoud, 1999]. Les exercices en environnement virtuel permettent enfin de recréer le stress inhérent à la gestion de crise et ainsi de s'entrainer les participants à la réalisation de missions dans des conditions proches du réel [Lourdeaux, 2001]. Cette mise en situation est génératrice d'apprentissages de type « être » et « savoir-être ». Lourdeaux confirme d'ailleurs cette aptitude des environnements virtuels de formation compléter l'approche constructiviste qui travaille déjà les composantes de « savoir » et « savoir-faire » [Lourdeaux, 2001]. La simulation peut créer un niveau de stress important à travers des interfaces multimédias, des contraintes temporelles, des surabondances d'informations, tout comme des représentations visuelles des conséquences les plus critiques [Sniezek *et al.*, 2001].

6.2. Le virtuel comme représentation commune d'une situation

De nombreuses dénominations se rapportant aux mondes virtuels ont vu le jour depuis l'avènement des nouvelles performances informatiques. Des réalités artificielles aux environnements synthétiques multi-sensoriels en passant par les cyberspaces, les appellations sont nombreuses pour désigner l'un des développements majeurs de l'infographie depuis ces vingt dernières années. Or, l'implication du virtuel dans notre quotidien ou nos organisations pour produire de nouveaux flux informatifs inquiète souvent car elle semble avoir pour potentielle conséquence de déconstruire notre propre vision du monde par une immersion inadéquate [Quéau, 1986]. La question fondamentalement introduite par les techniques du virtuel est celle du niveau de représentation utilisé, c'est-à-dire du degré de réalisme de l'information transmise. C'est dans ce contexte que des différences majeures peuvent être constatées entre les différents types de représentations virtuelles. Celles-ci peuvent être définies comme *« des dispositifs permettant la virtualisation puis l'actualisation d'un univers construit au sein d'un espace-temps particulier, inspirés ou non par la réalité, et issus par des savoirs ou par l'imaginaire »* [Mellet d'Huart, 2001].

Querrec présente la genèse des représentations virtuelles notamment par les travaux de Burdea et Coiffet [Querrec, 2002]. Historiquement, la discipline du virtuel intègre l'ensemble des techniques de rendu,

d'interaction et d'immersion. Les premières définitions et taxonomies datent des années 1990. La première définition de la communauté française introduit alors les trois concepts suivants :

- L'interaction : l'utilisateur évolue dans l'environnement virtuel, lequel doit réagir en temps réel aux actions de l'utilisateur,
- L'immersion : l'environnement est représenté de manière réaliste, ce qui crée une sensation d'immersion chez l'utilisateur,
- L'imagination : par l'appropriation que l'utilisateur réalise de l'environnement virtuel.

Ces concepts se traduisent dans les modes d'interaction entre un utilisateur et un outil de représentation virtuelle par quatre canaux de perception [Burkhardt, 2003] : la position dans l'espace et le mouvement, la visualisation, le retour cutané et proprioceptif, et enfin l'interprétation sonore. L'interaction principale passant par la vision, sens dominant de la perception humaine [Mellet d'Huart, 2001], la navigation cherche prioritairement à se rapprocher des mécanismes naturels d'appréhension du monde dans les systèmes de représentation virtuelle [Beroggi *et al.*, 1995 ; Mellet d'Huart, 2001]. Par là même, selon les contextes d'utilisation et en fonction des objectifs pédagogiques, des techniques plus ou moins sophistiquées telles que la réalité virtuelle, ou la simulation virtuelle peuvent être utilisées [Pernin, 1996].

6.2.1. L'implication de participants par la réalité virtuelle

Les représentations basées sur la réalité virtuelle sont constituées des *« images qui, loin d'être virtuelles, sont des images dites de synthèse. Produites par un ordinateur, elles reproduisent une réalité du monde physique ou mental »* [Rodin *et al.*, 1998]. Issues d'une réalité matérielle ou abstraite perceptible, la réalité virtuelle utilise en effet des objets dont l'illusion de réalisme est assurée par la qualité du rendu visuel. Ce type d'environnement apparaît ainsi comme un univers de modèles situé à l'interconnexion entre les trois composantes humaine du réel, à savoir : la médiation des sens, de l'action et de l'esprit. Cette conception systémique de la réalité virtuelle regroupe de ce fait l'animation temps réel, la simulation interactive et la modélisation de phénomènes au sens large. Autrement dit, la réalité virtuelle regroupe l'ensemble des méthodes et des outils permettant, par immersion multi-sensorielle, de percevoir en temps réel, d'expérimenter de manière interactive et de modifier de façon individuelle ou coopérative une situation donnée [Reignier *et al.*, 1998]. La dimension immersive implique ainsi que l'utilisateur soit plongé au cœur de la réalité virtuelle. Les communautés de la réalité virtuelle ont tendance à définir l'immersion dans un environnement virtuel à travers les outils d'interaction visuelle, sonore ou haptique. Il est aussi possible de considérer celle de Sniezek qui l'envisage de façon plus globale comme la capacité à restituer, via les interfaces appropriées, l'environnement de la gestion de crise [Sniezek *et al.*, 2001]. Bien que peu formelle et mal définie dans le contexte de la réalité virtuelle, la notion de réalisme est souvent retenue pour qualifier l'environnement simulé. Principalement deux façons de définir la notion de réalisme cohabitent [Crampes *et al.*, 1999 ; Burkhardt, 2003] : la première fait référence à une identité métrique entre le réel et le virtuel, tandis que la seconde considère la perception subjective – principalement visuelle – des utilisateurs. La notion de fidélité permet alors de préciser comment est observé le réalisme. En effet, la fidélité peut être perceptive, relative à des propriétés physiques ou fonctionnelles du système simulé, ou à son évolution

dynamique [Crampes *et al.*, 1999 ; Burkhardt, 2003]. L'aspect subjectif de la notion de perception implique qu'il n'existe pas de relation directe reliant les niveaux de fidélité et de performance d'un environnement virtuel, ni même sa validité psychologique [Burkhardt, 2003]. En d'autres termes, la fidélité intrinsèque n'implique pas systématiquement de fidélité psychologique. Or, lorsque la destination de l'environnement virtuel est la formation, plus le simulateur reproduit le processus psychologique de la situation de travail de l'utilisateur, plus la formation est efficace [Sniezek *et al.*, 2001].

6.2.2. L'implication de participants par la simulation virtuelle

Dans les simulations virtuelles, les images utilisées sont essentiellement numériques et issues de modèles (mathématiques, physiques, etc.). Il ne s'agit pas à proprement parler de représentations de la réalité mais plutôt de simulations d'une situation [Quéau, 1986]. Les images tridimensionnelles virtuelles ne sont en effet pas des simulations analogiques d'une réalité existante mais constituent des simulations numériques de réalités nouvelles. Quéau rappelle aux les concepteurs que ce type de représentations, qu'il soit appliqué au monde du jeu vidéo ou dans un contexte de simulation, n'a pas nécessairement besoin d'être caractérisé par une représentation hyperréaliste. En effet, la seule contrainte à respecter est la nécessité pour celui qui est confronté à cette réalité simulée de pouvoir percevoir et interpréter correctement les éléments factuels et les données virtuelles. Ainsi, le facteur de réalisme d'un monde virtuel *« relève d'une préoccupation uniquement esthétique, indépendamment de l'univers simulé »* [Quéau, 1986]. L'utilisateur de la simulation virtuelle est ainsi considéré comme participant et interagissant avec le système, sans pour autant y être totalement immergé.

C'est pourquoi, il peut être considéré que ce type de représentations constitue des environnements semi-virtuels puisque n'intégrant pas une dimension immersive aussi forte que la réalité virtuelle. Par ailleurs, autant le degré de réalisme n'impacte pas la cohérence d'un environnement semi-virtuel, autant la question de la vraisemblance des évènements qui s'y produisent reste entière. En effet, la destination d'un environnement semi-virtuel détermine nécessairement les caractéristiques des simulations réalisées et notamment leur niveau de réalisme. Dans un contexte de formation à la gestion de crise, il apparaît alors que s'attacher à l'exactitude et à la véracité d'une simulation virtuelle constituerait un garant de la crédibilité des informations mises à disposition ainsi qu'une opportunité d'atteindre des objectifs pédagogiques devant être clairement identifiés comme étant en adéquation avec la réalité des décideurs.

6.3. Comparaison des concepts de réalité et de simulation virtuelles

Dans le contexte de la formation à la gestion de crise et par rapport aux outils classiques de formation basés sur des mises en situation en environnement réel, les avantages du virtuel varient selon qu'il s'agisse de réalité ou de simulation virtuelle. Or, cette distinction impacte non seulement la structuration des exercices de formation, mais aussi les objectifs pédagogiques réalisables, sans oublier l'architecture globale du système conçu.

Via la réalité virtuelle, les participants à une session de formation peuvent acquérir une représentation mentale d'une situation réelle mais déportée [Beroggi *et al.*, 1995 ; Ikeda *et al.*, 1998 ; Mellet d'Huart, 2001]. En effet, cette technique offre la potentialité de construire de meilleures représentations mentales d'une situation réelle grâce à des changements de points de vue ou d'échelle [Beroggi *et al.*, 1995 ; Lourdeaux, 2001 ; Mellet d'Huart, 2001], tant concernant le temps que l'espace. La représentation virtuelle peut être en phase avec la situation réelle, déphasée, proportionnelle ou en distorsion, tant que cette dernière n'entraine pas de ralentissements [Beroggi *et al.*, 1995 ; Mellet d'Huart, 2001]. Mais, d'un point de vue temporel, le simulateur peut fonctionner en pseudo temps réel, c'est-à-dire que la représentation du temps respecte les échelles de temps, tout en étant accélérée [Joab *et al.*, 2000]. La réalité virtuelle est ainsi appropriée pour représenter des systèmes complexes, en particulier lorsqu'un ensemble de vues statiques (des photographies par exemple) ne permettent pas de comprendre les phénomènes mis en jeu. Elle permet alors une consultation interactive du phénomène par une infinité de vues et donc une meilleure compréhension de la situation [Querrec, 2002]. De plus, de nombreux experts en socio-psychologie ont montré que la corrélation entre les représentations mentales des humains et la métrologie du monde physique n'est pas parfaite [Burkhardt, 2003], mais qu'elles peuvent varier en fonction de facteurs comme le niveau d'expertise ou la tâche à réaliser. Aussi, deux des objectifs de la formation à la gestion de crise peuvent être atteints grâce à la réalité virtuelle : amener les utilisateurs à avoir une représentation mentale commune de la situation sur le terrain, et matérialiser les conséquences d'un phénomène ou d'une décision. Pour parvenir à ces objectifs, les représentations mentales qui peuvent être utilisées en conception d'environnements virtuels sont généralement de trois sortes : le schème habituel, le schème transposé ou la métaphore. La première solution propose une correspondance ergonomique optimale entre le dispositif d'interaction et le geste habituel de l'utilisateur. Le schème transposé est une variante moins immersive puisque la manipulation d'objets peut être déléguée à un outil (souris, joystick, etc.) qui n'est pas celui qui est utilisé dans la réalité. La métaphore exploite quant à elle des représentations abstraites de l'action, qui doivent néanmoins permettre à l'utilisateur de faire des correspondances entre la métaphore (une image tridimensionnelle comme le montre par exemple la figure 9) et ce à quoi elle se rapporte [Lourdeaux, 2001].

Figure 9 : exemple de métaphore inspirée d'un cas réel.

La question de l'immersion est enfin cruciale pour la réalité virtuelle, dans laquelle l'utilisateur est pleinement acteur. Ses actions, ses choix ou ses décisions constituent des moteurs directs pilotant l'évolution

de l'environnement virtuel. Ce type de représentation apparaît donc plus adapté aux opérateurs habituellement confrontés à la réalité opérationnelle du terrain.

Les avantages des simulations virtuelles pour la formation sont quant à eux nombreux. Tout comme la réalité virtuelle, la simulation permet de former en faisant abstraction des risques de la situation, en utilisant ses capacités de reproductibilité, et ceci à moindre coût [De Vries *et al.*, 2006 ; Joab *et al.*, 2006]. Il est ensuite possible de conserver la maîtrise temporelle de la situation d'apprentissage, puisque la simulation permet de travailler aussi bien en temps réel, qu'en temps accéléré mais aussi compressé. En outre, la sanction liée à une erreur du formé sera totalement détachée d'une quelconque réalité en termes de conséquences, ce qui autorise le recours à cette solution pour la réalisation de mises en situation dans des scénarios impossibles à reproduire dans la réalité ou qui ne se sont jamais encore produits [Lourdeaux, 2001 ; Burkhardt, 2003 ; De Vries *et al.*, 2006]. A l'instar de la réalité virtuelle, le recours aux simulations virtuelles permet également de rejouer des séquences pédagogiques, d'enregistrer des données du déroulement de l'exercice ou de réaliser une pause. En revanche, les simulations autorisent plus facilement la réversibilité des actions [Burkhardt, 2003] conférant de ce fait à l'environnement un aspect didactique fort. De par la moindre implication des utilisateurs, la simulation virtuelle permet de répéter un scénario autant de fois que nécessaire, d'intervenir sur la cinétique de l'évènement, l'occurrence d'évènements particuliers, d'ajouter des contraintes de personnels, de ressources ou concernant l'évolution du scénario d'accident. Cependant, tout comme les autres méthodes, la simulation ne permet pas de balayer de façon exhaustive l'ensemble des situations d'accidents que seule la réalité peut engendrer [Bruinsma *et al.*, 2006]. Les outils de simulation peuvent néanmoins reproduire un grand nombre de scénarios, en dispensant de la mobilisation de tous les acteurs, de perturbation de la population, et cela tout en réduisant considérablement les contraintes de mise en œuvre. C'est pourquoi, ce type de représentation semble plus adapté au besoin de personnes dont le métier nécessite de réaliser des tâches de supervision, ou des actions de gestion stratégique.

La comparaison des deux types de représentation virtuelle ont permis de retenir la simulation virtuelle comme un bon compromis entre le degré d'immersion requis et le réalisme nécessaire à l'environnement simulé. Ce choix a nécessité de caractériser un type particulier de plateforme : les environnements semi-virtuels. Nous définissons dès lors un environnement semi-virtuel de formation comme un espace physique au sein duquel un groupe de participants est immergé dans le but d'acquérir des savoirs, des savoir-faire et des savoir-être. Le besoin de simuler un ensemble d'évènements didactiques confère ainsi à l'environnement semi-virtuel un rôle de modélisation et de virtualisation partielle du monde réel.

6.4. Les systèmes multi-agents comme outils de simulation du monde réel

Les progrès fait par la technologie permettent d'améliorer la qualité des formations dispensées. Il est par exemple possible de citer l'aide proposée aux observateurs en termes de prise de note structurée, d'assistance à l'observation en fonction des différents scénarios ainsi que la possibilité de réaliser un débriefing structuré compte tenu des remarques [Schaafstal *et al.*, 2000]. Mais de nouvelles techniques donnent également la possibilité de créer des entités autonomes qui peuvent soit simuler des membres de l'équipe d'animation absents soit modifier et contrôler de façon dynamique le scénario : les systèmes dits multi-agents. Il s'agit en

effet de systèmes experts hébergeant des entités informatiques conçues pour répondre aux problématiques de la simulation : l'adaptation à la réalité, la résolution de problèmes complexes, la modularité, l'efficacité, la fiabilité, la réutilisation et enfin la possibilité de simulation à grande échelle. Un système expert est un outil capable de reproduire le raisonnement humain au moyen d'une base de connaissances, d'un ensemble de règles et d'un moteur d'inférences [Shanteau, 1987]. Classiquement, les systèmes multi-agents sont recommandés lorsque l'environnement à modéliser est ouvert ou très dynamique, incertain ou complexe, si les agents sont une métaphore naturelle pour modéliser les comportements attendus, si les données sont distribuées, ou si les systèmes avec lesquels l'utilisateur doit interagir sont anciens et doivent s'intégrer de façon flexible [Wooldridge, 2002]. Pour un système et des scénarios simples, dans lesquels l'utilisateur pourrait accomplir un nombre limité d'actions, il serait possible de simuler des entités apparemment intelligentes, par exemple par une énumération explicite des différentes façons dont elles peuvent évoluer. Cette solution n'est en revanche pas adaptée à une équipe importante et un environnement de simulation dans lequel les acteurs ont de multiples objectifs, plusieurs façons d'atteindre ces derniers et dans lequel les évolutions ne sont pas seulement dues à leurs actions [Remolina *et al.*, 2005]. A l'inverse de la programmation distribuée qui ne peut répondre à ces problématiques, les Systèmes Multi-Agents (SMA) permettent quant à eux de modéliser des systèmes complexes en définissant des sous-parties qui interagissent [Briot *et al.*, 2001]. S'agissant de systèmes distribués, la combinatoire de toutes les interactions possibles permet de simuler des situations extrêmement variées, comme des comportements humains (connaissance, raisonnement, communication et langage) [Bousquet *et al.*, 1998]. Il semble ainsi possible de tendre vers une modélisation réaliste des acteurs (services de secours, population, etc.) impliqués lors d'une crise.

6.4.1. Définition des Systèmes Multi-Agents

Informatiquement, les SMA sont une évolution de la programmation orientée objet [Le Bars, 2003]. Structurellement, un objet est une entité informatique regroupant des propriétés et des méthodes (fonctions ou procédures). La différence majeure entre objets et agents réside dans le fait que les agents sont dotés de comportements autonomes [Le Bars, 2003] activés automatiquement lors de la perception de certains messages activateurs. A la différence d'un objet, un agent dépend d'une architecture directement compatible avec l'ajout simplifié de comportements (cf. figure 10) dont l'ordonnancement n'est pas préétabli, mais dépend de l'ordre dans lequel les éventuels messages sont reçus [Briot *et al.*, 2002].

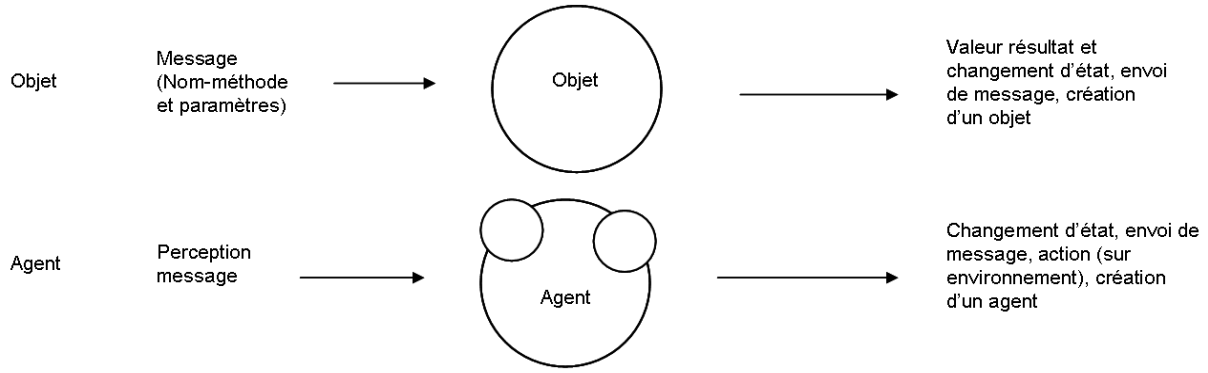


Figure 10 : différences entre objets et agents.

Ainsi, les SMA sont utilisés dans de nombreuses disciplines afin de résoudre des problèmes complexes en les divisant puis en distribuant les sous-problèmes générés [Bousquet *et al.*, 1998]. Des travaux ont été menés sur la conception de SMA pour des applications destinés à l'économie [Derveeuw, 2008], aux sciences environnementales [Bousquet *et al.*, 1998 ; Le Bars, 2003], à la simulation de trafic aérien [Devooght, 2007] à la simulation de comportements collectifs et à la résolution de problèmes [Bellamine *et al.*, 2003 ; Drogoul, 1993 ; Brandolese *et al.*, 2000 ; Querrec, 2002] ou encore aux problématiques de d'aide à la décision [Ferber, 1995 ; Le Bars, 2003]. Les avantages des SMA résident dans leur capacité à simuler un système de façon dynamique, souple et distribuée, avec un nombre d'agents important [Brandolese *et al.*, 2000]. En effet, la modélisation par agents permet la simulation globale d'un système grâce à ses interactions naturelles : chaque comportement émerge des influences locales entre agents. Les principales interactions pouvant être implémentées sont la coordination, la négociation ou la coopération. De plus, les langages orientés objets autorisent une programmation évolutive des agents car les comportements peuvent être implémentés par modules ce qui autorise les modifications sans devoir restructurer l'ensemble du système développé [Le Bars, 2003].

6.4.2. L'environnement

Parmi les différentes définitions des Systèmes Multi-Agents, celle de Ferber définit l'élément principal de la plateforme (cf. figure 11, page suivante) comme étant l'environnement.

En effet, le système est composé [Ferber, 1995] :

- *« D'un Environnement E, c'est-à-dire un espace disposant d'une métrique.*
- *D'un ensemble d'objets O. Ces objets sont situés, c'est-à-dire qu'il est possible d'associer à tout moment et pour tout objet une position dans E. Ces objets sont passifs, c'est à dire qu'ils peuvent être perçus, créés, détruits et modifiés par les agents.*
- *D'un ensemble A d'agents qui sont des objets particuliers, lesquels représentent les entités actives du système.*
- *D'un ensemble de relations R qui unissent des objets (et donc des agents) entre eux.*
- *D'un ensemble d'opérations Op permettant aux agents A de percevoir, produire, consommer, transformer et manipuler des objets de O.*
- *Des opérateurs chargés de représenter l'application de ces opérations et la réaction du monde à cette tentative de modification, appelées les lois de l'Univers. »*

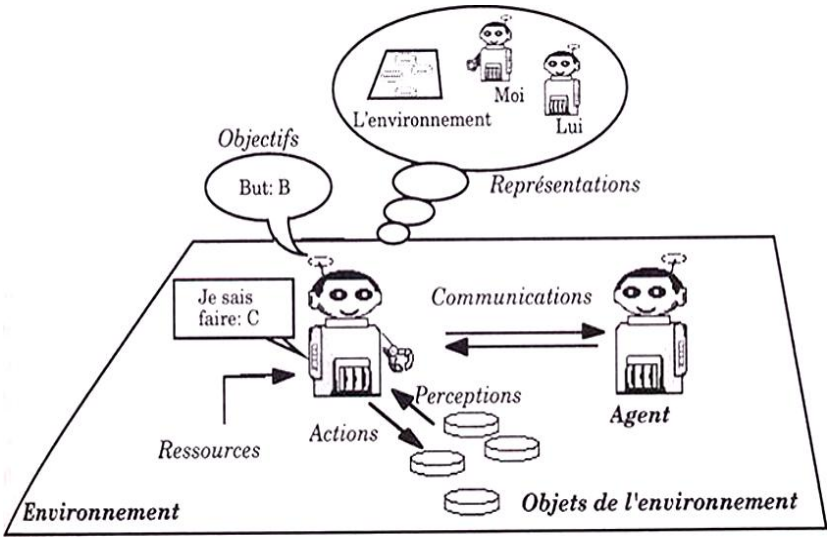


Figure 11 : illustration des interactions d'un agent avec son environnement.

L'environnement héberge de ce fait les agents et borne leur évolution au moyen de règles génériques définissant entre autres les protocoles de communication et les services auxquels tous peuvent accéder. Il est à chaque instant dans un état qui évolue de façon spontanée ou en réponse à des actions des agents. Une typologie des caractéristiques des environnements multi-agents peut être proposée [Florea *et al.*, 2002], selon qu'ils sont :

- Observables ou non : dans un environnement observable un agent peut obtenir de l'information complète, précise et à jour sur l'état de l'environnement,
- Déterministes ou non : dans un environnement déterministe, une action a un effet unique garanti,
- Statiques ou dynamiques : un environnement statique ne change que sous l'effet des actions d'un agent. Dans le cas contraire il est dit dynamique, c'est à dire que les agents ne contrôlent pas entièrement la manière dont l'environnement change,
- Discrets ou continus : un environnement est discret si il y a un nombre fini d'actions bien définies.

Dans le contexte de la simulation de situations d'urgence, le nombre d'acteurs est important. En effet, les entités à modéliser vont des éventuelles victimes directes de l'accident aux habitants de la zone concernée, en passant par les multiples institutions qui interviennent pour faire face à l'évènement, telles que les sapeurs-pompiers, les forces de l'ordre, les moyens médicaux, les autorités ou encore les associations. De plus, les comportements et les objectifs des acteurs sont très hétérogènes dans la mesure où chaque institution a des compétences et des missions qui lui sont propres. Enfin, même si la chaîne de commandement a une structure globale hiérarchique, elle préserve un certain degré d'autonomie entre acteurs d'un même échelon. Or, les aspects relatifs au nombre d'acteurs, à leur autonomie et au caractère social de leurs interactions justifient le choix de l'approche SMA pour la simulation d'un tel système [Le Bars, 2003]. En effet, la simulation multi-agents permet la cohabitation de comportements individuels et sociaux, et elle est adaptée aux systèmes complexes [Ferber, 1995 ; Le Bars, 2003]. Il est ainsi important et nécessaire de qualifier l'environnement dans lequel vont évoluer les agents afin de pouvoir choisir

l'architecture adéquate de ces derniers. En effet, la complexité d'un SMA dépend de l'environnement simulé, lequel est plus complexe s'il est aveugle (*i.e.* non-observable), incertain (*i.e.* non-déterministe ou probabiliste), ou ouvert (*i.e.* dynamique et continu) [Florea *et al.*, 2002]. Cette complexité découle donc directement de l'interaction entre les agents et l'environnement.

6.4.3. Les comportements des agents

Selon Weiss, *« un agent est une entité caractérisée par le fait qu'elle est, au moins partiellement, autonome. Ce peut-être un processus, un robot, un être humain, etc. »* [Weiss, 1999]. Pour Ferber, un agent est une élément physique ou virtuel qui est capable d'agir ou de réagir dans un environnement, qui peut communiquer directement avec d'autres agents, qui est mue par un ensemble de tendances (sous la forme d'objectifs individuels ou d'une fonction de satisfaction, voire de survie, qu'elle cherche à optimiser), possède des ressources propres et est capable de percevoir de manière plus ou moins limitée son environnement, qui possède des compétences et offre des services, et enfin qui peut éventuellement se reproduire [Ferber, 1995].

Un agent a donc un comportement global qui tend à *« satisfaire ses objectifs, en tenant compte des ressources et des compétences dont il dispose, le tout en fonction de sa perception, de ses représentations et des stimuli qu'il reçoit »* [Ferber, 1995]. Plus précisément, les caractéristiques suivantes peuvent être explicitées comme étant incontournables pour les agents afin de participer de façon réaliste à une simulation :

- Autonomie : agir sans intervention externe,
- Interaction et collaboration : communiquer et délibérer avec d'autres agents,
- Proactivité : s'inscrire dans une démarche tangible et poursuivre une finalité,
- Coopération : se coordonner avec d'autres agents pour atteindre un objectif commun,
- Mobilité : être capable de se déplacer vers un autre environnement,
- Rationalité : pouvoir agir en fonction de ses objectifs internes et de ses connaissances,
- Intelligence : rendre appréhendable son raisonnement par l'explicitation de ses croyances, objectifs, plans et hypothèses.

De manière analogue, pour qu'ils soient des coéquipiers idéaux, voici les caractéristiques qui doivent être conservées [Schaafstal *et al.*, 2000] :

- Effectuer les tâches comme une personne physique de l'équipe,
- Interagir et communiquer avec les autres membres,
- Etre flexibles et intelligents face à un scénario changeant,
- Interagir à la fois avec les humains et les autres agents virtuels,
- Se comporter comme un coéquipier crédible, un instructeur, un coach ou une combinaison de ceux-ci,
- Démontrer à la fois des compétences pour réaliser ses tâches ainsi que celles inhérentes à l'équipe,
- Analyser les performances des participants et permettre un feedback,

- Donner des opportunités pour l'entraînement et la pratique selon les objectifs fixés.

D'un point de vue du vocabulaire, un agent peut d'autre part percevoir son environnement au moyen de senseurs et peut agir sur son environnement grâce à des actuateurs. En effet, tout agent aussi complexe soit-il est à la base un système réactif en interaction constante avec son environnement. Ce processus est continu dans le sens où la chaîne « perception – interaction » est en réalité une boucle permettant à toute interaction d'être perçue pour initier ensuite un nouveau cycle comportemental.

Enfin, les mécanismes permettant aux agents de communiquer en vue d'atteindre leurs objectifs peuvent soit être mis en œuvre par coopération, soit par collaboration. En effet, il est généralement admis qu'une nette distinction existe entre ces deux éventualités. En théorie, toute opération doit au préalable être élaborée avant d'être exécutée. En pratique, l'action de coopérer – littéralement « *effectuer une même opération ensemble* » – induit implicitement l'action de collaborer qui est le fait « *d'élaborer ensemble une même action* » [Sibertin-Blanc, 2001].

Le concept de coopération se compose alors d'une première phase de collaboration suivie d'une étape de coordination des actions, se terminant par une éventuelle résolution de conflits. Une fois détaillée, la stratégie coopérative démontre qu'elle est intimement liée à une caractéristique anthropomorphique[18] de l'approche agent qui tend à intégrer le fait que deux agents ayant des ressources mutualisables peuvent pourtant entrer en conflit d'intérêts si leurs objectifs sont antithétiques, ou du moins contradictoires. Parallèlement, aucune idée de transaction ou de négociation ne transparaît dans la stratégie collaborative qui nécessite uniquement un partage des connaissances respectives des agents sur leur environnement, ce savoir étant factuel et détaché des intentions propres aux agents.

6.4.4. Une typologie des automates

Il existe un grand nombre de typologies d'agents définissant en substance les automates possibles, c'est-à-dire le contenu et la façon dont leurs comportements s'activent. Les possibilités d'architecture interne pour les agents sont classiquement les suivantes [Ferber, 1995] :

- Les agents basés sur la logique, liés à des inférences réalisées à partir de faits observés sur la base d'une théorie logique,
- Les agents réactifs, de type machines à état,
- Les agents basés sur le modèle *Belief-Desire-Intention* (BDI) qui capture bien la dimension proactive de l'agent,
- L'architecture en couche, qui repose sur un ensemble de filtres capturant puis traitant les messages perçus afin d'activer uniquement la strate logicielle concernée (cognitive, réflexe, etc.).

[18] Terme entendu ici comme une tendance à concevoir les agents à l'image des hommes, et à leur prêter ainsi des caractéristiques et des comportements humains.

En particulier, l'architecture BDI est un bon candidat pour modéliser le comportement d'un agent intelligent car elle s'appuie non seulement sur une théorie connue et appréciée de l'action rationnelle des humains, mais elle est aussi formalisée dans une logique symbolique formelle et rigoureuse, sans oublier qu'elle a été implémentée et utilisée avec succès dans beaucoup d'applications [Bratman, 1987]. En détail, ce modèle combine trois composants distincts dont le premier est de nature philosophique. Le modèle BDI se base sur une théorie largement respectée du comportement de l'être humain et développée par Bratman. Le second composant est applicatif car le modèle permet une implémentation appliquée à un domaine d'étude sans nécessité d'adopter un cadre de développement inflexible : le modèle peut être réalisé de différentes manières et un certain nombre d'applications différentes ont été développées jusqu'à maintenant. Le troisième composant relève de la formalisation logique en facilitant la représentation des comportements des agents au moyen d'axiomes logiques.

Les croyances (believes) d'un agent sont des préceptes qu'il a sur son environnement au sens large (stimuli extérieurs, autres agents, etc.). Elles peuvent être erronées ou inappropriées, incomplètes ou incertaines et sont à ce titre détachées des connaissances de l'agent, lesquelles sont des données factuelles objectives. Les croyances sont susceptibles de varier dans le temps en fonction de la capacité de perception de l'agent ou des messages reçus d'autres agents. Les désirs (desires) d'un agent représentent quant à eux des objectifs vers lesquels l'agent va tendre : ce peut être un changement d'état de l'environnement ou de lui-même. Contrairement à ce que l'on pourrait penser, il est important de noter qu'un agent peut avoir des désirs contradictoires sans que cela constitue une erreur de conception du système. En effet, un agent doit choisir parmi ses désirs un sous-ensemble qui soit consistant, c'est-à-dire relativement stable et fixe. Ce sous-ensemble est parfois délimité comme décrivant les buts effectifs de l'agent. Les intentions d'un agent sont enfin les prémisses des actions qu'il a décidé d'entreprendre afin de satisfaire ses désirs. Bien que plusieurs désirs simultanés d'un agent puissent être consistants, l'agent peut pourtant ne pas être capable de les accomplir tous à la fois.

Néanmoins, il peut être intéressant de prendre en compte la typologie d'agents fondée sur le mode de prise de décision. Celle-ci distingue trois types d'agents : réactifs, cognitifs ou délibératifs, et hybrides. Pour Ferber, la distinction cognitif / réactif *« définit un axe pratique d'évaluation de la capacité des agents à accomplir individuellement des tâches complexes et à planifier leurs actions »* [Ferber, 1995]. Cette définition souligne l'absolue nécessité pour un agent d'être en présence d'autres agents dans son voisinage afin de lui permettre l'établissement d'interactions avec son environnement. En effet, que ce soit parce qu'un agent a une représentation biaisée de ce qui l'entoure ou encore parce que ses ressources propres sont insuffisantes pour atteindre ses objectifs, sans oublier le fait qu'il ne peut pas y avoir d'éléments constituant son environnement (extérieur à lui-même) s'il n'y a pas d'autres agents dans le système, il est incontournable de considérer non pas l'agent seul mais l'agent en tant que membre d'un groupe participant à la gestion tactique ou opérationnelle [Tahir, 2008]. Un agent agit ainsi pour le compte d'un tiers (un autre agent, un utilisateur, etc.) qu'il représente sans y être obligatoirement connecté, réagit et interagit avec d'autres agents.

Synthèse

Classiquement, les environnements virtuels se destinent à des fins soit technologiques soit éducatives [Mellet d'Huart, 2001 ; Burkhardt, 2003]. Dans une optique pédagogique, ils sont utilisés pour susciter des interactions didactiques, et comme support d'animation d'un exercice [Burkhardt, 2003]. En pratique, ils peuvent recréer le stress inhérent aux situations de gestion de crise et ainsi entrainer les participants à la réalisation de missions dans des conditions proches du réel [Lourdeaux, 2001]. Cette mise en situation est génératrice d'apprentissages de type « être », « savoir-être », « savoir » et « savoir-faire ». Ces objectifs peuvent être atteints au moyen d'interfaces multimédias, de contraintes temporelles, de surabondances d'informations (Critical Thinking Training), tout comme de représentations visuelles [Sniezek, Wilkins, *et al*., 2001]. L'aspect visuel étant le canal privilégié de l'être humain, ces dernières constituent des facteurs motivants d'implication personnelle et permettent la mobilisation de plusieurs compétences impliquées dans la prise de décision [Kebritchi *et al.*, 2008].

Le recours au virtuel pour produire de nouveaux flux informatifs pose néanmoins la question de ses conséquences dans une problématique qui tend précisément à reproduire les conditions réelles d'une situation d'urgence. Les représentations virtuelles sont définies par trois éléments interdépendants : l'immersion, l'imagination, et l'interaction, [Querrec, 2002]. Leur étude permet de valider leur adéquation théorique avec la dimension immersive, participative et proactive du participant qui est précisément recherchée lors d'un jeu de simulation. Deux techniques de représentation se distinguent : la réalité et la simulation virtuelles [Pernin, 1996]. L'analyse comparative de ces deux méthodes a permis de mettre en lumière que la simulation virtuelle était plus adaptée à la problématique étudiée car elle repose sur des métaphores réalistes de situations évolutives tenant compte des choix de l'apprenant, et sans être précontraintes par une réalité existante. Elle permet non seulement d'appréhender certaines situations didactiques au moyen de distorsions temporelles mais offre aussi la possibilité de rejouer ces séquences afin de remplacer le mécanisme éducatif de sanction par une possibilité de correction rétroactive des erreurs commises. Etant déconnectées d'une réalité existante, les simulations virtuelles nécessitent d'être alimentées en permanence par des informations recalculées par des modèles puis émulées par un système qui doit permettre la génération dynamique de scénarios. A ce titre le recours à un Système Multi-Agents semble pertinent [Wooldridge, 2002]. La conception d'un SMA passe par la définition de l'environnement système, des comportements attendus, et des agents [Sibertin-Blanc, 2001]. L'architecture BDI constitue à ce titre une première base de réflexion puisqu'elle est adaptée à la simulation de comportements humains comme de phénomènes accidentels [Bratman, 1987].

Conclusion

Une crise peut être considérée comme une situation qui confronte les organisations à des problèmes critiques, que les soumet sur une durée plus ou moins longue dans le stress et l'urgence de la décision, avec l'obligation de minimiser les conséquences possibles sur les enjeux sensibles. La gestion de crises majeures implique ainsi différents niveaux de réponse, distinguant les aspects stratégiques, tactiques, et opérationnels. Les membres d'une cellule stratégique de crise poursuivent ainsi un objectif commun, lequel demande de mobiliser des compétences variées, techniques et non-techniques, et qui participent au travail d'équipe. Or, l'étude des contraintes liées à la gestion stratégique de crise a permis de mettre en évidence la nécessité de recourir à la formation afin de maintenir un niveau d'entrainement constant des acteurs. L'état de l'art en matière de formation a montré que ce domaine était situé à la confluence de difficultés pédagogiques et technologiques classiquement rencontrées.

L'un des moyens identifiés afin d'améliorer les relations intergroupe est la mise en situation sous la forme d'un processus d'apprentissage continu allant de l'initiation à l'entrainement en passant par le perfectionnement. L'utilisation d'exercices fonctionnels confère aux formations l'avantage de renforcer l'importance de la prise de décision au sein d'un groupe. Cette catégorie d'exercices rassemble plusieurs types de formations, souvent appelées des jeux sérieux. La base de tous ces exercices reste la simulation d'un ou plusieurs évènements qui peuvent apparaître lors d'une catastrophe afin de mettre en lumière et de sensibiliser les participants aux concepts clefs mis en jeu.

A l'image d'une gestion de crise réelle, l'exercice de formation gagne à s'accompagner de situations dilemmatiques nécessitant une approche pédagogique basée sur la prise de décision naturaliste ou intuitive qui permet aux participants d'acquérir un certain nombre de modèles mnésiques qui peuvent ensuite être réactivés lorsqu'une situation semblable se représente (EBAT). La dimension de prise de décision en situation d'urgence peut quant à elle être intégrée au moyen de l'approche CTT (*Critical Thinking Training*) qui sensibilise à un aspect primordial de la gestion de crise : l'optimisation du ratio « temps de réaction / quantité d'information disponibles ».

D'un point de vue de l'ingénierie pédagogique pour la formation à la gestion de crise :

Il apparaît nécessaire de tenir compte de la nécessité que les réactions souhaitées des participants soient clairement définies en premier lieu. Dans les faits, cela impose une définition préalable des objectifs principaux, intermédiaires et spécifiques, et des évènements qui vont définir le cadre d'utilisation de l'outil. Avec l'approche EBAT, deux ou trois évènements sont créés pour chaque objectif d'apprentissage. Ceux-ci peuvent varier en terme de difficulté à chaque moment d'un exercice afin d'adapter la formation aux participants. En ce qui concerne l'évaluation, elle a lieu au cours de l'exercice : un observateur note, à l'aide d'une liste préalablement établie, les performances des personnes en fonction des évènements auxquels ils sont confrontés. Un débriefing est ensuite mené sur la base des comportements observés.

Il semble à ce titre pertinent que la stratégie et le contenu de chaque exercice dépendent du profil des apprenants. Les novices du domaine, par exemple, doivent apprendre à identifier les stratégies viables en fonction des phases de la crise [Lagadec, 2007] alors que les professionnels, au contraire, mettent plus en avant le besoin de travailler sur les relations interindividuelles au sein de la cellule. C'est pourquoi, la stratégie pédagogique doit être établie en tenant compte du type de participant (néophyte, initié, expert), tout comme s'accompagner d'objectifs différents (initier, perfectionner, entraîner) et être enfin évalués de manière distincte. A ce titre, la méthodologie proposée va s'attacher à couvrir non seulement la phase d'entrainement répondant aux besoins des décideurs, mais aussi les phases d'initiation et de perfectionnement dans la mesure où celles-ci correspondent aux moments où la vitesse d'apprentissage individuel et collectif est la optimale [Liu *et al.*, 2004].

Par là même, il est noté que la notion de stress, de gestion des ressources et du temps sont les trois principales contraintes susceptibles de pouvoir gêner le processus de prise de décision. Partant du principe qu'une catastrophe imputable à l'Homme est par exemple plus difficile à gérer de par l'implication émotionnelle induite, la détermination d'un scénario doit à la fois tenir compte des objectifs pédagogiques identifiés mais aussi contribuer à un contexte motivant pour la cellule de crise. Plus précisément, l'instinct de coopération au sein d'un groupe d'individus est activé et renforcé lorsqu'un problème ou une difficulté commune est clairement perçue et qu'il existe au moins une issue identifiée par un nombre significatif de membres de ce groupe. Il en est déduit que tout stimulus ne doit être induit que s'il peut s'accompagner d'une solution réalisable et que la cohésion du groupe doit être maintenue par une série de stimuli (récurrents ou déclenchés au besoin).

Parallèlement, le groupe d'individus formés n'a pas besoin de se connaître et d'avoir préalablement coopéré pour pouvoir être mis en situation d'apprentissage. En revanche, les automatismes ne sont acquis et reproduits que si le contexte est le même que celui durant lequel a été réalisé l'exercice. En se replaçant dans un contexte d'entrainement, il apparaît primordial de reproduire l'environnement dans lequel un individu se trouvera lorsqu'il sera en condition réelle. La prise en compte des principaux comportements humains passe par l'intégration de quatre qualités (l'instinct, l'apprentissage, l'intelligence, l'adaptabilité) et de six faiblesses psychosociales (l'altérabilité, la dysaffectivité, la subjectivité, l'ignorance, la crédulité, l'asociabilité). Ces dix dimensions semblent devoir être intégrées lors de la définition d'un scénario et pour la réalisation d'un débriefing instructif.

Classiquement, les principales phases prévues dans un exercice de formation sont : la planification, la préparation, la réalisation, la réflexion, et l'analyse. De nombreux auteurs insistent sur l'importance de cette dernière phase, dans la mesure où c'est au cours de cette étape que se produit l'acquisition de connaissances par l'analyse réflexive de l'action. Lorsque les exercices conduisent à une évaluation, celle-ci doit être réalisée selon certaines règles. En effet, les erreurs commises par les participants ne doivent pas amener à un jugement de valeur sur leurs connaissances ou leurs capacités de raisonnement. L'objectif est de faire apparaitre l'origine de ces erreurs et d'analyser pourquoi elles ont été commises, ce qui permet une augmentation des connaissances et une reconstruction des processus cognitifs.

Les critères d'évaluation communs à toutes les phases du continuum d'apprentissage organisationnel sont identifiés comme étant [Crichton *et al.*, 2004] : la communication, l'anticipation, le travail en équipe, la

gestion du stress, la prise de décision et le leadership. Ces éléments sont ainsi retenus comme principaux objectifs pédagogiques qu'il va convenir de préciser.

Les sessions de formation basées sur l'utilisation d'un environnement semi-virtuel ne dispensent enfin pas de l'intervention d'un ou de plusieurs formateurs. Le rôle du formateur demeure en effet indispensable puisque c'est à lui qu'incombe de guider les participants vers les situations didactiques prédéfinies. Une précision est amenée pour les mises en situations globales, pour lesquelles les interventions du formateur en cours d'exercice ne sont pas recommandées. La façon dont les participants vont être menés vers les situations didactiques va devoir être définie, dans la mesure où ces aspects doivent être réalisés de façon implicite.

D'un point de vue de l'ingénierie système pour la formation à la gestion de crise :

Le recours à un environnement semi-virtuel de formation présente de nombreux avantages dont le premier est de favoriser la mise en situation de participants. Il est également possible de réaliser des représentations dynamiques de systèmes complexes, dont la compréhension serait plus difficile en utilisant des vues statiques. Ces simulations autorisent mieux l'erreur car celle-ci est virtuelle et ses conséquences réversibles. Contrairement aux exercices en grandeur réelle, il est possible de rejouer une séquence pédagogique, de l'interrompre et de l'enregistrer. De plus, les travaux menés dans le domaine montrent qu'il est également possible de générer du stress dans les environnements virtuels, ce qui est un critère essentiel de la fidélité psychologique face à la situation d'urgence simulée. Il est en outre à noter qu'en comparaison avec d'autres moyens pédagogiques, l'apprentissage via ce type d'environnements présente à lui seul l'avantage d'être générateur de motivation pour les apprenants [Burkhardt, 2003]. C'est pourquoi, ces outils sont généralement conçus autour de trois parties : les dispositifs de représentation, les dispositifs d'entrée de l'information et le moteur de représentation virtuelle.

Le positionnement de la problématique sous l'angle de la prise de décision au niveau stratégique sélectionne naturellement le type de représentation virtuelle idoine dans un contexte de formation. A l'opposé de la réalité virtuelle qui propose l'utilisation d'objets (outils, ustensiles, etc.) permettant un travail approfondi des gestes opérationnels, la simulation virtuelle est quant à elle dédiée à l'émulation d'une situation possiblement fictive dont la perception et l'interprétation peut différer entre deux individus. Son choix est donc justifié par la nécessité que l'équipe de gestion de crise partage une même représentation (*Shared Mental Model*) de la situation d'urgence. De plus, la simulation virtuelle paraît proposer le meilleur compromis entre les notions d'interaction avec l'environnement virtuel, d'immersion dans un scénario de crise, et d'imagination liée à l'utilisation qui en est faite par le participant. La liberté d'utilisation de ce type d'outil de simulation virtuelle ne permettant pas de garantir un quelconque apprentissage, l'environnement semi-virtuel de formation doit être précontraint dans sa conception avec une préoccupation forte pour les objectifs pédagogiques. Pour cela, des écarts délibérés avec la réalité sont possibles lors de la modélisation du système à simuler si des fins didactiques le justifient. L'interaction peut se produire par quatre canaux de perception dont le principal est la vision : l'emploi d'objets de connaissance graphiques est ainsi fortement souhaitable. Deux finalités peuvent être distinguées pour les environnements virtuels : soit technique, soit éducative. Dans le second cas, plus proche de la problématique de recherche étudiée, l'utilisation suppose une interaction didactique basée

sur la capacité à reproduire le processus psychologique de la situation de travail de l'utilisateur, laquelle prime sur la fidélité intrinsèque de l'environnement virtuel. Là encore, bien que chaque évènement appartenant au système simulé nécessite d'être crédible, sa transcription visuelle dans le monde réel n'a donc pas besoin d'être hyperréaliste.

L'étude de la typologie des environnements interactifs a permis de distinguer les jeux de simulations, les micromondes et les jeux de rôles. Duke et Greenbalt ont proposé une définition fédératrice des jeux de simulation comme étant des systèmes qui peuvent intégrer les caractéristiques suivantes : des modèles, des scénarios, des évènements inattendus, des processus temporisés, des rôles, des procédures, des décisions, des résultats, des indicateurs, des symboles et enfin des matériels dédiés [Duke *et al.*, 1981].

Il apparaît principalement envisageable d'aborder le fonctionnement de systèmes complexes en faisant intervenir l'apprentissage par la découverte et par la résolution de problèmes [Guéraud, 2005]. De plus, l'opportunité de placer les utilisateurs dans une situation reproduisant leur situation de travail réelle semble possible puisque ces outils sont adaptés pour l'apprentissage de savoirs, de savoir-faire, mais aussi de savoirs-être. Le modèle d'apprentissage collectif ainsi mis en œuvre est le socioconstructivisme. Le concept de jeu de simulation fait appel à la notion de gestion du scénario, de modération de ce dernier par un superviseur et de missions à assurer par les participants, ce qui est non seulement compatible avec la problématique de formation mais aussi cohérent avec le principe de gestion d'une situation par une équipe dont la structure est codifiée. Force est cependant de constater que la plupart des outils de formation à la gestion de crise existants s'adressent aux services de secours. Peu sont en effet destinés aux autres acteurs de la gestion de crise. Du point de vue de la conception de l'outil, Cette distinction entraîne le fait que l'activité des services d'urgence est basée essentiellement sur des méthodes (MRT, etc.) et dans des proportions plus importantes que l'activité d'une cellule de crise de niveau stratégique (préfecture, etc.) pour laquelle la prise de décision est cruciale. En d'autres termes, ces outils sont des simulateurs appropriés aux échelons tactiques ou opérationnels, et non stratégiques. Le simulateur MASTERD semble toutefois le plus proche de la problématique étudiée, à savoir la formation et l'entraînement par la simulation des acteurs de la gestion de crise et la coopération interservices. Néanmoins, le peu d'information disponible concernant les fonctionnalités réelles de ce type d'outils ne permet pas de tirer des conclusions définitives.

D'un point de vue des scénarios d'exercices, deux types principaux apparaissent intégrables à un simulateur : d'un côté le scénario-canevas qui fixe un certain nombre de présupposés au départ mais qui laisse ensuite les interactions se faire, et d'un autre côté le scénario-programmé dont le déroulement des actions est prévu par avance. Le type scénarios-canevas présente l'avantage de satisfaire tous les éléments donnés comme devant participer à une simulation tout en permettant l'intégration de retours d'expérience d'accidents passés [Duke *et al.*, 1981]. L'approche multi-agents semble ensuite appropriée pour modéliser des règles-canevas (physiques, comportementales, etc.) puis laisser le système s'auto-organiser et ordonnancer les évènements du scénario de crise. Ayant longuement fait l'objet de recherches en intelligence artificielle, les systèmes multi-agents permettent une représentation particulière et une modélisation d'organisations complexes. L'étude des principales architectures de SMA indique le modèle BDI – qui repose sur le fonctionnement SOR (Stimulus, Organisation, Réaction) – comme une base de travail cohérente afin de simuler le comportement attendu du système à l'échelle des agents.

PARTIE II : DEFINITION D'UN ENVIRONNEMENT SEMI-VIRTUEL DE FORMATION A LA GESTION DE CRISE

Introduction

Afin d'aider une organisation, une entreprise, ou une structure dédiée à mettre en place un système de formation à la gestion stratégique de crise qui intègre les perspectives d'amélioration détaillées précédemment, la présente partie va non seulement s'attacher à définir les principaux éléments permettant de structurer une plateforme de simulation appliquée, mais de spécifier aussi les facteurs clefs participant à la simulation de crise. Comme l'illustre la figure 12 située page suivante, nous proposons quatre axes de travail contribuant à définir un environnement semi-virtuel de formation à la gestion stratégique de crise.

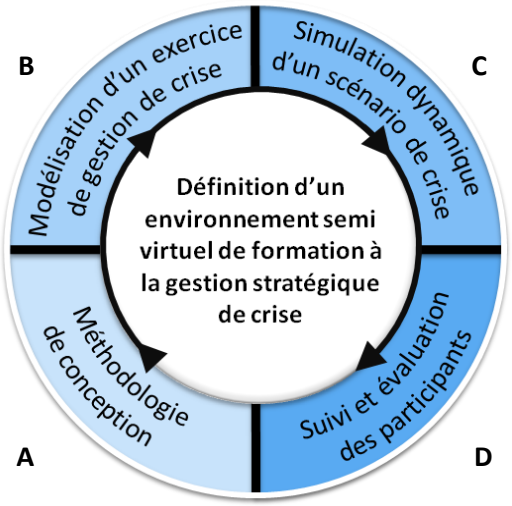


Figure 12 : stratégie globale de définition d'un environnement semi-virtuel de formation.

Il va être question dans un premier chapitre, de définir les fonctionnalités, les représentations et les outils qu'impliquent la plateforme attendue, en parcourant les étapes de conception et de modélisation du système à simuler (cf. quart A sur la figure 12). L'emploi d'un environnement semi-virtuel étant directement lié à la dimension pédagogique d'une session formation, le déroulement retenu pour cette dernière va être détaillé en premier lieu afin d'identifier par la suite les composantes essentielles d'une architecture générique. D'un point de vue systémique et fonctionnel, il convient que l'infrastructure proposée favorise la communication au sein du groupe de participants, en réalisant des simulations collectives et immersives. L'un des objectifs de cette partie est de proposer le cahier des charges de la création d'un environnement semi-virtuel de formation à la gestion stratégique de crises simulées.

Un deuxième chapitre va s'attacher à modéliser de manière globale un exercice pédagogique de gestion de crise (cf. quart B sur la figure 12). Plusieurs sous-systèmes vont être structurés non seulement dans le but de déterminer les entités du futur système multi-agents, mais aussi pour hiérarchiser les objectifs pédagogiques qui vont être exploités par la suite. La modélisation d'un scénario va ensuite être réalisée en tenant compte des trois profils de participants retenus, et une typologie d'éléments scénariques distinguant les couples situation-tâches, les phénomènes et les perturbations va être proposée. La finalité de ce travail est de favoriser ainsi la génération semi-automatique d'un scénario de crise de type EBAT-CTT (évènementiel et en conditions dégradées).

Un troisième chapitre va être l'occasion de proposer un cadre méthodologique concernant la simulation dynamique et interactive d'un scénario de crise (cf. quart C sur la figure 12). Les spécifications ainsi que les contraintes inhérentes à la problématique étudiée vont être dressées et il va être montré que plusieurs métamodèles de comportements peuvent être généralisés indépendamment du scénario de crise simulée. Concernant le système multi-agents, l'approche *Belief-Desire-Intention* (BDI) va par ailleurs être complétée par une composante nouvelle intégrant la nature imparfaite de l'homme dans la gestion opérationnelle d'une crise.

Enfin, une dernière étape va consister à dresser les bases d'un guide d'évaluation des participants (cf. quart D sur la figure 12). Plusieurs approches complémentaires vont être abordées pour aider à réaliser un suivi en temps réel de l'équipe de gestion de crise, ainsi qu'améliorer le débriefing par un partage des difficultés rencontrées, un perfectionnement des modes de raisonnement, de management en situation d'urgence, et de gestion des compétences mobilisées. L'objectif est ainsi de définir une stratégie globale d'évaluation des compétences pour constituer à la fois un support d'analyse pour le débriefing et une aide à l'animation d'un exercice de gestion de crise.

Chapitre 7 : Elaboration de la méthodologie de conception

« Investir dans la formation, c'est conjuguer au présent mais aussi au futur le souci des hommes et le souci des résultats. »

Philippe Bloch, *Service Compris*, 1986.

7.1. Proposition d'un cadre méthodologique

7.2. Spécification d'une architecture système

7.3. Définition du cahier des charges de l'infrastructure physique

7.4. Identification des canaux d'immersion

Il est important de rappeler que la première préoccupation relative à la conception d'un environnement semi-virtuel de formation doit être d'ordre pédagogique. Cette nécessité implique de recentrer la démarche de conception sur les aspects cognitifs plutôt que technologiques. Il convient ensuite que la définition des spécifications de l'environnement passe par l'analyse de la complexité du fonctionnement du dispositif et des tâches simulées. Il apparaît à ce titre pertinent de distinguer les tâches relatives à la construction de la simulation, et celles relatives à l'initiation, au perfectionnement et à l'entraînement de participants.

7.1. Proposition d'un cadre méthodologique

Deux approches classiquement utilisées pour concevoir des environnements virtuels de formation – celle de Lourdeaux [Lourdeaux, 2001] et celle de Pernin [Pernin, 1996] – vont être étudiées afin d'identifier les axes respectivement retenus. Il en ressort alors qu'une approche hybride reposant sur trois axes (chronologique, systémique et fonctionnel) permet de dresser un périmètre méthodologique cohérent pour la conception d'un environnement semi-virtuel de formation à la gestion stratégique de crises simulées. Comme le rappelle la figure ci-dessous, cette approche nouvelle va servir de base à la proposition d'une architecture système et d'une infrastructure physique dédiées à cette problématique.

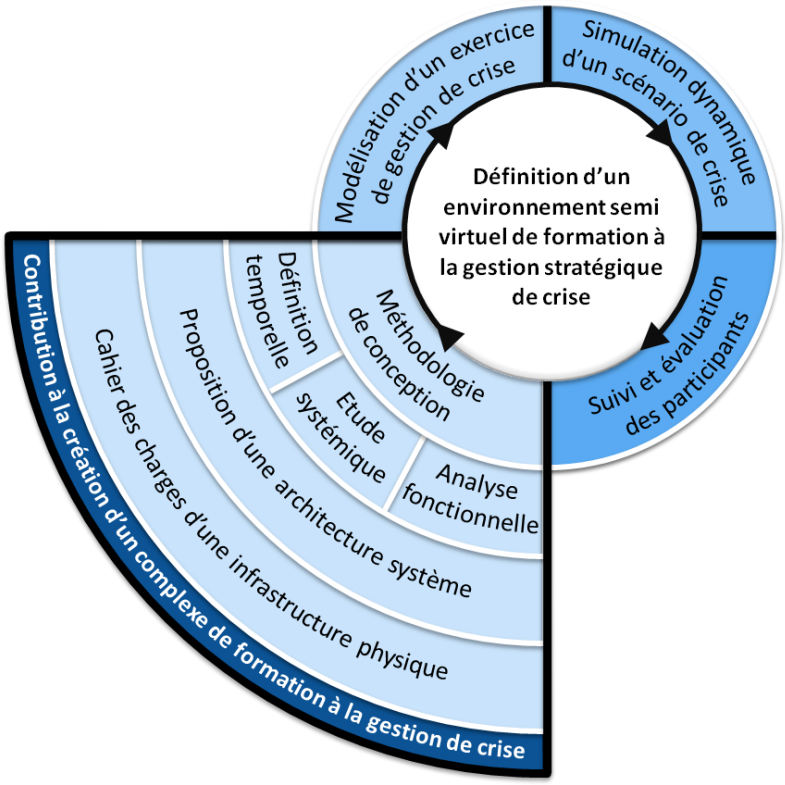


Figure 13 : détail de la méthodologie de conception d'une plateforme physique de formation.

7.1.1. Méthodologie

Lourdeaux propose une approche méthodologique pour la conception d'un environnement virtuel pour la formation qui détaille les six étapes suivantes [Lourdeaux, 2001] :

- Les objectifs, qui doivent être définis par rapport à une finalité pédagogique explicitée. Les représentations mentales sont notamment retenues en fonction de ceux-ci.
- Les fonctionnalités de l'environnement virtuel en termes de comportements des utilisateurs en son sein.
- Les représentations mentales impliquées dans l'interaction entre l'outil et les utilisateurs.
- Les interfaces au sens large, incluant les Interfaces-Homme-Machine (IHM) ainsi que les outils matériels à disposition.
- Les modalités d'utilisation et de manipulation de ces interfaces.
- L'évaluation des utilisateurs.

Le système doit en outre reposer sur une structure flexible de mobilisation des ressources et de direction des opérations de secours, adaptable à tout type de crise simulée. La notion de scénario est ainsi au cœur de cette problématique qui implique d'adapter le dispositif en termes de dimensionnement et de composition, dans la mesure où seules certaines fonctions peuvent être activées. Proposé par Pernin, la méthode MARS (Modèle, Associations, Représentation, Scénario) catégorise à ce titre différents aspects de la réalisation d'une simulation pédagogique en regroupant quatre principaux éléments qui participent aux jeux de simulation virtuelle [Duke *et al.*, 1981 ; Pernin, 1996] :

- La définition du modèle de la simulation,
- La caractérisation des liens entre les différents composants,
- La spécification des besoins en termes d'interface de la simulation,
- L'établissement d'un scénario et le choix d'une mise en scène pédagogique.

Au vu des éléments complémentaires des deux méthodes précédentes (Lourdeaux et Pernin), il est proposé de définir une nouvelle approche globale intégrant les axes suivants :

- Temporel (présentation des objectifs pédagogiques, scénario d'exercice, évaluation),
- Fonctionnel (des interfaces d'utilisation, des interactions, des outils de simulation),
- Systémique (des modèles, des représentations virtuelles),
- Interactif (des éléments rendant le système dynamique).

Comme l'illustre la figure ci-après, ces axes définissent un cadre de conception plus large qui structure la méthodologie proposée. Pour ce faire, le déroulement visé pour les futurs exercices de gestion de crise va être caractérisé de manière à intégrer les recommandations pédagogiques et technologiques explicitées précédemment. L'analyse fonctionnelle et l'étude systémique se destinent quant à elles à proposer une architecture générique qui va servir de support aux modélisations et aux simulations de crise.

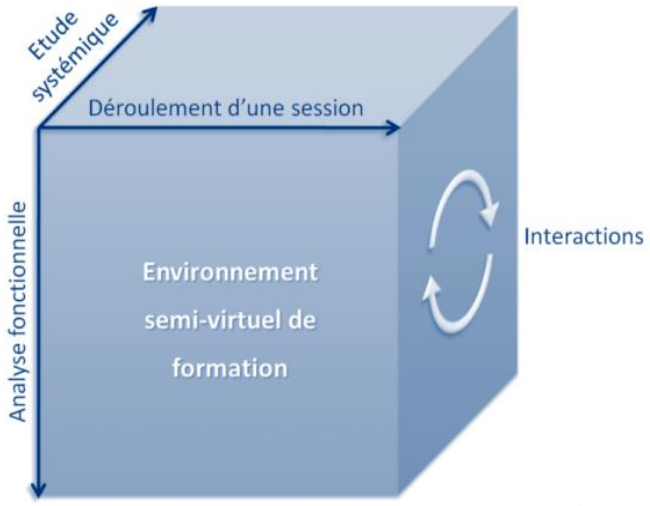


Figure 14 : schématisation de la méthodologie hybride proposée dans le cadre de ce travail.

7.1.2. Déroulement d'une session de formation

Le recours à un environnement semi-virtuel de formation étant une technique pédagogique particulière, son utilisation nécessite qu'il soit présenté avant le démarrage de l'exercice, notamment en termes de fonctionnement, de modes d'interaction, d'actions possibles ou de contraintes matérielles ou temporelles [Lourdeaux, 2001]. Il est par exemple intéressant de noter que les exercices, qu'ils soient destinés à l'apprentissage ou à l'entrainement, obéissent à certaines règles pédagogiques. Leur durée notamment, est régulièrement fixée à trois heures afin de maximiser les capacités d'attention des participants [Mendonca *et al.*, 2006]

Trois grandes étapes sont retenues dans le cadre de ce travail, allant du briefing des participants au débriefing de la session, en passant par l'exercice de gestion de crise proprement dit. Il est ainsi considéré que ces trois phases caractérisent un système nommé « exercice de gestion de crise » (cf. figure 15 qui suit). Le type de modélisation adopté est descriptif et la démarche proposée vise à déterminer les étapes permettant l'élaboration d'un exercice de formation à la gestion de crise.

Figure 15 : le déroulement d'un exercice de gestion de crise.

Une modélisation macroscopique du système offre une représentation globale qui nécessite néanmoins l'explicitation des niveaux d'abstraction plus fins. Il apparaît ainsi important de déterminer d'une part le contenu de chacune des sous-parties du système, et d'autre part les interactions entre leurs éléments

constitutifs. En parcourant les trois parties évoquées précédemment (briefing, exercice et débriefing), une décomposition va être réalisée de proche en proche jusqu'à obtenir un niveau d'abstraction permettant la description des entités élémentaires nécessaires à la simulation multi-agents.

En pratique, deux principaux vecteurs d'apprentissage vont être intégrés. Le premier découle de la confrontation directe des participants aux situations didactiques du scénario d'exercice (apprentissage par la découverte et par l'action). Le second va être mis en œuvre par la mise en commun des connaissances construites à partir du vécu des participants ainsi que de l'expérience qu'ils ont partagée ensemble durant la session de formation (apprentissage par l'analyse réflexive de l'action).

7.1.2.1 Le briefing

Le briefing est l'étape d'introduction de la formation, qui est l'occasion de présenter aux participants l'exercice dont ils vont être les acteurs. Il ne s'agit pas là de dévoiler le contenu du scénario de crise mais d'aborder plutôt la thématique en question, le contexte, les objectifs attendus ainsi que le déroulement de la session. En effet, les participants vont être amenés à utiliser du matériel et des ressources dédiés qui ne doivent pas constituer un obstacle au déroulement de l'exercice dans la mesure où l'objet de la formation ne porte pas sur l'utilisation d'outils. Ainsi, le briefing peut être décrit par les éléments présentés par la figure 16 ci-dessous, à savoir la présentation de l'exercice et des objectifs pédagogiques, du matériel, des ressources et des conventions d'exercice. Par ailleurs, il a été précédemment identifié que le recours à la simulation autorise des écarts avec la réalité en termes de distorsion du temps ou de simplification de certains éléments du système. Ces éléments de mise en situation doivent à ce titre être portés à la connaissance des participants.

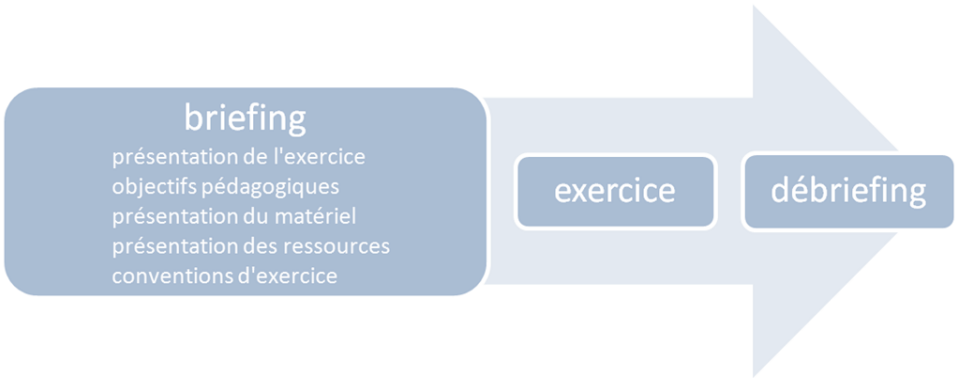


Figure 16 : le modèle général de la phase de briefing.

Indépendamment du scénario de crise qui sert de trame à l'exercice, les principales actions attendues des participants sont les suivantes :

- Le recueil et le traitement de l'information,
- L'aide à la décision (évaluation des risques, des effets, modélisations physiques, etc.),
- La coordination des opérations de secours,

- La diffusion des ordres et le traitement des comptes-rendus opérationnels,
- L'émission de synthèses à destination des autorités zonales et gouvernementales,
- L'information des élus et du public, et la communication avec les médias.

Dans l'optique de hiérarchiser les actions attendues des participants, les objectifs pédagogiques vont être considérés comme étant de trois types : généraux, intermédiaires et spécifiques. Les objectifs généraux consistent en l'élaboration de stratégies globales de gestion de crise ainsi qu'en leurs mises en œuvre grâce à la détermination d'objectifs tactiques. Afin de construire la trame d'un scénario pédagogique, il convient préalablement de décliner cet objectif général en objectifs intermédiaires pour déterminer l'ensemble des séquences pédagogiques. Enfin, chaque objectif intermédiaire va devoir être détaillé en objectifs spécifiques : il peut s'agir d'un rôle, d'une mission, ou encore d'une action particulière.

Dans cette approche, il est noté que ces trois types d'objectifs sont d'une portée limitée dans le temps (la durée de vie d'une cellule de crise stratégique, le déroulement des opérations de secours, etc.) et dans l'espace (l'étendue spatiale des conséquences, leur localisation, etc.).

7.1.2.2 L'exercice

Cette partie concerne la mise en œuvre des solutions permettant aux participants d'atteindre les objectifs pédagogiques durant la phase de simulation (cf. figure 17). Il s'agit de définir les situations didactiques et les évènements qui vont servir de jalons au scénario d'exercice, pour conduire les participants vers des séquences génératrices d'apprentissage.

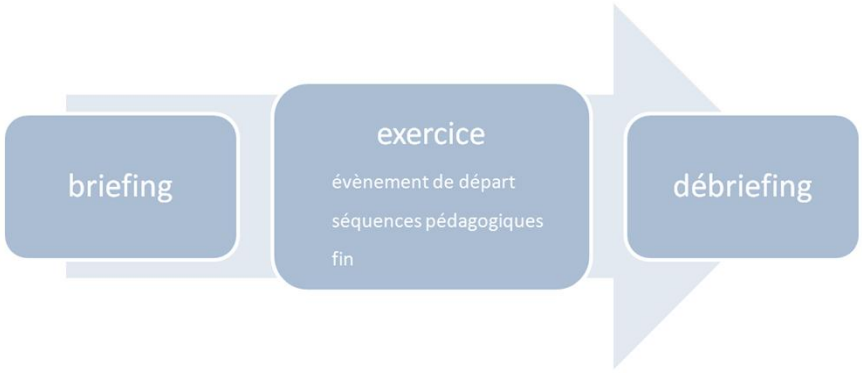


Figure 17 : le modèle général de la phase d'exercice.

L'exercice est ainsi décrit comme l'assemblage et l'enchainement de jalons qui vont articuler le scénario simulé depuis une situation initiale vers la fin de l'exercice. Cet ensemble d'éléments pédagogiques va de ce fait constituer un scénario-canevas de la crise simulée. En pratique, les transitions entre les différents états du scénario vont dépendre de la simulation qui en est faite par le système multi-agents ainsi que des inflexions provenant des formateurs.

7.1.2.3 Le débriefing

Dernière étape de la session de formation, le débriefing permet de dresser le bilan des objectifs pédagogiques, de la conduite de l'exercice et de l'atteinte ou non des objectifs par les participants.

La figure 18 replace ces éléments dans le processus de formation :

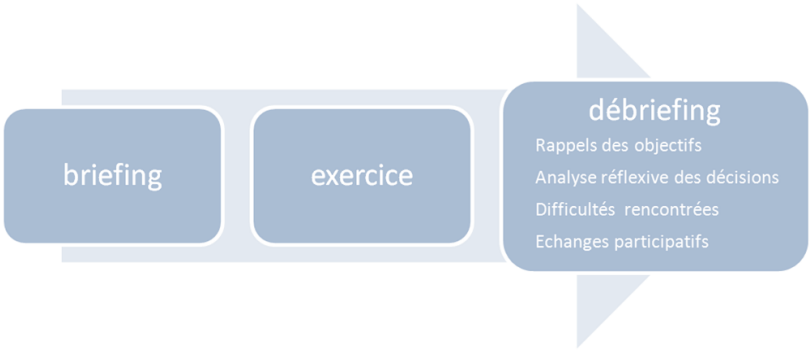


Figure 18 : le modèle général de la phase de débriefing.

Tout comme l'exercice, le débriefing doit dès lors être considéré comme une étape génératrice d'apprentissage. Il peut contenir une composante de type évaluation, mais cette dernière ne doit pas être réalisée de façon à apporter un jugement de valeur sur les connaissances des participants, ni sur leurs capacités de raisonnement. Le succès du débriefing repose donc principalement sur son aspect participatif.

7.1.3. Etude systémique

Comme le montre la figure 19 qui suit, il convient de rappeler que l'environnement semi-virtuel doit regrouper au minimum les trois sous-systèmes suivants : les dispositifs de présentation d'information, les dispositifs d'entrée d'information et le noyau de simulation multi-agents.

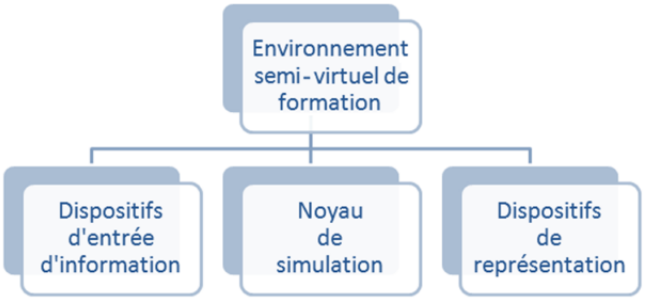


Figure 19 : les composantes retenues pour l'environnement semi-virtuel de formation.

Les dispositifs de représentation ainsi que d'entrée d'information doivent être définis en fonction de l'analyse des situations de travail des utilisateurs dans leur environnement réel. En effet, ces éléments contribuent à la fidélité psychologique de l'environnement semi-virtuel dans la mesure où les mêmes canaux de perception doivent être utilisés par les apprenants dans les situations réelle et simulée.

Le noyau de la simulation constitue quant à lui la partie centrale du système, à la fois chargée de simuler l'environnement avec lequel les utilisateurs vont interagir, mais aussi de s'actualiser en fonction des actions et des décisions des participants et des formateurs. La conception du noyau de simulation nécessite de recourir à la modélisation du système à recréer. Dans le cadre d'un exercice visant à mettre en situation le niveau stratégique décisionnel, le système à modéliser est celui avec lequel ces acteurs interagissent dans la gestion de crise. La figure 20 ci-dessous donne comme exemple le premier niveau de cette arborescence hiérarchique.

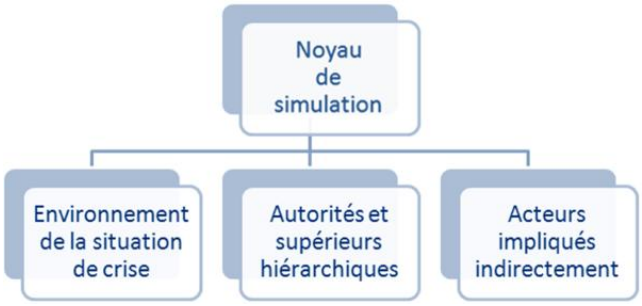


Figure 20 : premier niveau de l'arborescence hiérarchique du noyau de simulation.

A l'échelle macroscopique, ce système est constitué de l'environnement de la situation de crise, des autorités et institutions situés dans la partie supérieure de la chaine de commandement et des groupes constitués des personnes et institutions concernées de façon indirecte par la situation catastrophique. Il est possible et nécessaire de détailler plus encore ces sous-systèmes dont la précision dépend néanmoins des contraintes liées à la simulation du scénario par le système multi-agents. C'est pourquoi, une définition plus précise de ces éléments va être réalisée lors de la phase de modélisation d'une crise simulée (cf. Chapitre 8 : Modélisation d'un exercice pédagogique de gestion de crise).

7.1.4. Analyse fonctionnelle

D'un point de vue de l'organisation fonctionnelle, les sous-parties briefing, exercice et débriefing doivent s'attacher à générer un apprentissage s'inscrivant dans un schéma d'interaction socioconstructiviste. Pour ce faire, il convient d'appliquer l'approche EBAT identifiée précédemment qui se décompose en sept étapes. Puis, ces étapes sont complétées au moyen des axes d'amélioration retenus auparavant :

- Sur la base des objectifs pédagogiques identifiés, il est possible de construire une stratégie d'apprentissage organisationnel sollicitant les compétences clefs à approfondir,
- Ces éléments se déclinent en évènements du scénario d'exercice, lesquels correspondent à des actions ou à des décisions attendues des participants,

- L'évaluation des performances dans la gestion de ces situations est possible en réalisant un suivi en temps réel d'indicateurs qui intègrent l'efficience de la réponse apportée par l'équipe de gestion de crise à chaque évènement,
- S'en suit une phase de diagnostic des performances, qui a pour vocation d'identifier les éventuelles défaillances dans les processus de prise de décision,
- Ces défaillances constituent la base de réflexion d'un retour d'expérience de l'accident simulé, et alimentent directement le débriefing,
- L'issue du débriefing permet de faire un inventaire des compétences (activées ou non au cours de la session de formation) et un historique réflexif des performances. Cette phase tend notamment à identifier non seulement les moments où la gestion de la crise simulée a été problématique, mais aussi les raisons des difficultés rencontrées,
- Les pistes d'amélioration passent enfin par le listage rétrospectif des compétences, qui sert à la fois à finaliser le débriefing des participants et à mettre à jour les objectifs pédagogiques en vue de rejouer le même scénario ou bien pour effectuer une montée en puissance au sein du continuum d'apprentissage (*i.e.* passer de l'initiation au perfectionnement, ou du perfectionnement à l'entraînement).

Le schéma suivant propose un processus cyclique et itératif appliqué à notre problématique :

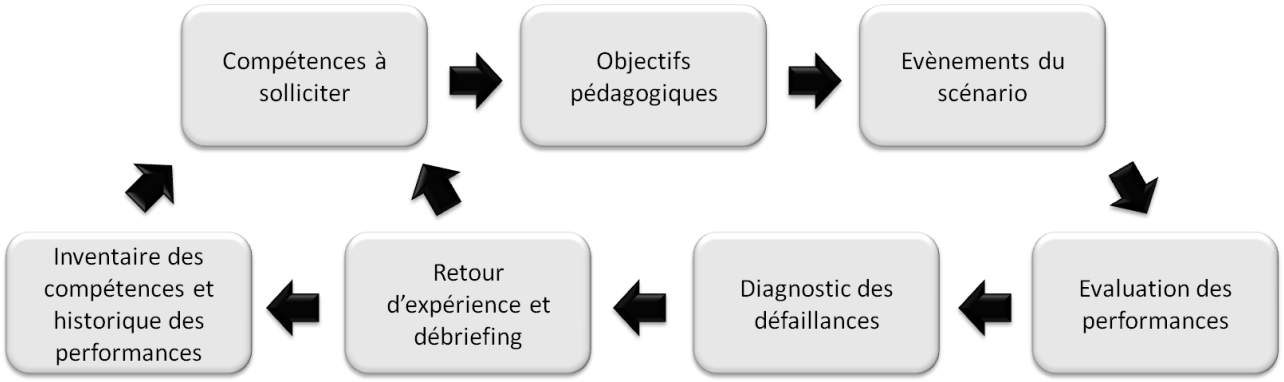


Figure 21 : stratégie pédagogique retenue pour l'environnement semi-virtuel de formation.

Afin d'intégrer les dynamiques de prise de décision et de préserver le réalisme des scénarios de crise, il convient que l'environnement semi-virtuel ne soit pas normatif, c'est-à-dire qu'il ne précontraigne pas les simulations à des situations où les erreurs ou les réponses inadaptées des participants n'auraient pas d'impact. Ainsi, nos modèles doivent tenir compte des changements naturels de comportements et de l'état mental des participants dus à une évolution de la situation de crise. Pour ce faire, le scénario de simulation va être spécifié au moyen des paramètres globaux qui caractérisent à la fois l'environnement simulé et les attributs des entités émulées, ainsi que le comportement des acteurs impliqués durant chaque phase de l'exercice. Les agents virtuels peuvent avoir des comportements plus ou moins complexes, être seulement présents comme interagir entre eux, ou mener des activités particulières. De plus, une des caractéristiques de la gestion de crise réside dans la perturbation engendrée par le stress. Caetano et Mathieu précisent que le stress peut être généré par le déclenchement d'incidents supplémentaires ou par la suppression de moyens

d'intervention [Caetano *et al.*, 1997]. Ce principe d'évènements perturbateurs est ainsi retenu afin de participer à l'approche *Critical Thinking Training* (CTT), et au moyen de laquelle l'utilisateur va être amené à prendre des décisions en conditions dégradées. L'objectif est que l'environnement semi-virtuel de formation à la gestion de crise recrée, par agrégation des approches EBAT-CTT, les conditions dans lesquelles ces évènements particuliers puissent être découverts ou revécus. Le système doit ensuite évaluer la performance des participants sur la base de critères qui doivent être correctement définis. Or, les systèmes classiques ont tendance à se focaliser sur les conséquences plutôt que sur les compétences mobilisées et il est souvent précisé que cette approche exploite des indicateurs de performance trompeurs : bien que des pertes soient constatées, elles ne reflètent pas nécessairement une gestion de crise stratégique défaillante [Sniezek *et al.*, 2001]. Il est ainsi important que l'évaluation des participants se focalise sur un retour d'information faisant apparaitre des niveaux d'objectifs hiérarchisés et intégrant la pertinence et la qualité des raisonnements mis en jeu.

7.1.5. Caractérisation des interactions

Une fois spécifiés les aspects systémiques et fonctionnels de l'environnement semi-virtuel, les modalités d'interaction entre la plateforme et les utilisateurs peuvent être définies. Les aspects pédagogiques devant rester au centre des préoccupations lors de la conception des outils de formation, celle-ci doit prendre en compte les règles propres au domaine étudié, ici la gestion de crise. La simulation d'un scénario de crise implique une répartition des rôles conforme à la réalité pour que chaque participant puisse acquérir, sinon une expérience, au moins des notions liées à la gestion de telles situations. Lors de la définition des objectifs pédagogiques, puis des séquences pédagogiques et des situations didactiques, l'idée sous-jacente est d'amener les participants à réaliser deux types de comportements : le conflit cognitif et le partage de représentations mentales. Le conflit cognitif peut intervenir essentiellement dans deux situations. Il se produit d'abord lors de l'interaction d'un individu avec son milieu et consiste à intégrer des notions ou idées nouvelles à ses schémas mentaux par un processus d'assimilation. Cette interaction est vouée à se produire au cours des phases d'initiation, de perfectionnement et d'entrainement. Il peut également être lié à la notion d'apprentissage collectif au moyen duquel il sera entretenu par les relations sociales de coopération, de collaboration ou de négociation au sein du groupe. Du conflit cognitif individuel peut alors naître une solution commune, laquelle est source d'acquisition de connaissances, sous forme de savoirs, savoir-faire ou savoirs-être. Le deuxième type de comportement est la modification des représentations mentales partagées qui apparait, suivant les mêmes mécanismes, au cours de la résolution collective de problèmes.

En termes d'interactions, l'environnement semi-virtuel de formation se destine à deux types d'utilisateurs : les formateurs et les participants. Cette particularité a des conséquences en termes de conception puisque toutes les interactions entre l'outil et les utilisateurs doivent être prises en compte. Le recours à un environnement semi-virtuel de formation ne dispense pas de la présence capitale d'une cellule d'animation qui garantit la pertinence de l'utilisation de l'outil et supervise l'occurrence des situations didactiques. Les fonctionnalités de l'environnement semi-virtuel vis-à-vis de l'utilisateur formateur sont essentiellement de trois types [Lourdeaux, 2001] : celles liées au contexte, à la prise d'information et aux interventions

pédagogiques. Or, la définition des situations didactiques s'appuie sur des situations réelles de travail pour lesquelles un évènement spécifie les compétences mises en jeu.

Il est ainsi proposé de garantir un contrôle pédagogique, sous deux formes :

- L'assignation d'objectifs aux participants (amener le système simulé d'un état initial à un ou des états prédéfinis peut constituer un objectif),
- La vérification du respect de certaines contraintes en termes de cheminement pour atteindre l'objectif, de conformité des actions effectuées ou de délais. Le constat de non-respect de ces contraintes peut conduire à une intervention pédagogique en direct ou en différé. Dans le premier cas, il s'agit de mettre en évidence d'éventuelles erreurs et d'orienter le groupe vers la bonne solution. Dans le second, l'objectif est de guider chaque participant vers la détection de son erreur et donc de procéder à une auto-évaluation ou de permettre au formateur de conduire une évaluation de l'apprenant.

Il est alors proposé que l'ensemble de ces interactions s'inscrivent dans une sphère technico-pédagogique située au carrefour de quatre axes qui peuvent être définis par : l'animation, les participants à la formation, la simulation virtuelle d'une crise et le réalisme de l'exercice simulé. La figure 22 propose une maquette du système avec les quatre principaux pôles entretenant des interactions. Le terme simulation virtuelle regroupe ici le système multi-agents ainsi que le moteur de représentation virtuelle proposé.

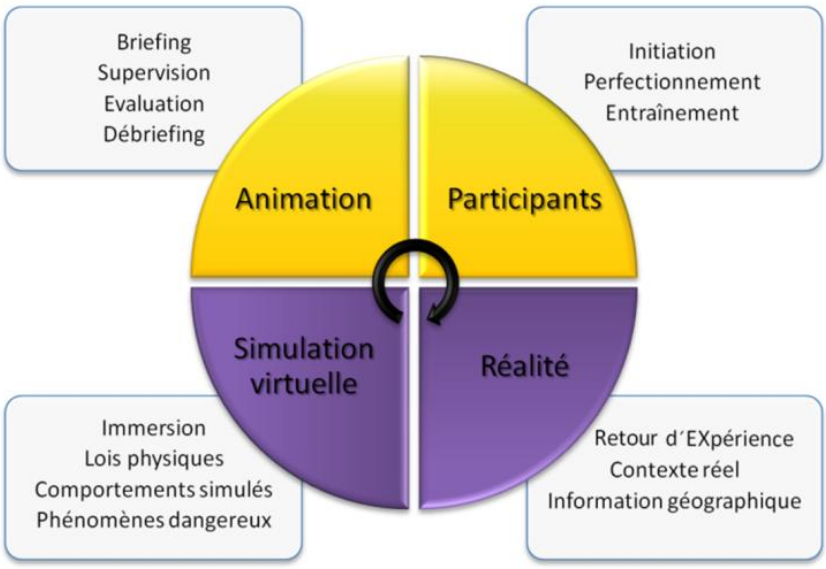


Figure 22 : les quatre pôles entretenant des interactions au sein du système de formation.

Du reste, lorsque l'utilisation de l'environnement semi-virtuel de formation vise la mise en situation globale où chacun incarne un rôle particulier, il est important de rappeler que l'intervention physique directe de formateurs en cours d'exercice n'est pas recommandée. Il s'agit donc pour l'animation de réaliser les interactions didactiques de façon implicite, et le recours à des moyens réellement utilisés (téléphones, fac-similés, emails, etc.) nous semble alors pertinent.

7.2. Spécification d'une architecture système dédiée

L'architecture système proposée dans le cadre de ce travail de recherche, et qui va être détaillée ci-après, consiste en une solution modulaire qui se veut non seulement pérenne et robuste mais aussi ergonomique et évolutive, afin de tenir compte de la diversité des facteurs qui interviennent dans la problématique étudiée. L'analyse à la fois temporelle, systémique, fonctionnelle et interactive de la plateforme de formation souhaitée a permis de mettre en lumière plusieurs éléments dont l'informatisation constitue une plus-value (le noyau de simulation du scénario, la représentation virtuelle, etc.).

Dans le détail, il convient de s'attacher à ce que le système global puisse héberger différents niveaux séparant nettement les services proposés (présentation d'information, gestion du scénario, simulation d'une crise, etc.) tout en offrant de grandes capacités d'extension, et en facilitant le plus possible la gestion des sessions de formation. Pour ce faire, une conception en plusieurs couches peut être réalisée pour pallier aux limitations des architectures habituelles tout en conservant performance et simplicité de maintenance. Cette approche a pour but de distribuer plus librement la logique applicative en facilitant la répartition de la charge entre chaque niveau. Cette évolution des architectures communément utilisées (client-serveur et trois tiers principalement) garantit une plus grande souplesse d'implémentation et facilite la réutilisation des développements. En génie logiciel, une architecture multi-tiers – souvent désignée comme architecture n-tiers – repose sur une approche client-serveur dans laquelle la présentation, le traitement des demandes des utilisateurs, et la gestion des données sont des processus séparés. L'architecture multi-tiers fournit un modèle pour les développeurs souhaitant créer une application flexible et réutilisable. En décomposant une application en couches, il suffit ensuite de modifier ou d'ajouter une couche spécifique plutôt que de réécrire tout ou partie de l'application. Il est à noter que les concepts de couches et de niveaux sont souvent utilisés indifféremment bien qu'il y ait effectivement une différence : une couche est un mécanisme de structuration logique pour les éléments qui composent la solution logicielle tandis qu'un niveau est un mécanisme de structuration physique pour l'infrastructure du système. Une structuration physique permet de distribuer l'architecture au sein d'un socle composé de supports délocalisés (matériels, logiciels, etc.) et dédiés à chaque famille de services. Cette démarche se rapproche des architectures orientées services – le terme anglo-saxon est *Service Oriented Architecture* (SOA) – qui intègrent notamment des modèles d'interactions applicatives mettant en œuvre des services informatiques. Il est à ce titre proposé qu'un format d'échange unifié soit retenu par la suite afin de garantir la stabilité du système et de pérenniser les besoins d'évolution de la plateforme.

Il est proposé que le moteur de scénario constitue l'élément central de l'architecture. Doté d'un système multi-agents, ce noyau doit pouvoir simuler un scénario de crise sur la base de données réelles, à savoir :

- Des retours d'expérience,
- Des modèles physicochimiques,
- Des modèles comportementaux.

La figure 23 (page suivante) présente l'architecture multi-tiers distribuée spécifiquement conçue dans le cadre de ce travail, et modélise les canaux d'interactions entre chaque composant. L'objectif est de transposer les éléments simulés par le moteur de scénario dans une représentation virtuelle, puis d'intégrer à

la fois les décisions des participants comme les orientations pédagogiques de l'équipe d'animation (superviseur et formateurs).

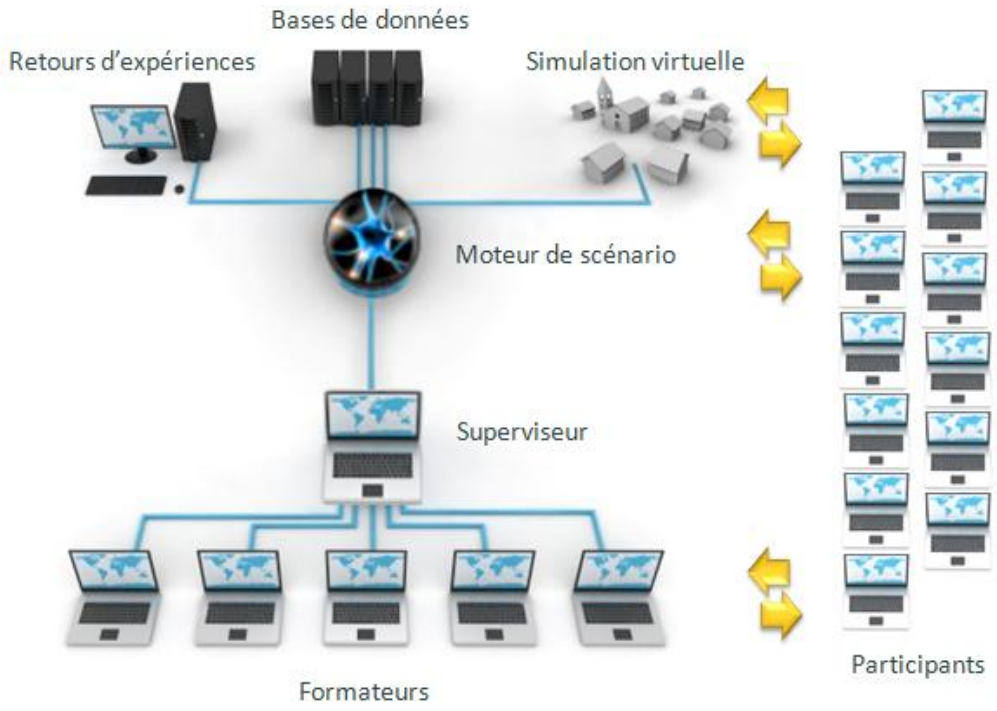


Figure 23 : l'architecture retenue pour la plateforme de formation à la gestion de crise.

Cette approche permet ainsi d'identifier trois types d'espaces spécifiques. Le premier est dédié à la gestion de l'exercice (supervision et animation), le second concerne la reconstitution d'une cellule de crise avec l'équipe de gestion de crise (les participants), tandis que le troisième est relatif à l'ingénierie système retenue (moteur de scénario, simulation virtuelle 3D, et stockage des données). Sur la base de ces premières conditions, et après avoir précisé les spécifications organisationnelles de la plateforme, le cahier des charges d'une infrastructure physique et matérielle peut être définie afin d'héberger l'ensemble.

7.3. Définition du cahier des charges de l'infrastructure physique

Suite à l'analyse typologique des formations qui a permis de retenir la mise en situation évènementielle et les exercices fonctionnels à la gestion de crise, il est rappelé qu'une attention particulière doit être portée à la façon dont les participants sont menés vers les situations didactiques. En effet, dans la mesure où ces aspects doivent être réalisés de manière implicite, la présence physique de formateurs dans le groupe de participants doit être évitée tant que faire se peut. C'est pourquoi, un espace de supervision de l'exercice apparait indispensable afin de garantir :

- L'animation du scénario sans entraîner d'intrusion dans l'équipe de gestion de crise,

- L'occurrence d'évènements nécessaires pour chaque objectif d'apprentissage (diffusion de documents, interactions avec les niveaux tactiques et opérationnels de la gestion de crise) conformément à l'approche EBAT retenue,
- L'évaluation des performances de manière automatique ou semi-automatique.

Ce dernier point va être introduit lors d'une phase d'échange réflexif dont il est proposé de distinguer deux approches :

- Le partage des impressions et des difficultés rencontrées de manière individuelle. Le participant peut s'exprimer soit d'un point de vue du rôle assuré dans l'équipe de gestion de crise soit dans ses interactions avec les autres éléments impliqués (les acteurs, l'environnement, les évènements, le contexte, etc.).
- La mutualisation des stratégies distinctement adoptées par plusieurs équipes. Cette approche repose sur une évaluation des décisions par chaque groupe en comparaison avec sa propre stratégie de gestion de la crise simulée. De ce fait, chaque individu peut tirer un enseignement qui ne provient pas du formateur mais de ses pairs.

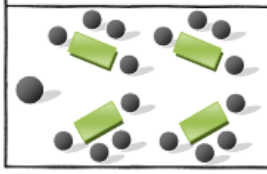
Dans cette deuxième approche, l'autorité du formateur n'est pas impliquée dans la prononciation d'un quelconque jugement de valeur – lequel pourrait être perçu comme illégitime – mais s'attache à animer le débriefing dans son organisation et sa chronologie (gestion des temps de parole, etc.). Les éléments précédents conduisent à prévoir une zone d'animation et d'observation non intrusive afin de simuler un scénario d'exercice auprès de deux groupes de participants. Le déploiement de scenarios d'exercice par une équipe d'animation délocalisée doit permettre d'assurer un contexte virtuel de supervision et de gestion d'une session de formation. Pour ce faire, il est proposé comme première recommandation du cahier des charges de délimiter plusieurs espaces, distincts mais contigus, destinés à constituer un complexe de formation à la gestion stratégique de crise, à savoir : deux salles d'exercice et une zone d'animation. Un local technique est en outre préconisé afin d'héberger les matériels informatiques et multimédia nécessaires à l'animation des exercices. Une recommandation peut par ailleurs être formulée au sujet de l'utilité pour les participants de disposer d'un isoloir leur permettant de s'extraire de la cellule de crise si la réalisation d'une tâche spécifique le nécessite.

Sur la base d'informations permettant d'estimer le nombre maximum de d'individus susceptibles de constituer une cellule de crise réelle[19], un dimensionnement des espaces de formation est proposé de manière à ce qu'une douzaine de participants puissent être accueillis dans chacune des deux salles d'exercice. D'un point de vue de l'organisation physique des participants, la communication au sein de l'équipe de gestion de crise rappelle qu'il s'agit là d'un aspect clef de la prise de décision que l'aménagement mobilier ne doit pas inhiber. Or, l'étude de la typologie classique des dispositions de participants dans un espace dédié à l'apprentissage et au travail en groupe distingue les cinq types suivants : la salle de classe, la salle de réunion, la table ronde, l'organisation en demi-cercle (ou en U), et enfin les groupes de travail [Noye, 1996 ;

[19] cf. paragraphe 1.3.1 – L'organisation structurelle d'une équipe de gestion de crise – p25.

Moulier, 1999]. Le tableau 6 synthétise les avantages et les inconvénients des différents types d'aménagement identifiés dans cette typologie.

Tableau 6 : typologie des dispositions pour l'apprentissage et le travail collectifs.

	Cette disposition favorise la communication à sens unique ainsi que la passivité. Elle freine les échanges au sein du groupe et fragmente l'information perceptible.	1
	Avec cette disposition, les échanges sont améliorés mais la proximité entre les individus est inégale ce qui limite les conditions de coopération.	2
	La forme circulaire favorise les contacts face à face, et l'attention collective se porte généralement sur un individu plutôt que sur le problème à résoudre, la source extérieure d'informations, etc.	3
	Ce dispositif focalise l'attention sur un point d'intérêt (le sujet traité) tout en exerçant un contrôle de la situation participative. Ici, la communication est facilitée dans le groupe.	4
	Une telle répartition permet d'alterner la réflexion en petits groupes de travail comme un grand groupe sans changer de place. Cette alternance enrichit l'émergence d'idées nouvelles lorsque le nombre d'individus est important.	5

Source d'information / Point d'intérêt — Participant — Zone de travail

L'implantation physique de type 4 est retenue, compte tenu de l'absence de besoin concernant la coopération en sous-groupes d'individus, ainsi que de la nécessité de faciliter la communication intergroupe, l'implication participative dans la prise de décision, sans oublier l'égal accès à l'information disponible.

7.4. Identification des canaux d'immersion

Le choix des canaux d'immersion des participants tient compte du fait que l'environnement semi-virtuel est conçu autour de dispositifs d'entrée et de représentation de l'information. Un *benchmarking* de cellules existantes[20] a par ailleurs été réalisé afin d'identifier les éléments structurants. Afin de favoriser une immersion complète du participant, cinq dispositifs d'immersions sensorielles sont alors proposés. Chacun d'eux relève de l'une des sphères de la typologie suivante : globale, visuelle, sonore, participative, ou kinesthésique.

[20] Dans le détail, les cellules de TOTAL (La Défense), de l'Autorité de Sûreté Nucléaire (ASN-Paris), du Ministère des Affaires Etrangères et Européennes, du Service Départemental d'Incendie et de Secours du Gard (SDIS-30) et de l'ECASC (Valabre), ont été auditées.

Il est en effet suggéré qu'un premier dispositif, dit d'immersion globale, consiste en l'installation de volets d'isolement dans les salles réservées aux participants. L'idée est ici de constituer des espaces d'exercice confinés qui excluent tout facteur extérieur (moment de la journée, saison, conditions météorologiques réelles, etc.) susceptible de parasiter la simulation du scenario d'exercice. L'objectif est ainsi de focaliser l'attention des participants sur le scénario de crise, tout en sachant que ce dispositif doit pouvoir être déployé ou non en fonction du degré de mise en situation globale jugé nécessaire par l'équipe d'animation.

Ensuite, comme le principal canal de perception mobilisé dans un environnement semi-virtuel de formation est la vision, un deuxième dispositif, dit visuel, est proposé. Celui-ci peut prendre la forme d'un mur multimédia librement organisable – appelé mur d'images – soit à disposition des participants pour favoriser l'affichage en temps réel de toutes les données qui leur sembleraient pertinentes. La présence recommandée de cette mosaïque informative est à la fois issue des besoins croissants des décisionnaires d'avoir rapidement accès aux informations clefs de l'évènement, et provient aussi de la nécessité de permettre une organisation personnalisable de l'espace de travail collaboratif afin que les participants puissent prendre les décisions stratégiques les mieux adaptées.

Puis, les dispositifs de diffusion d'ambiances sonores constituent la troisième perspective d'immersion identifiée. Pour favoriser la mise en situation des participants lors d'un exercice de gestion de crise, la transposition de certains évènements du scénario en éléments sonores peut être envisagée. Par exemple, si l'une des perturbations intervenant lors de l'exercice est une dégradation des conditions météorologiques, un fond sonore orageux (pluie, vent, tonnerre) pourrait être diffusé.

Le quatrième dispositif, dit d'immersion participative, a pour objet de se reconstituer un environnement proche des locaux d'une cellule de crise réelle, tout en aidant l'animation du scénario d'exercice par un suivi non intrusif des formateurs. Pour ce faire, l'emploi de miroirs sans tain au niveau des cloisons séparatives entre la salle d'animation et les deux salles d'exercice est préconisé, de manière à ce que les observateurs de la cellule d'animation puissent voir sans être vus. Il est néanmoins noté que ce dispositif soit plus difficile à déployer sur un site existant et nécessite d'être anticipé lors de la construction de nouveaux locaux de formation. Une autre piste est alors proposée, consistant en l'installation de caméras permettant un suivi visuel d'un déploiement plus facile. Ces préconisations peuvent en outre être complétées par l'ajout de retour sonore depuis les salles de participants vers le centre d'animation et de supervision de l'exercice. L'objectif est ici de rendre possible, à la demande, le suivi des interactions orales entretenues par les participants.

Le dernier dispositif préconisé tend enfin à permettre une immersion kinesthésique – c'est-à-dire liée à la sphère du ressenti physique – par l'utilisation de circuits thermiques spécifiques aux salles d'exercice. La finalité recherchée est de permettre non seulement l'émulation de conditions dégradées pour la cellule de crise (pannes de chauffage, de climatisation, etc.), mais aussi la simulation d'une atmosphère fidèle au scénario proposé et conforme à l'ambiance sonore recréée. Là encore, il est relevé que ce dispositif gagne à être anticipé lors de la construction de nouveaux locaux de formation.

Synthèse

L'organisation d'une session de formation s'effectue en suivant trois étapes, allant du briefing au débriefing en passant par l'exercice à proprement parler. Dans un environnement semi-virtuel de formation, ces trois phases ont pour objectif de réaliser l'accueil des participants, la présentation des conventions d'exercice, du matériel accessible, des objectifs pédagogiques et des ressources disponibles, le déroulement des séquences pédagogiques du scénario, et pour finir l'évaluation puis l'analyse réflexive des actions réalisées par les participants.

L'analyse chronologique, systémique, fonctionnelle et interactive de l'environnement a mis en évidence la nécessité de travailler sur les trois ensembles suivants : les dispositifs de présentation d'information, les dispositifs d'entrée d'information et le noyau de simulation. Les dispositifs de présentation de l'information (la simulation virtuelle, les remontées tactiques et opérationnelles, les outils d'aide à la décision, etc.) doivent s'inscrire dans la stratégie d'apprentissage organisationnel retenue en soumettant aux participants des évènements en rapport avec un scénario de crise. En parallèle, un suivi en temps réel d'indicateurs qui mesurent l'efficience de la réponse apportée par l'équipe de gestion de crise à chaque évènement doit non seulement permettre aux formateurs de réaliser un diagnostic des performances mais aussi de préparer le retour d'expérience de la crise simulée (débriefing). L'inventaire des compétences activées ou non au cours de l'exercice doit permettre d'identifier les moments et les raisons des éventuels blocages à l'action rencontrés par les participants. Au moyen des dispositifs d'entrée d'information les formateurs vont alors pouvoir influer sur le scénario (vitesse de simulation, nombre et complexité des situations didactiques, etc.) si besoin. A contrario, ce dispositif doit aussi permettre de procéder à une montée en puissance au sein continuum d'apprentissage, c'est à dire passer de l'initiation au perfectionnement, ou du perfectionnement à l'entraînement.

L'analyse des prérequis techniques et organisationnels suggère l'idée d'une architecture multi-tiers distribuée pour répartir librement les sept services identifiés (le moteur de scénario, la supervision de l'exercice, l'animation du scénario, la simulation virtuelle, les bases de données, les retours d'expériences simulées, et la gestion de crise par des participants). Ces services sont retenus afin de constituer le socle général du système de formation à la gestion de crise. Le moteur de scénario (le système multi-agents) est en lien direct avec la cellule d'animation (et ses orientations pédagogiques) ainsi qu'avec le noyau de simulation virtuelle, et il intègre des données (calculs physicochimiques, modèles comportementaux, etc.) qui dépendent non seulement des évènements simulés dans le scénario d'exercice mais aussi les décisions des participants.

Il est préconisé que ces sept services soient répartis au sein de trois types d'espaces spécifiques. Le premier est dédié à la gestion de l'exercice, le second concerne la reconstitution d'une cellule de crise, tandis que le troisième est relatif à l'ingénierie système retenue. Sur la base de ces éléments, un modèle d'infrastructure physique est recommandé afin d'héberger l'architecture proposée, et permettre l'accueil d'une douzaine de participants maximum par salle d'exercice.

L'étape clef du débriefing conduit à considérer une approche organisationnelle particulière afin d'amener les participants à mettre en commun les stratégies et les acquis mobilisés lors de l'exercice. Pour favoriser des échanges réflexifs à la fois individuels et collectifs, il est proposé de soumettre un scénario de crise à deux

équipes qui en auront la gestion simultanée. De ce fait, la mutualisation des stratégies distinctement adoptées par deux équipes se destine à engager chaque individu à tirer un enseignement qui provient de ses pairs et non de l'équipe d'animation. Pour ce faire, quatre espaces physiques et contigus sont retenus : deux salles d'exercice situées de part et d'autre d'une salle de supervision et d'animation, et une pièce technique vouée à héberger l'ensemble des matériels techniques, informatiques et multimédia.

La nécessité de faciliter la communication intergroupe, l'implication participative dans la prise de décision, et l'accès à l'information disponible, une implantation spécifique est retenue pour l'accueil des participants (disposition en U) et un ensemble de recommandations a été proposé afin de favoriser l'immersion des participants. Ces dispositifs relèvent de la mise en situation globale, de l'immersion visuelle, sonore, participative, et kinesthésique. Il est enfin suggéré que les participants interagissent avec l'équipe d'animation au moyen d'appareils de communication habituellement utilisés en cellule de crise.

Comme la simulation globale de ce système nécessite de préciser l'environnement de la crise, des acteurs impliqués directement ou indirectement, et des phénomènes dangereux devant être simulés, la modélisation d'un exercice pédagogique de gestion de crise va maintenant être réalisée.

Chapitre 8 : Modélisation d'un exercice pédagogique de gestion de crise

« Si on répétait toujours le même acte, on n'apprendrait jamais rien. »

Paul Guillaume, *Formation des habitudes*, 1947.

8.1. Modélisation de l'environnement global

8.2. Définition des objectifs pédagogiques

8.3. Méthode de génération d'un scénario de crise

8.4. Définition d'une typologie d'évènements

Il est important de rappeler que le phénomène de crise n'est pas totalement compris dans le contexte de la formation lorsque celle-ci est basée sur une simulation, car celle-ci repose bien souvent sur des exercices précontraints dont les évènements clefs sont des jalons obligatoires [Borodzicz *et al.*, 2002]. La formation à la gestion de crise en environnement semi-virtuel doit donc garantir aux participants une liberté d'action et la latitude de définir des stratégies jugées adéquates, l'ensemble devant par ailleurs être borné par des objectifs pédagogiques identifiés préalablement.

8.1. Modélisation de l'environnement global

La figure ci-dessous récapitule la démarche employée, qui a pour but de structurer un exercice de façon tout d'abord globale, pour ensuite s'accorder à définir de manière précise ses différents éléments constitutifs. Cette phase de modélisation a notamment pour objectif de favoriser la génération semi-automatique d'un scénario de crise.

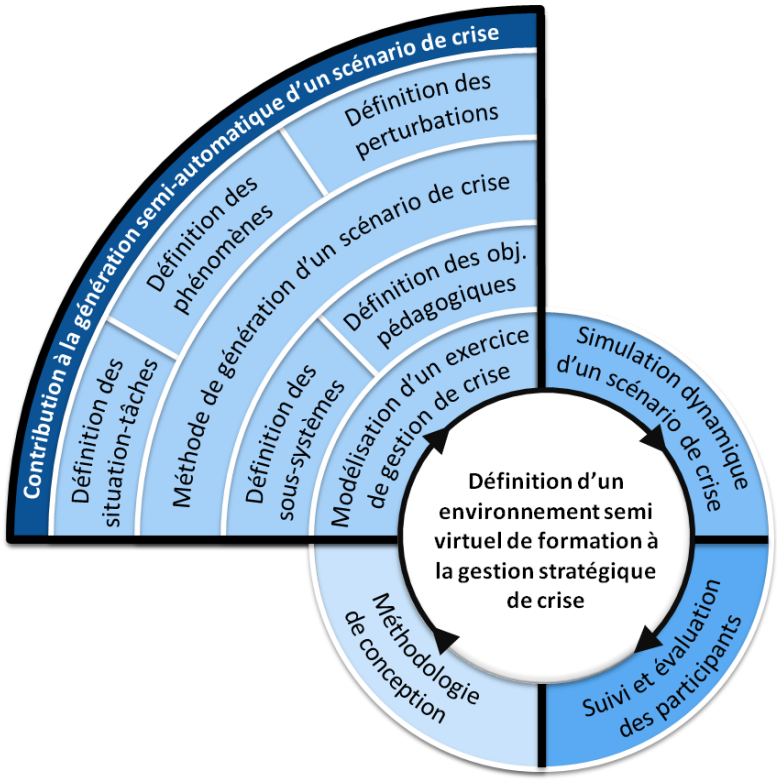


Figure 24 : étapes contribuant à la modélisation d'un exercice de gestion de crise.

La figure 25 de la page suivante représente les différentes composantes d'un exercice de gestion de crise au sein de l'environnement semi-virtuel proposé dans le cadre de ce travail. Cette vue comprend le scénario simulé (en bas et au centre) et ses interactions internes (base de données, etc.) et externes (participants et équipe d'animation d'une manière générale).

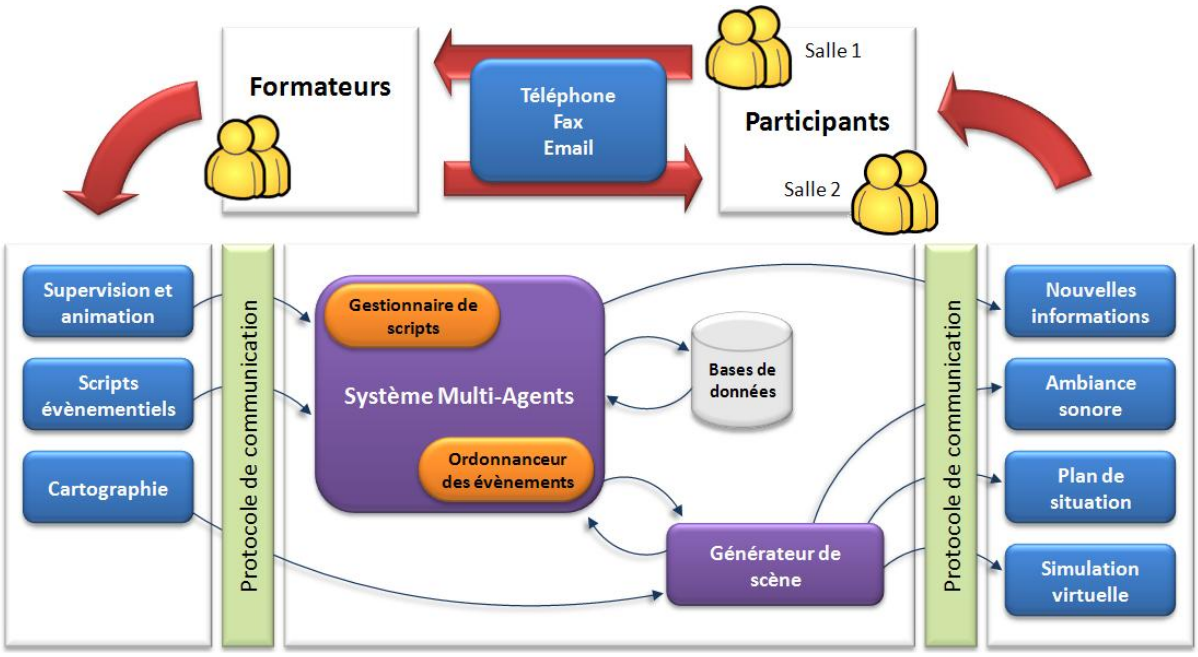


Figure 25 : composantes et interactions d'un exercice de gestion stratégique de crise.

Dans le détail, la modélisation de l'environnement social consiste à définir les acteurs de la chaine de commandement ainsi que leur comportement. L'environnement physique est quant à lui constitué des éléments impliqués dans le scénario et d'une représentation crédible de leurs interactions. Le système multi-agents, cœur de simulation, comprend à l'échelle macroscopique l'environnement de la situation de crise, les autorités et institutions situées dans la partie stratégique de la chaine de commandement et les groupes constitués des personnes et organismes concernés de façon indirecte par la situation d'accident. Bien que ces éléments apparaissent comme étant très globaux, procéder à leur décomposition en sous-systèmes permet néanmoins de diminuer leur complexité. C'est pourquoi, sur la base du système général proposé à la figure 20 (cf. p114), l'environnement de la situation de crise, les autorités supérieures hiérarchiques ainsi que les acteurs impliqués indirectement vont être précisés. L'objectif est de qualifier les interactions entretenues par chacun de ces sous-systèmes afin d'identifier celles qui relèvent du système multi-agents, et celles qui sont à la charge des formateurs.

8.1.1. Le sous-système « environnement de la situation de crise »

Dans le but d'implémenter les agents du futur SMA, il convient de caractériser l'environnement de la situation de crise. Comme le montre la figure 26 qui suit, il est choisi de caractériser ce dernier par trois sous-systèmes qui sont : l'aléa, les enjeux et les dispositifs de réponse opérationnelle.

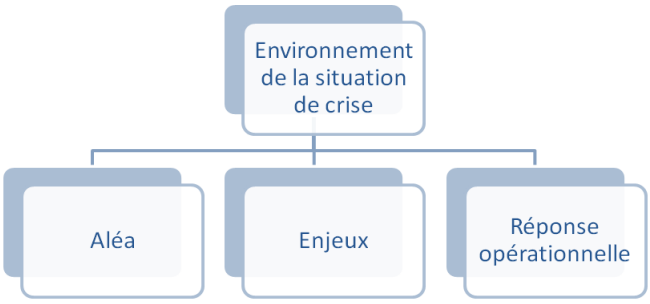


Figure 26 : décomposition du système « environnement de la situation de crise ».

L'aléa est défini par la situation initiale et les phénomènes dangereux associés. En se basant sur le rôle de la Sécurité Civile, qui est la protection des personnes, des biens et de l'environnement, une typologie des enjeux peut ensuite être définie. La figure suivante présente la structure retenue :

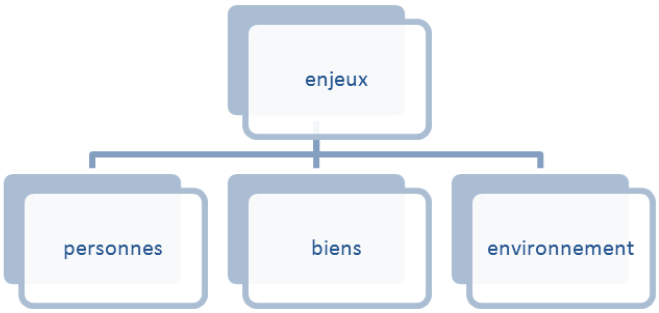


Figure 27 : le sous-système « enjeux ».

Les enjeux humains sont catégorisés essentiellement selon des critères de quantification (une densité de population par exemple). Cependant, des enjeux humains particuliers peuvent être distingués, comme les populations locales sédentaires, les populations fréquentant les différents types d'Etablissements Recevant du Public (ERP) et les usagers des différentes voies de communication. En cas d'accident majeur, les critères d'appréciation de l'exposition des enjeux humains face aux conséquences de la crise sont principalement liés aux notions de densité et de degré de mobilité lorsque la réponse opérationnelle nécessite de soustraire la population d'une zone d'effet d'un phénomène dangereux. Dans le cas présent, la densité de population est considérée comme dépendant du caractère urbain, périurbain ou rural de la zone concernée, et que le degré de mobilité fait référence aux capacités physiques des catégories de population, à la connaissance du territoire, aux types de moyens de transport utilisés, aux capacités d'absorption d'un flux de circulation et à la fréquentation des points concernés.

La typologie des enjeux humains peut être caractérisée de la façon suivante [Tixier, Dandrieux *et al.*, 2006] :

- Les populations locales sédentaires (urbaines, périurbaines, rurales),
- Les personnes présentes dans les ERP (cf. annexe II pour consulter les types et les catégories d'Etablissements Recevant du Public retenus),
- Les usagers des voies de communication (autoroutes, routes nationales, réseau secondaire, voies ferrées, voies aériennes, voies navigables).

La catégorisation des enjeux matériels, en matière de gestion de crise, repose sur des critères d'appartenance de ces enjeux aux éléments indispensables à la mise en œuvre de la réponse opérationnelle, à la sauvegarde d'éléments essentiels à la poursuite des activités de la société ou à la protection de biens matériels, d'ordre public ou privé. Ces enjeux matériels recoupent ainsi la notion de réseaux vitaux. Les catégories d'enjeux matériels peuvent être définies comme suit [Tixier, 2003 ; Dautun, 2007] :

- Les réseaux de transport, comprenant les éléments structurels nécessaires à la circulation des moyens de secours, au déplacement des populations devant être soustraites à la zone d'effets de l'accident et à la circulation des personnes et des biens de façon plus générale. Ces réseaux de transport sont de type routier, ferré, aérien et navigable.
- Les réseaux de distribution d'énergie, liés à la production, le transport et la distribution d'électricité, de carburant et de gaz, nécessaires au dispositif de secours et au fonctionnement macroscopique de la société.
- Les réseaux d'eau, qui regroupent les éléments permettant la production, le transport et la distribution de l'eau potable et de l'eau à destination des secours, ainsi que le réseau de collecte et de traitement des eaux usées.
- Les réseaux de télécommunication, qui sont non seulement impliqués dans le fonctionnement du dispositif de secours mais aussi dans celui de la société. Il s'agit principalement des réseaux filaire, hertzien et satellitaire.
- Les services de sécurité publique, c'est-à-dire les services de secours, de soin et de maintien de l'ordre, impliqués dans la réponse opérationnelle, et de façon plus globale dans le fonctionnement normal de la société.
- Les services à la population, relatifs à l'industrie, l'agriculture, le commerce, l'enseignement et la recherche, la finance, l'administration, la culture, les loisirs et le culte.
- L'habitat privé, qui distingue les habitats individuels et collectifs.

Enfin, une typologie d'enjeux environnementaux basée sur les catégories suivantes peut être établie [Tixier, Dandrieux *et al.*, 2006] :

- Les terres agricoles,
- Les espaces naturels,
- Les espaces naturels protégés,
- Les milieux aquatiques.

Le sous-système « réponse opérationnelle » est quant à lui composé des acteurs du dispositif de réponse opérationnelle agissant sous la direction du DOS (cf. figure 28 ci-après). Les institutions classiquement impliquées dans l'organisation de la réponse de Sécurité Civile sont : les Services Départementaux d'Incendie et de Secours (SDIS), les services de Police et de Gendarmerie, et le Service d'Aide Médicale d'Urgence (SAMU/SMUR). D'autres institutions participent au dispositif en fonction des conséquences de l'évènement et de la stratégie définie par le DOS, essentiellement des services des collectivités territoriales apportant un appui en termes d'expertise, de compétences techniques ou de mise à disposition de matériel et de personnel.

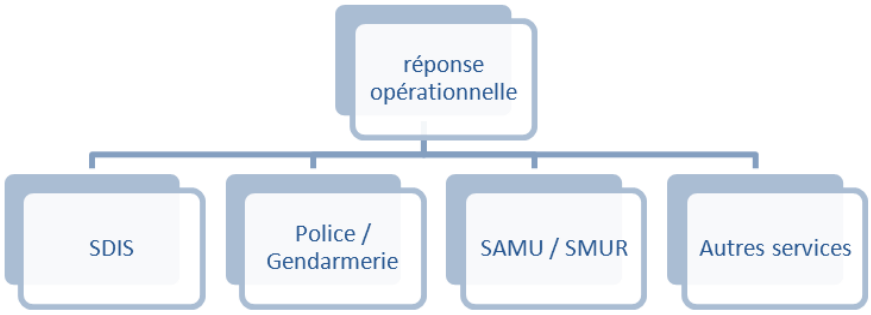


Figure 28 : le sous-système « réponse opérationnelle ».

8.1.2. Le sous-système « autorités et supérieurs hiérarchiques »

Les autorités et supérieurs hiérarchiques sont les institutions donneuses d'ordre et auxquelles la cellule de crise est chargée de rendre des comptes quant à l'évolution de la situation et de la mise en œuvre de la stratégie de la réponse opérationnelle.

8.1.3. Le sous-système « acteurs impliqués indirectement »

Ce sous-système est composé des acteurs soit impliqués indirectement soit partie prenante du processus de gestion de crise. Ainsi, la population au sens large n'est pas impactée directement par la catastrophe. Pourtant, celle-ci a des répercussions sur le fonctionnement global de la société, sur la perception de l'évènement. Les médias font également partie de ce sous-système, de par leur influence sur la perception publique qu'ils entrainent en relatant les faits, ainsi que par les sollicitations qu'ils peuvent manifester à l'endroit de l'équipe de gestion de crise. D'autres acteurs peuvent encore être cités à titre d'exemple, et pour les mêmes motifs, comme les commerçants, les hôteliers, les diverses associations ou toute autre communauté susceptible de s'estimer impactée à court, moyen ou long terme par les conséquences de l'évènement catastrophique.

8.1.4. Echelle des interactions entre les sous-systèmes

Les interactions entre les éléments constitutifs du système sont de différentes natures. A l'échelle macroscopique du premier niveau de modélisation, les interactions sont principalement de l'ordre de l'échange d'informations. Lorsque la décomposition en sous-systèmes est plus détaillée, les interactions de type flux apparaissent. D'une part, les interactions à l'échelle macroscopique concernent principalement les sous-systèmes « environnement de la situation de crise », « autorité et supérieurs hiérarchiques » et « acteurs impliqués indirectement » entre lesquels les interactions sont constituées de remontées d'informations, en direct ou via la cellule de crise, depuis la situation sur le terrain vers les autorités, des informations produites par les médias ou issues de rumeurs. Lorsque le niveau de détail du modèle augmente, des interactions

d'ordre local apparaissent d'autre part. Ainsi, les flux de circulation représentent les déplacements de populations, des moyens de secours, ou encore des victimes. Les interactions regroupent aussi les flux de danger liés aux effets physiques des phénomènes sur les autres composantes du système, et par voie de conséquence, les limitations sur les effets des moyens de secours mis en œuvre en réponse à l'évènement.

8.2. Définition des objectifs pédagogiques

La définition des objectifs pédagogiques intègre les composantes des sous-systèmes précédents et vont être structurés au moyen des trois types suivants : les objectifs généraux, intermédiaires et spécifiques. Une attention particulière doit ensuite être portée à leur formulation de manière claire, précise et sans ambiguïté, de façon à guider la conception et l'animation de l'exercice et à permettre l'évaluation des participants.

8.2.1. Les six objectifs généraux pris en compte

L'objectif pédagogique général retenu est d'amener les participants à améliorer les compétences nécessaires à la gestion de crise. En pratique, les compétences suivantes ont été précédemment identifiées : l'anticipation, la communication, la coopération (travail d'équipe), la gestion du stress, la prise de décision, la capacité à assurer la direction stratégique d'un groupe [Rasmussen, 1983 ; Fredholm, 1999 ; Weisæth, *et al.,* 2002 ; Endsley, 2003 ; Crichton *et al*., 2004]. Il s'agit des éléments constituant l'objet général des exercices qui vont être réalisés et qui impliquent le détail d'objectifs intermédiaires plus factuels d'un point de vue pédagogique.

8.2.2. Les cinq objectifs intermédiaires proposés

L'étape suivante du processus d'ingénierie pédagogique consiste en la déclinaison des objectifs généraux en objectifs intermédiaires, lesquels peuvent être techniques ou non-techniques, organisationnels comme psychologiques. Sur la base d'analyses de REX et d'entretiens réalisés auprès d'experts en gestion de crise (CEDRE, BSPP, INHESJ), nous définissons dès lors cinq objectifs intermédiaires. Durant la session de formation, les participants vont devoir mobiliser des compétences, acquérir des savoirs, des savoir-faire et des savoir-être relatifs à :

- La gestion des impacts,
- La gestion de la réponse,
- La gestion de la cellule de crise,
- La communication de crise,
- Et la vision à court, moyen et long terme.

8.2.3. Les seize objectifs spécifiques retenus

De la même manière, nous déterminons les objectifs pédagogiques spécifiques qui doivent permettre de générer des situations didactiques propices à l'acquisition de savoirs, savoir-faire et savoirs-être désignés par les objectifs intermédiaires.

Les objectifs spécifiques proposés pour la gestion des impacts sont les suivants :

- L'évaluation de l'aléa pour laquelle il s'agit de mettre en œuvre des modèles physiques, de déterminer des seuils d'effets et d'analyser les résultats. Les savoirs activés sont relatifs à la connaissance des phénomènes dangereux et de leurs modèles, et à la connaissance des seuils d'effets. Les savoir-faire nécessaires sont la collecte des données d'entrée des modèles, l'utilisation de ces modèles, le choix des seuils d'effets, la détermination des distances d'effets et la justification des distances d'effets. Le savoir-être qui intervient au cours de la réalisation de ces tâches est la capacité d'arbitrage des participants et en particulier celle du décideur.
- La détermination des enjeux impactés. Les participants sont amenés à mettre en œuvre des savoirs relatifs à la connaissance des types d'enjeux, mais également des savoir-faire dans la détermination des enjeux face à l'évènement dont il est question en termes de collecte et d'analyse des données recueillies.
- La préservation des enjeux menacés. Pour ce faire, les participants doivent notamment posséder les savoirs notamment relatifs aux réseaux vitaux. Les savoir-faire en jeu pour réaliser cette mission incluent la capacité à collecter et à exploiter les données relatives aux enjeux menacés, la capacité à définir un périmètre d'exclusion (points de bouclage, itinéraires de substitution, mesures et équipements de protection, etc.), la capacité à déterminer la faisabilité d'une action et à assurer le suivi des actions engagées.

Concernant la gestion de la réponse, il est possible de retenir les objectifs spécifiques qui suivent :

- La définition de stratégies de retour à la normale. Les savoirs dont il est question pour réaliser cet objectif sont relatifs à la connaissance des moyens (pouvoirs de police administrative, etc.), immédiatement disponibles ou mobilisables sur réquisition, et une estimation des délais d'acheminement. En termes de savoir-faire, la définition de la stratégie implique la capacité à définir des objectifs, à déterminer la réponse tactique et opérationnelle nécessaire à l'accomplissement d'un objectif, l'évaluation de l'adéquation de ces moyens, la capacité de planification dans le temps et la capacité de suivi des actions engagées. Concernant les savoirs-être que les participants vont exercer pour atteindre cet objectif, ils relèvent des capacités à hiérarchiser des objectifs et à déterminer des priorités.
- La gestion des renforts, qui nécessite la connaissance des moyens existants et leur destination d'emploi. Elle fait également appel à des savoir-faire pour la collecte des données relatives aux moyens disponibles, la détermination des délais d'acheminement, et le suivi.

Au sujet de la gestion de l'équipe de gestion de crise dans sa dimension humaine, les objectifs spécifiques identifiés sont :

- L'analyse de la situation, qui passe par la capacité des participants à maitriser les informations relatives aux retours tactiques et opérationnels. Ceci entraine la mise en œuvre de savoir-faire pour collecter l'information perceptible, la vérifier, la hiérarchiser, la diffuser, construire une représentation claire de la situation, réaliser un suivi et un archivage des actions engagées, et à faire des synthèses de la situation.
- La direction stratégique, laquelle concerne le ou les décideurs, et passe essentiellement par l'activation de savoirs-être. Elle se manifeste par l'affirmation du rôle de responsable, notamment lors des réflexions de groupe, la capacité à déléguer, et la capacité à déroger aux procédures lorsque cela s'avère nécessaire. Le ou les responsables doivent également maitriser les savoir-faire tels que la capacité à hiérarchiser les objectifs et à définir des priorités.
- L'arbitrage, qui peut être observée soit sous l'angle des savoirs-être, comme la capacité des participants à prendre des décisions, soit sous celui des savoir-faire, l'arbitrage consistant en effet à définir des objectifs, à justifier des décisions et à formuler des ordres et des consignes auprès d'autres intervenants.
- La communication au sein de l'équipe de gestion de crise. En termes de savoirs-être, il s'agit d'être capable d'échanger des informations dans un référentiel mental partagé. En termes de savoir-faire, cela se traduit par le choix des canaux de communication idoines et par la capacité à mettre en commun les informations.
- La gestion humaine de la cellule, qui passe essentiellement par la mise en pratique de savoirs-être, tels que le management du stress ou la capacité à entretenir la coopération et la collaboration entre les membres du groupe.
- La gestion des moyens, humains et matériels de l'équipe dont la gestion consiste en la définition des missions confiées à chacun et en la coordination des moyens : il s'agit ainsi de savoir-faire.

La communication de crise qui peut être envisagée sous trois angles. Le premier concerne la communication qui s'adresse aux médias, le second est celui de la communication à destination des autorités et le troisième est celui de la communication publique. Dans le détail, la typologie retenue distingue :

- La communication avec les médias qui comprend trois composantes principales : la veille, la préparation de la stratégie de communication et la diffusion des messages. La première nécessite des savoir-faire et elle consiste à collecter l'information et à la vérifier. La seconde nécessite la mise en pratique de savoir-être, puisqu'il s'agit de concevoir un message cohérent et de définir si la communication va avoir lieu de façon spontanée ou en réponse à une demande. La diffusion active quant à elle des savoirs-être lorsqu'il est question de communiquer et des savoir-faire pour ce qui est du choix des destinataires, de la sélection du canal de transmission et de la capacité à définir un message approprié.
- La communication avec les autorités, laquelle peut être observée en termes de savoir-faire, comme la manifestation de capacités à rédiger des comptes-rendus, à justifier des décisions et à dresser un bilan de la situation.

- La communication avec le public concerne enfin les échanges avec les populations, les associations, les entreprises et tout groupe d'individus ne faisant pas partie des deux classes précédentes. Cette aptitude active des savoir-faire en rapport avec la définition d'un bilan de la situation, la diffusion de consignes et l'information sur l'évolution de la situation, tout en conservant une cohérence avec la stratégie globale de gestion de crise adoptée.

La vision à court, moyen et long termes peut enfin être appréhendée par des compétences liées à :

- La mise en pratique des capacités de veille et de prévision,
- L'identification de scénarios d'évolution, la hiérarchisation de ces scénarios, la détection de signaux avertisseurs et l'anticipation sur la gestion des impacts directs.

Le tableau 7 ci-après hiérarchise les objectifs qui viennent d'être explicités en indiquant les axes pédagogiques mobilisés.

Tableau 7 : hiérarchisation des objectifs pédagogiques et des compétences mobilisées.

<table>
<tr><th>Objectifs intermédiaires</th><th>Objectifs spécifiques</th><th>Savoir</th><th>Savoir-faire</th><th>Savoir-être</th></tr>
<tr><td rowspan="3">Gestion des impacts directs</td><td>Evaluation de l'aléa</td><td rowspan="3">Connaissance des phénomènes
Connaissance des modèles
Connaissance des effets
Connaissance des enjeux (typologie)
Connaissance des enjeux (typologie) dont réseaux vitaux</td><td rowspan="3">Collecte des données d'entrée des modèles physicochimiques
Utilisation des modèles ou des outils de modélisation
Choix des seuils d'effets
Détermination des distances d'effets
Collecte des données relatives aux enjeux
Exploitation des données relatives aux enjeux
Collecte des données relatives aux réseaux vitaux
Exploitation des données relatives aux réseaux vitaux</td><td rowspan="3">Analyse</td></tr>
<tr><td>Détermination des enjeux impactés</td></tr>
<tr><td>Préservation des enjeux menacés</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Gestion de la réponse</td><td>Choix des stratégies de retour à la normale</td><td rowspan="2">Connaissance des moyens
Connaissance des pouvoirs de police administrative
Connaissance des moyens disponibles (typologie)</td><td rowspan="2">Détermination de la réponse opérationnelle
Adéquation des moyens
Planification et suivi des actions engagées
Périmètre d'exclusion, points de bouclage, itinéraires de substitution
Etude de la faisabilité des actions
Suivi des actions engagées
Collecte des données relatives aux moyens disponibles
Evaluation du temps d'acheminement
Suivi des renforts</td><td rowspan="2">Hiérarchisation des objectifs
Définition des priorités</td></tr>
<tr><td>Gestion des renforts</td></tr>
</table>

Objectifs intermédiaires (suite)	**Objectifs spécifiques**	**Savoir**	**Savoir-faire**	**Savoir-être**
Gestion de la cellule	Analyse de la situation		Acquisition / collecte des informations disponibles Vérification et hiérarchisation de l'information Représentation / Synthèse claire (plan de la situation) Archivage et suivi des actions engagées (main courante, etc.) Définition et hiérarchisation de la stratégie globale Justification des décisions Formulation des ordres et consignes Mise en commun de l'information Définition des rôles et des missions Coordination des moyens engagés	Affirmation du rôle de leader Définition des priorités stratégiques Capacité à déléguer Déroger aux procédures si nécessaire Prise rapide de décisions Capacité à échanger les informations Gestion du stress Coopération
	Direction stratégique			
	Arbitrage			
	Communication			
	Gestion humaine			
	Gestion des moyens			
Communication de crise	Médias	Suivi médiatique	Collecte de l'information diffusée Vérification de l'information Préparation de la stratégie de communication Construction du message Choix des destinataires Choix du canal de transmission Efficacité du message Etablissement de comptes-rendus Justification des décisions Bilan de la situation Consignes Suivi des instructions données	Cohérence du message Capacité de communication spontanée ou sur demande Persuasion
	Autorités			
	Public, population			
Vision à court, moyen et long terme	Veille, prévision		Identification des scénarios Hiérarchisation des scénarios Intégration des signaux avertisseurs Anticipation sur la gestion des impacts	Démarche d'anticiper
	Evolutions possibles			

8.3. Méthode de génération d'un scénario de crise

8.3.1. Formulation des contraintes

Au cœur de la conception d'un exercice de formation se trouve la détermination du scénario de crise, qui doit notamment définir les informations qui sont accessibles par la cellule de crise. Afin de garantir la qualité du scénario de crise proposé, plusieurs contraintes ne doivent pas être négligées [Crampes *et al.*, 1999] :

- La crédibilité : les situations doivent être à la fois représentatives de la réalité et présenter un intérêt pédagogique.
- La véracité : les savoirs qui vont être transmis doivent être les plus proches possibles des objectifs de formation.
- L'implication : aptitude du scénario à faire entrer les participants dans la situation.
- La distanciation : définir si les acteurs doivent avoir un recul sur leurs actions afin de pouvoir les juger ou non (jouer sur leur taux d'implication).

La démarche de conception doit prendre en compte les recommandations génériques aux environnements semi-virtuels de formation, en les adaptant pour les rendre compatibles avec les exigences de la formation à la gestion de crise. Les facteurs clefs relèvent :

- De dilemmes : le scénario comporte beaucoup d'incertitudes et converge vers un problème pour lequel il n'y a pas de réponse juste et unique,
- Du jeu de rôles : les participants assurent des rôles définis,
- De limites : la quantité d'information disponible est congrue et les décisions doivent être prises dans un temps limité,
- De discussions : issues d'une coopération ouverte entre les participants qui doit favoriser l'émergence et la critique de stratégies,
- D'imprévus : qui sont des évènements influant sur l'évolution de la situation durant l'exercice, lesquels peuvent dépendre directement des options retenues par les participants comme d'éléments extérieurs.

Dans tous les cas, un scénario se compose de l'univers créé, des acteurs (internes et externes) et des relations entre action et évolution. La nature de la crise constitue un facteur qui va non seulement influer sur le type de réponses qui peuvent être apportées par une cellule de crise mais aussi sur la perception de la situation. En effet, une crise peut avoir pour origine un évènement déclencheur naturel ou technologique et il a par exemple été démontré qu'une catastrophe imputable à l'homme est beaucoup plus traumatisante pour la société qu'un désastre naturel, du fait de son imprévisibilité, de son caractère incontrôlable et de la culpabilité qu'elle engendre : plus le lien de causalité entre l'homme et l'origine de la crise est fort, plus la sévérité du jugement humain et les facteurs de stress augmentent conjointement.

8.3.2. Modèle retenu

Les phases retenues pour la génération d'un scénario de crise s'inspirent des travaux de Morin [Morin *et al.*, 2004] auxquels nous ajoutons les contraintes évoquées ci-avant, à savoir :

- L'analyse de la structure du scénario : détermination des acteurs principaux, des facteurs limitant et des activités parallèles qui nécessitent de la coopération.
- La définition d'un contexte global ou d'une trame spécifique : afin de distinguer les besoins des décisionnaires d'être soit confrontés à des situations imprévues, soit impliqués dans la gestion d'une crise déjà vécue.
- La représentation du scénario : interactions entre les différents évènements et les ressources.
- La collecte des données : récupération de données réelles afin de se recréer une situation plausible.
- La visualisation : mise en forme de toutes les données collectées et des modélisations réalisées afin de créer une interface utilisable.
- La documentation : création d'une base de données facile d'accès et regroupant toutes les informations nécessaires ainsi que les procédures existantes.

Il convient alors de considérer la caractérisation des besoins en termes d'objectifs pédagogiques (généraux, intermédiaires et spécifiques) et d'éléments qui doivent être perceptibles en cours d'exercice. Cette première étape de formulation va ensuite être analysée pour établir l'objectif de la visualisation, les exigences imposées par l'environnement global et les limitations impliquées par la stratégie de simulation. Cette étape passe ainsi par la modélisation du système à simuler et la caractérisation des évènements qui constituent le scénario. Il est recommandé d'utiliser à ce stade une méthode de modélisation rigoureuse, permettant de prendre en compte les interactions susceptibles d'intervenir en situation réelle, afin que celles-ci puissent être simulées par le système multi-agents. Le modèle global est ensuite implémenté, soit sous la forme d'une trame spécifique d'un évènement catastrophique de référence, soit en s'inscrivant dans la problématique d'un scénario fictif. Il s'agit par exemple de spécifier la localisation géographique et les types d'évènements à simuler, de caractériser les éléments de briefing ainsi que d'identifier les stratégies (actions et décisions) attendues des participants.

Puis, le modèle ainsi constitué va être soumis à une évaluation qui a pour but de déterminer s'il fournit une représentation valable du scénario par rapport aux contraintes pédagogiques établies auparavant. Après avoir notamment caractérisé les agents généraux, réactifs et archétypiques impliqués, le modèle est en effet examiné pour étudier son adéquation avec les objectifs formulés lors de la première étape. Si le modèle répond à toutes ces exigences, il est alors accepté et peut être soumis lors d'une session de formation. Dans le cas contraire, les étapes précédentes sont réitérées de telle sorte que le modèle soit modifié, soit pour correspondre aux besoins si cela est possible, soit pour modérer les contraintes initiales afin qu'une alternative simplifiée puisse être constituée. Ce processus, structuré en trois phases (cf. figure 29, page suivante), intègre l'ensemble des dimensions évoquées précédemment en proposant un guide de conception d'un scénario pédagogique de gestion de crise, basé sur la simulation multi-agents.

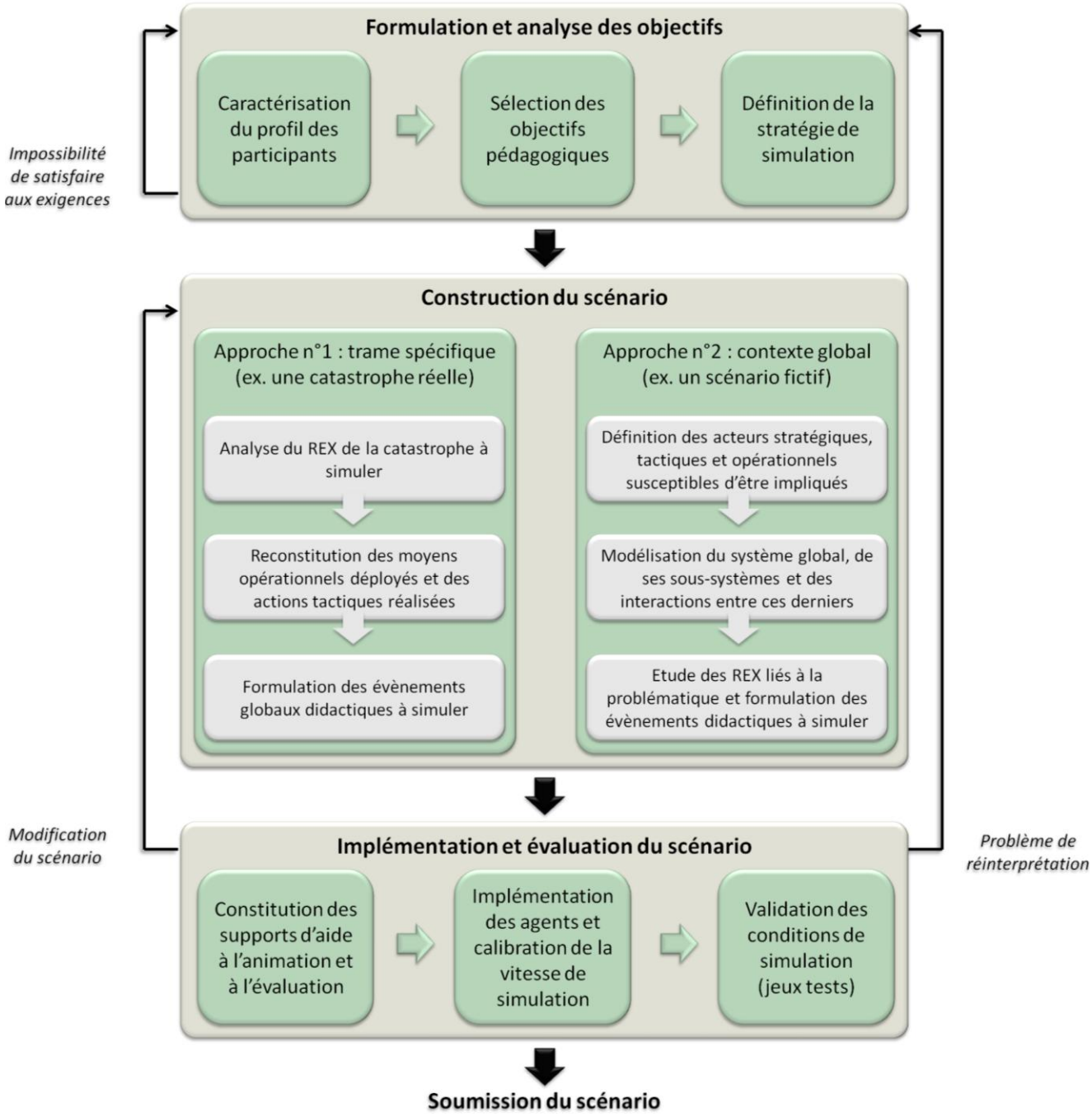


Figure 29 : guide de conception d'un scénario de gestion de crise.

Il est à noter que chaque équipe de gestion de crise peut être décrite en termes d'attributs, c'est à dire ses prérogatives, son autorité de rattachement, son positionnement dans la chaine de commandement, et son niveau de responsabilité par exemple. Le travail de modélisation du scénario doit ainsi s'attacher à définir les aspects physiques (phénomènes dangereux, conséquences, etc.) ou sociaux (intervenants, populations, médias, etc.) impliqués par la crise et sa gestion. Selon l'angle sous lequel elles sont étudiées, certaines entités peuvent appartenir aux deux types d'environnement de manière simultanée ou séquentielle. A une échelle locale, les intervenants peuvent appartenir au modèle de l'environnement social, dans le sens où ils

s'organisent pour apporter une réponse collective à un évènement donné, mais ils peuvent aussi appartenir au modèle de l'environnement physique lorsqu'est considère par exemple le déplacement ou la position d'un véhicule de secours dans son environnement géographique.

8.4. Définition d'une typologie d'évènements de scénario

Polti a proposé une théorie – enrichie par la suite par Souriau – selon laquelle il existe pour tout type de scénario un nombre fini de situations de base. L'auteur entend par « situation dramatique » tout évènement déterminant susceptible de mettre en action des personnes ou des ressorts fondamentaux autour desquels s'articulent tous types de scénarios. Résoudre un problème, sauver une victime, être audacieux ou imprudent, telles sont quelques-unes des situations identifiées [Polti, 1916 ; Souriau, 1950]. Les comprendre et les maîtriser paraît ainsi essentiel pour une connaissance intime des tenants et des aboutissants qui constituent en substance un scénario, quel qu'il soit. D'un point de vue de la caractérisation d'un exercice de simulation, un évènement lié à un objectif pédagogique nécessite ainsi d'expliciter les tâches et les compétences concernées [Joab *et al*., 2000]. Il est à ce titre choisi d'employer le terme « couple situation-tâches » pour tout évènement suffisamment important pour impliquer la mobilisation impérative d'une ou de plusieurs compétences clefs en gestion de crise afin d'adopter une stratégie de réponse adaptée.

Pour refléter la diversité des séquences pouvant intervenir dans un exercice de gestion de crise, il est proposé une typologie d'évènements distinguant :

- Les couples situations-tâches,
- Les phénomènes,
- Et les perturbations.

Il convient qu'un phénomène dangereux soit descriptible par un modèle programmable. Un couple situation-tâches est défini comme une inflexion scénarique pouvant être précontrainte a priori ou ajoutée en cours d'exercice pour des motifs pédagogiques. Une perturbation est enfin considérée comme la survenue optionnelle, et probablement par surprise, d'une situation imprévue, susceptible de conduire les participants vers un état modifié de la crise simulée. Par exemple, un ensemble d'évènements déclencheurs peut entrainer la naissance d'une situation dangereuse dont la gestion est susceptible d'être gênée par des facteurs perturbateurs extérieurs. La typologie proposée traduit en particulier l'approche retenue selon laquelle le réalisme du scénario simulé dépend de la modélisation d'un ou de plusieurs phénomènes physiques, lesquels vont entrainer par voie de conséquence de nouveaux évènements.

8.4.1. Les couples situation-tâches

La définition détaillée des objectifs pédagogiques permet de construire des évènements qui vont conduire les participants vers des situations favorisant l'apprentissage des savoirs, savoir-faire et savoirs-être identifiés. La détermination de ces jalons scénariques est issue de l'analyse croisée des critères dérivés des objectifs

pédagogiques et des situations de travail dans lesquelles l'observation de ces critères se produit. Le traitement de ces situations nouvelles peut d'une part être réalisé à l'initiative des participants, auquel cas il s'agit de s'assurer qu'il est mené de façon à pouvoir observer leurs connaissances et le cheminement qui les conduit à déterminer une stratégie de réponse. Lorsque le traitement n'est pas spontanée, les formateurs sont alors chargés d'injecter d'autre part dans le scénario les éléments qui vont conduire les participants à se pencher sur certaines tâches spécifiques, auquel cas les interventions didactiques doivent rester le plus implicite possible.

C'est pourquoi, l'accompagnement des participants vers une tâche qui n'aurait pas été réalisée ou dont le cheminement n'est pas assez explicite pour en permettre l'évaluation doit avoir une portée générale dans un premier temps, puis de plus en plus ciblée si nécessaire. A titre d'exemple, les évènements qu'il est possible d'injecter pour amener les participants à déterminer les distances d'effets sont la demande par la CMIC des résultats des simulations d'évaluation des conséquences. Afin de créer des situations d'arbitrage, les données relatives à l'évaluation du terme source peuvent être volontairement peu précises et dans la mesure du possible, les rôles peuvent être confiés aux participants de façon à ce que plusieurs modélisations soient réalisées. De la même façon, afin de conduire à la hiérarchisation des objectifs, le scénario peut se dérouler de façon à ce que les moyens disponibles ne soient pas suffisants pour réaliser l'ensemble des objectifs déterminés par la cellule de crise. Les participants doivent alors tenir compte de la courbe de montée en puissance des renforts et déterminer des priorités. Puisque le mode d'apprentissage sollicité par le jeu de simulation en environnement semi-virtuel est principalement l'apprentissage par l'action, il est préconisé que soient proposés des scénarios d'exercice dans lequel l'attitude des participants soit proactive. Une mise en situation dans laquelle ils ont une réelle influence sur l'évolution de l'exercice doit donc être privilégiée.

8.4.2. Les phénomènes

Rappelons tout d'abord que la problématique étudiée dans le cadre de ce travail relève du domaine des risques majeurs. Comme l'illustre la figure ci-dessous, les phénomènes identifiés comme entités simulables par le système multi-agents sont ainsi d'origine soit anthropique soit naturelle.

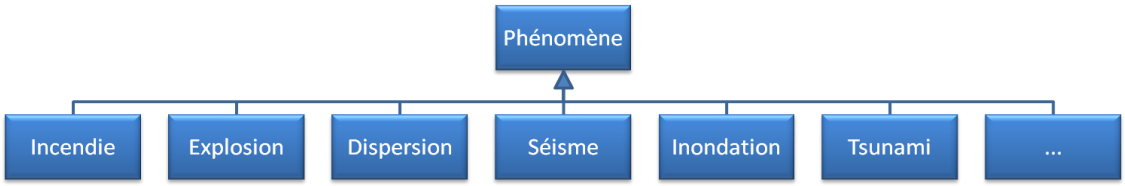


Figure 30 : présentation condensée de la typologie de phénomènes.

Afin de faciliter l'intégration des phénomènes en tant qu'agents du SMA, il est proposé que leur structuration soit analogue à celle utilisée en développement informatique. Chaque élément de la typologie présentée dans la figure ci-dessus va être traité comme une classe d'objets logiciels participant à une hiérarchie de phénomènes. Plus une branche de la typologie est détaillée, plus l'agent est dit spécialisé, tandis que les

classes les plus proches du point d'origine correspondent à des types d'agents généralisés. A titre d'exemple, la classe « Phénomène » identifie le niveau le plus abstrait de la typologie, et peut être spécialisé en phénomène d'incendie. Ce mécanisme s'appelle un héritage au sens où chaque agent spécialisé hérite non seulement du type de son agent parent mais aussi de ses caractéristiques. De ce fait, si la hauteur de flamme est une propriété générale située dans la classe « Incendie », alors tout agent spécialisant ce type de départ pourra utiliser et modifier cette propriété partagée.

Dans le détail, un premier sous-ensemble de phénomènes physiques susceptibles de se produire lors d'une crise et s'accompagnant de flux dangereux est retenu. Comme le détaille la figure 31 (p142), les trois types d'agents traités sont : l'incendie (feu de nappe, feu torche, etc.), l'explosion (BLEVE, UVCE, etc.), et la dispersion (atmosphérique ou aquatique). Les pointillés rouges indiquent la naissance possible d'un phénomène appartenant à une autre branche de la hiérarchie tandis que les pointillés noirs représentent des liens de spécialisation dont les principales préconditions sont mentionnées. Une boule de feu est entendue comme un phénomène de combustion de durée intermédiaire (quelques secondes). Un flash fire est considéré comme un phénomène de propagation rapide et d'une durée de combustion brève (de l'ordre de la milliseconde). Les autres types d'incendies (feu de torche, etc.) sont quant à eux associés à des durées plus longues (de quelques minutes à quelques heures). De la même façon, un Boil Over – bien que souvent assimilé à une explosion (évènement bref et violent) – va être considéré comme une classe héritant des propriétés d'un incendie du fait qu'il ne produit pas les effets mécaniques d'une explosion (en termes d'onde de surpression).

Pour illustrer la grille de lecture de cette typologie (cf. figure 31, page suivante), la catastrophe de Feyzin[21] va être utilisée comme exemple. Le 4 janvier 1966 à 6h40, suite à une erreur de manipulation d'un aide opérateur sur les vannes de purge d'une sphère de propane de 1200 m³, une fuite de gaz est provoquée (cf. Dispersion, Gaz liquéfié sous pression, Rejet continu, Jet gazeux). Un nuage inflammable se forme progressivement et dérive lentement jusqu'à l'autoroute voisine où la présence d'un véhicule automobile l'enflamme une demi-heure plus tard (cf. Jet gazeux, Nuage, Inflammation (gaz), Flash fire). Un violent chalumeau apparaît sous la sphère (cf. Incendie, Jet de gaz liquéfié sous pression, Feu de torche) et malgré l'arrivée des secours essayant d'éteindre la torchère géante, la sphère de propane explose brutalement vers 8h45 (cf. Explosion, Gaz liquéfié sous pression, BLEVE). La boule de feu culmine à 400 m de hauteur et des débris sont retrouvés à plus de 700 m dont l'un de 48 tonnes (cf. BLEVE, Effets missiles et BLEVE, Inflammation, Boule de feu). La simulation de cette catastrophe par le système multi-agents donnerait ainsi lieu à la création de deux premiers agents, « Jet gazeux » et « Nuage » de type « Dispersion », le premier alimentant l'autre. L'inflammation accidentelle supprimerait ces deux agents au bénéfice d'un nouvel agent « Feu de torche » de type « Incendie ». Les agents « BLEVE » et « Boule de feu » concluraient enfin la simulation du scénario précédent.

[21] BARPI - base de données ARIA : extrait du retour d'expérience de l'accident de Feyzin.

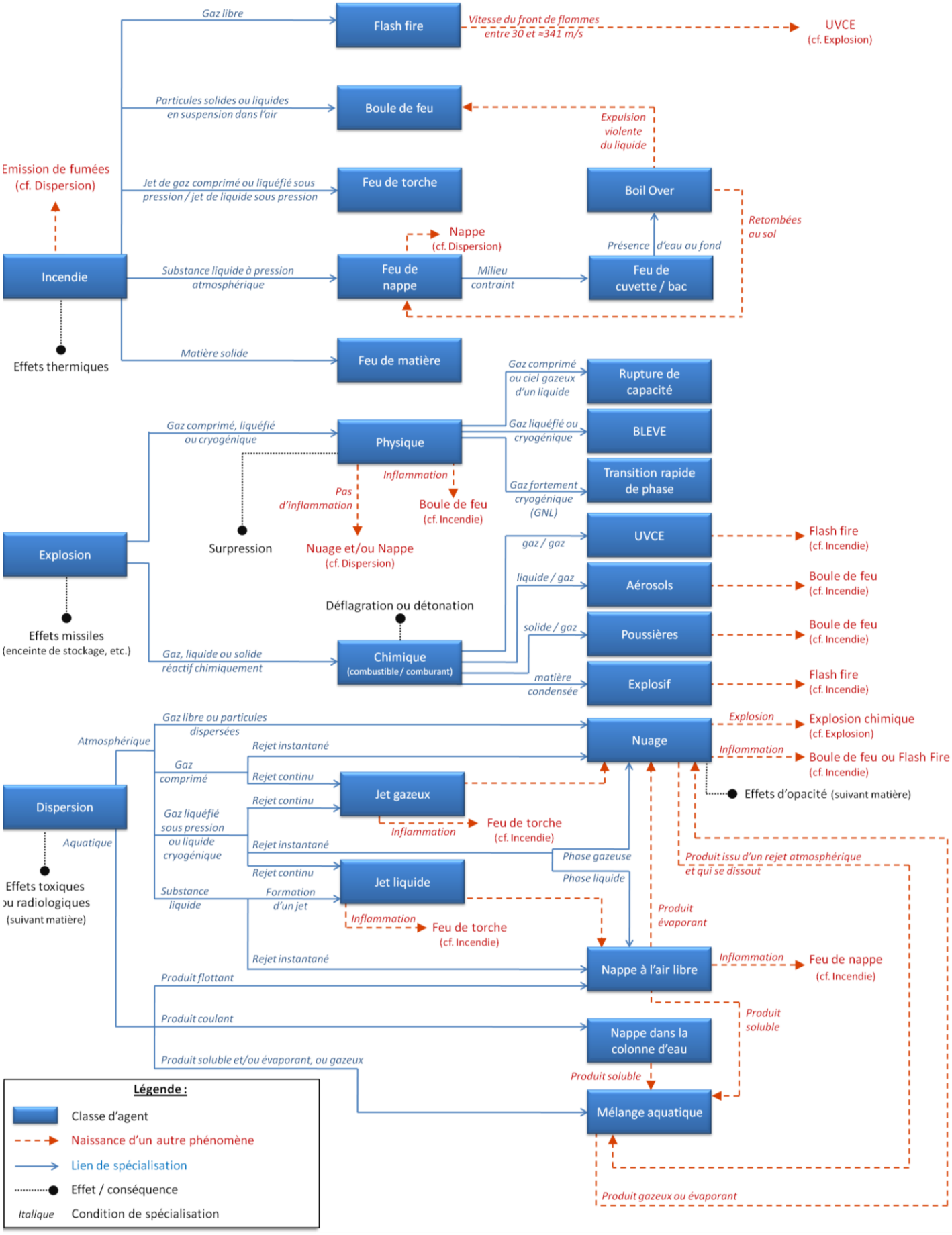


Figure 31 : première hiérarchie des phénomènes retenus.

Chaque classe d'agent est de ce fait vouée à encapsuler des modèles potentiellement dédiés, à l'instar de la dispersion aquatique qui exploite les comportements des produits afin de modéliser leur devenir. Dans ce dernier cas, le diagramme précédent doit être parcouru dans l'ordre des lettres constituant le code SEBC du produit (cf. annexe III : Standard European Behaviour Classification).

8.4.3. Les perturbations

Il est déterminé que les perturbations sont également essentielles à la simulation pédagogique notamment afin de sensibiliser les participants au travail en conditions dégradées (CTT). Par analogie avec la réalité, faite elle aussi d'imprévus, les perturbations sont vouées à contribuer à l'implication des participants dans des situations plausibles. Elles vont soit être introduites par les formateurs pour favoriser la découverte d'un nouvel apprentissage, soit être la conséquence des actions des apprenants, ou encore avoir été programmées à l'avance comme jalons scénariques.

Ces éléments cindyniques[22] rappellent les notions d'évènements non-souhaités et d'effets pervers, lesquels sont fortement impactants pour la gestion d'une crise réelle [Kervern, 1995]. Or, Dautun a identifié dans son analyse des crises, une typologie de facteurs aggravants [Dautun, 2007]. Etant donné que ceux-ci sont susceptibles de perturber l'organisation de la réponse d'urgence, il est choisi de les intégrer en tant que potentielles perturbations de la gestion de crise simulée.

Pour ce faire, ces derniers sont retraités, complétés puis reclassés afin d'obtenir une première liste de 42 perturbations possibles d'une gestion de crise. Comme le présente le tableau 8 de la page suivante, ces évènements à vocation didactique sont structurés de manière hiérarchisée en fonction de la typologie d'objectifs pédagogiques intermédiaires et spécifiques retenue précédemment.

[22] Les cindyniques regroupent les approches (aussi appelées sciences du danger) qui étudient les risques majeurs.

Tableau 8 : classement des types de perturbations en fonction des objectifs pédagogiques retenus.

Objectifs intermédiaires	Objectifs spécifiques	Types de perturbations
Gestion des impacts directs	L'évaluation de l'aléa	Causes difficilement identifiables. Signaux avertisseurs difficilement perceptibles.
Gestion des impacts directs	La détermination des enjeux impactés	Ampleur spatiale importante. Problème de remontée d'informations du terrain.
Gestion des impacts directs	La préservation des enjeux menacés	Manque de moyens d'hébergement ou d'accueil des victimes. Absence de moyens de protection adéquats. Non respect des consignes de sécurité de la part des populations.
Gestion de la réponse	Le choix de retour à la normale	Difficulté d'installation des postes de commandement et des postes médicaux avancés. Engorgement des services d'urgence.
Gestion de la réponse	La gestion des renforts	Déséquilibre entre les moyens et les besoins. Délai d'acheminement des renforts important.
Gestion de la cellule	L'analyse de la situation	Méconnaissance des processus mis en jeu (installations industrielles, etc.). Connaissance insuffisante de l'évènement déclencheur. Informations importantes non prises en compte.
Gestion de la cellule	La direction stratégique	Ambiguïtés des fonctions assurées dans la cellule de crise (peut entraîner une prise de pouvoir d'autres membres de l'équipe).
Gestion de la cellule	L'arbitrage	Manque de consensus entre les acteurs (peut engendrer des conflits). Plans non mis à jour. Informations parasites.
Gestion de la cellule	La communication interne	Problème de communication orale (langue). Méconnaissance des rôles et des actions de chacun. Echanges d'information insuffisants.
Gestion de la cellule	La gestion humaine	Acteurs (ou proches) parmi les victimes. Fatigue et frustration. Première expérience de ce type de crise. Evènements simultanés, suraccidents.
Gestion de la cellule	Les moyens matériels	Difficultés de coordination logistique. Problème de pérennité de la cellule (relève, nourriture, etc.). Absence d'inventaire des moyens. Moyens non opérationnels (pannes, etc.).
La communication de crise	Les médias	Relations difficiles avec les médias. Nombre important de médias, ou forte pression médiatique. Rumeurs.
La communication de crise	Les autorités	Absence de vision claire et synthétique des évènements.
La communication de crise	Le public	Réactions négatives des populations. Gestion difficile de groupuscules (familles, associations, etc.). Transmission difficile des informations auprès des populations.
La vision à court, moyen et long terme	La veille et la prévision	Système d'alerte inefficace, absent ou incomplet. Difficulté de prévision météorologique.
La vision à court, moyen et long terme	Les évolutions possibles	Surprise de l'évènement. Informations fausses, contradictoires. Non prise en compte des signaux avertisseurs. Météo défavorable.

8.4.4. Activation et occurrence des évènements

La difficulté globale d'un exercice de formation est une dimension primordiale dont le mauvais dosage est susceptible de dégrader l'apprentissage des participants. Moloney a en effet qualifié quatre niveaux de difficulté croissante impactant directement la qualité de l'apprentissage (cf. annexe IV : difficulté didactique et syndrome du Kobayashi Maru, pour le détail des symptômes individuels et des effets observés par les instructeurs) [Moloney, 2005] :

- Une zone de confort, dont l'absence de stress entraine un apprentissage minimal.
- Une zone limite, dont les imprévus demandent d'activer des facultés de réflexion et d'adaptation. Un bon apprentissage est observé dans cette zone.
- Une zone à risque, caractérisée par un dépassement des capacités de gestion des participants. L'apprentissage y est faible.
- Une zone de danger, qui peut entrainer une passivité partielle ou totale du participant, lequel est submergé par les évènements qu'il subit sans savoir les gérer. Cette zone provoque des symptômes de stress très important et ne s'accompagne d'aucun apprentissage.

Dans cette approche, il convient que la difficulté globale d'un scénario de crise corresponde préférentiellement à la zone limite qui maximise ainsi le rapport temps de formation / qualité de l'apprentissage. Il est proposé que l'approche EBAT soit étendue de manière à calibrer l'occurrence des évènements, des perturbations et des phénomènes, en fonction du niveau d'expertise des participants. Comme le montre le tableau 9, une progression de la difficulté de gestion d'un scénario de crise est intégrée au moyen d'une gradation du nombre de situations didactiques auxquelles les participants vont être confrontés.

Tableau 9 : gradation de la difficulté du scénario en fonction du profil des participants.

Continuum d'apprentissage	Nombre minimum de phénomènes dangereux simulés	Nombre minimum de couples situation-tâches par objectifs d'apprentissage	Nombre minimum de perturbations par situation-tâches
Néophyte	1	1	de 0 à 1
Initié	2 (ex. 1 principal et 1 suraccident)	de 1 à 2	de 0 à 2
Expert	3 (ex. 1 principal et 2 suraccidents)	de 2 à 3	de 0 à 3

Le modèle proposé permet de définir un cadre de référence pour tout scénario de crise. La figure 32 ci-après reprend les éléments méthodologiques précédents afin de spécifier, à partir d'une situation initiale, l'implication d'1 à 3 phénomènes dangereux suivant le profil des personnes formées. Puis, sur la base des 16 objectifs pédagogiques spécifiques retenus (cf. tableau 7, p134), entre 16 et 48 couples situations-tâches vont être soumis aux participants. Ces derniers vont devoir capter et traiter ces évènements perceptibles afin d'adapter leurs stratégies, prendre de nouvelles décisions, ou encore solliciter les acteurs adéquats. Enfin,

selon que les participants sont néophytes, initiés ou experts dans le domaine, une série de perturbations liées aux couples situations-tâches peut intervenir.

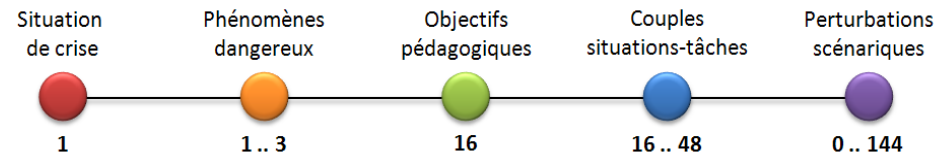


Figure 32 : guide de génération d'un scénario de crise.

Les cardinalités de la figure ci-dessus suggèrent une gamme de valeurs pour chacune des composantes du scénario de crise en fonction des coefficients indiqués dans le tableau 9 (page précédente) concernant la gradation de la difficulté du scénario en fonction du profil des participants. La figure 33 illustre le mécanisme de gradation suggéré au sein de la zone limite d'apprentissage :

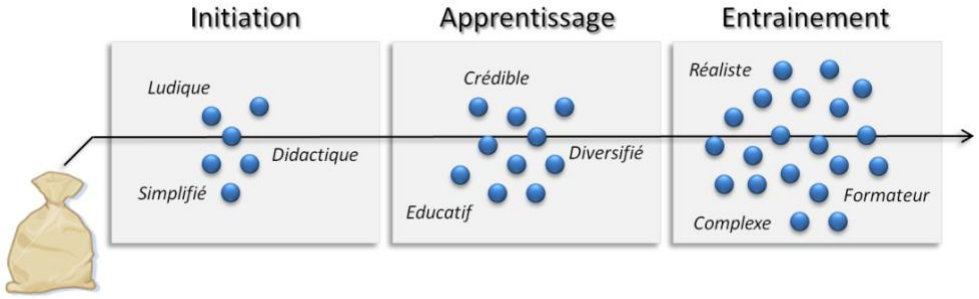


Figure 33 : illustration de l'impact du nombre d'évènements dans le continuum d'apprentissage.

Il est de ce fait recommandé que les formateurs veillent à ce que la phase d'initiation ne soit pas trop simplifiée, auquel cas les participants basculeraient en zone de confort, tout comme à ce que la phase d'entrainement ne soit pas d'une difficulté trop élevée, ce qui placerait l'exercice en zone à risque. Ainsi, d'un point de vue de l'application brute de la méthodologie proposée, si une situation de crise est par exemple proposée à une équipe de gestion de crise réelle (profils d'experts), un scénario comprenant trois phénomènes dangereux peut être soumis (par exemple : un automobiliste provoque un accident avec une citerne qui prend feu, puis lorsque le feu est éteint apparait une fuite toxique sur la citerne, laquelle fuite donnera lieu à une pollution des sols).

Si la session de formation a pour but d'évaluer les 16 objectifs pédagogiques identifiés, le scénario peut alors être théoriquement configuré afin d'activer 3 couples situations-tâches pour chaque objectif pédagogique. Les participants vont alors collectivement être confrontés à 48 situations leur demandant de mobiliser (par 3 fois dans cet exemple) chacune des 16 compétences requises pour la gestion de crise.

Dans cet exemple, l'évaluation s'attachera à contrôler que ces 48 situations ont été intégrées au processus de gestion stratégique. Ensuite, le travail en conditions dégradées (CTT) peut intervenir à travers l'occurrence

de 144 perturbations (ex. : hypermédiatisation de l'évènement rendant difficile l'intervention des secours, identification de la substance impossible à cause de l'incendie, etc.). Il est noté que ces éléments doivent être mis en cohérence avec la durée de l'exercice dans la mesure où plus un scénario est riche, plus nombreuses vont être les couples situation-tâches, et plus les participants vont avoir besoin de temps pour tous les gérer.

8.4.5. Modélisation systémique d'un scénario de crise

La modélisation d'un scénario de crise a pour objectif de décrire celui-ci au moyen d'une vue d'ensemble simplifiée, et d'identifier les facteurs qui permette de représenter ses changements possibles d'état. Il est retenu d'employer une méthode qui tienne ainsi compte de paramètres exogènes comme endogènes. Plusieurs approches coexistent en matière de modélisation systémique, permettant la construction de modèles statiques ou dynamiques, cognitifs comme décisionnels, normatifs ou encore prévisionnels [Garbolino *et al.*, 2009].

Originellement, la Méthode Organisée et Systémique d'Analyse de Risque (MOSAR) consiste à identifier les dysfonctionnements techniques et opératoires, de caractériser leurs interactions (sources de danger/flux/cibles) puis de mettre en évidence les évènements non-souhaités susceptibles d'être produits par leur enchaînement [Perilhon, 2007].

Il est ainsi possible de modéliser les scénarios d'évolutions au sein d'un système étudié. Ce dernier est décomposé si besoin en sous-systèmes (SS1, SS2, etc.), afin de constituer un ensemble de boîtes noires. Comme le montrent les deux figures qui suivent, les entrées de ces boîtes sont des évènements déclencheurs (causes) et les sorties correspondent aux évènements non-souhaités générés par le sous-système (conséquences).

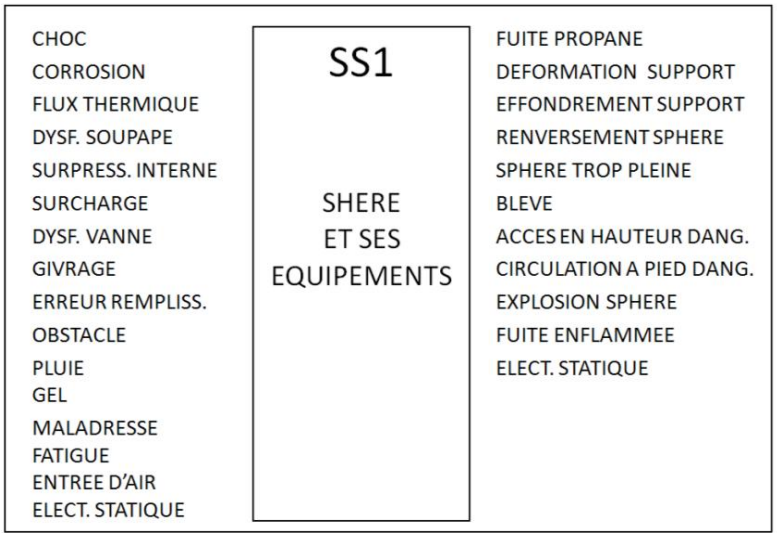


Figure 34 : exemple de boîte noire MOSAR concernant une sphère de propane.

Ces derniers peuvent alors constituer des évènements déclencheurs pour un autre sous-système du système global étudié. Le cas particulier où il existe des boucles entre les sorties et les entrées d'un même sous-système constitue des scénarios d'autodestruction.

L'exemple présenté dans la figure qui suit[23] modélise l'accident survenu dans l'accident de Feyzin détaillé précédemment.

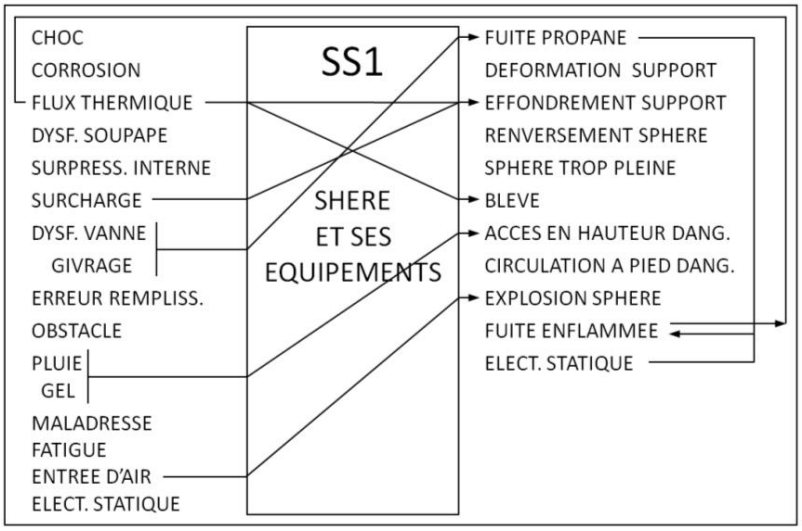


Figure 35 : exemple de scénarios MOSAR sur une citerne de propane.

Dans cette démarche de modélisation d'une crise, MOSAR peut être préconisé afin de permettre l'identification des scénarios d'évolutions possibles ainsi que de caractériser les évènements (couples situations-tâches, phénomènes, perturbations) mis en jeu.

En spécifiant le système global comme étant l'exercice de gestion de crise, et en détaillant ses sous-systèmes en termes d'entités impliquées (acteurs extérieurs, enjeux, moyens d'interventions, etc.) le système multi-agents est voué à être doté de règles théoriques garantissant que le scénario de crise ne crée pas d'évènements irréalistes compte tenu du contexte. Ce travail peut être réalisé dès lors qu'une trame globale de crise est identifiée et présente l'avantage de produire des sous-systèmes éventuellement réutilisables pour la génération d'un autre scénario.

[23] Exemple tiré de la revue Phœbus, *L'analyse des risques*, tirage n°12, Janvier – Février – Mars 2000.

Synthèse

La modélisation d'un exercice de formation nécessite de définir les fins pédagogiques visées, pour lesquelles il est choisi de distinguer les objectifs généraux, intermédiaires et spécifiques. Pour la gestion de crise, les six compétences générales retenues sont : l'anticipation, la communication, la coopération, le management du stress, la prise de décision, et la direction stratégique. Elles sont mobilisées afin de réaliser les cinq familles de tâches liées à la gestion des impacts, la gestion de la réponse, la gestion de la cellule de crise, la communication de crise, et la vision à court, moyen et long termes. Plus précisément, les seize types d'actions attendues des participants relèvent de la gestion humaine de la cellule, de la gestion des moyens, de l'évaluation de l'aléa, de la détermination des enjeux impactés, de la définition des stratégies de retour à la normale, de préservation des enjeux menacés, de la gestion des renforts, de l'analyse de la situation, de la direction et de l'arbitrage des choix stratégiques possibles, de la communication (au sein de la cellule, avec les médias, avec les autorités, ou avec le public), de la veille et de la prévision, et de l'identification des scénarios possibles d'évolution.

Ces compétences doivent être mobilisées par le biais d'évènements et d'interactions induites par le scénario de crise. La conception de ce dernier suit un cycle parcourant les étapes de formulation, d'analyse, de construction et d'évaluation qui permettent de modéliser les situations didactiques et d'évaluer la possibilité de leur gestion. Une gradation de la difficulté de gestion de la crise simulée est proposée, tenant compte en entrée des profils possibles de participants, et permettant d'énumérer le nombre de situations didactiques envisageables. Dans le détail, il est proposé qu'un scénario repose sur 1 évènement déclencheur principal, pouvant donner naissance jusqu'à 3 phénomènes dangereux différents. Si les 16 objectifs pédagogiques sont évalués, jusqu'à 48 couples situations-tâches peuvent alors intervenir. Enfin, un maximum de 144 perturbations scénariques est préconisé.

Le travail de modélisation de l'environnement semi-virtuel peut ensuite être vu au travers des aspects physiques ou sociaux impliqués par la crise. Il est considéré que l'environnement global regroupe trois sous-systèmes allant de la situation de crise, aux autorités et supérieurs hiérarchiques, en passant par acteurs impliqués indirectement. L'utilisation d'une arborescence permet d'autre part d'identifier les interactions directes entre les principaux phénomènes dangereux susceptibles d'intervenir. Enfin, une série de perturbations est identifiée afin de sensibiliser les participants aux éventuels imprévus, et aux problèmes ponctuels qui peuvent être rencontrés en situation réelle. Il est proposé d'utiliser la méthode de description systémique (boîtes noires décrivant des sous-systèmes causes-conséquences) telle que définie par la méthodologie MOSAR afin de décrire le scénario de crise et de modéliser ses évolutions possibles.

Chapitre 9 : Simulation dynamique et interactive d'un scénario de crise

> *« Une simulation pédagogique est un programme qui imite partiellement le comportement d'un système réel ou abstrait, et qui inclut un certain contrôle pédagogique de l'apprenant. »*
>
> Cortes Buitrago, *Simulations et contrôle pédagogique : architectures logicielles réutilisables*, 1999.

9.1. Spécifications du système multi-agents

9.2. Simulation des agents d'un scénario de crise

9.3. Elaboration d'un modèle archétypique d'agents pour la simulation de crise

9.4. Caractérisation de modèles pour les comportements généraux

Un cœur de simulation multi-agents apparaît comme l'une des solutions proposant à la fois une grande flexibilité de conception mais aussi une évolutivité forte de par les aspects distribués et combinatoires des éléments qui composent la plateforme. La simulation dynamique et interactive d'une crise au moyen d'un système multi-agents nécessite en premier lieu de construire une méthode générique et applicable à des scénarios différents par nature ou dans leur conséquences possibles. A cet effet, il convient de proposer des modèles comportementaux spécifiques pour les agents du SMA. Comme le rappelle la figure ci-dessous, deux types de comportements vont ainsi être distingués : ceux considérés comme généraux à tous les agents du système, et ceux nécessitant l'élaboration d'une approche particulière (appelée modèle archétypique).

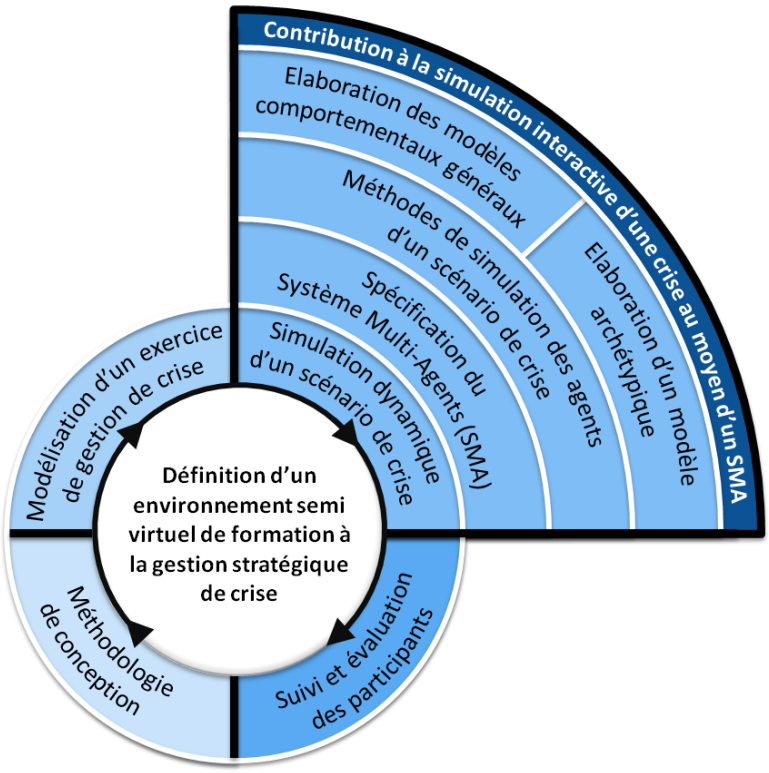


Figure 36 : étapes retenues pour la simulation dynamique d'un scénario de crise.

9.1. Spécifications du système multi-agents

Un système interactif est une application qui intègre pendant son exécution des informations échangées avec un ou plusieurs utilisateurs. L'idée d'interaction vient du fait que chaque utilisateur du système formule des requêtes ou des réponses en fonction de ses savoirs et compétences, et que le système produit une représentation perceptible soit d'un résultat soit de son état interne. A la différence d'autres types d'applications, les systèmes interactifs n'attendent pas de données prédéfinies au début de leur exécution et constituent à ce titre des systèmes ouverts puisqu'une partie de l'échange n'est pas accessible au système.

Par ailleurs, un système interactif est composé de deux parties : l'interface utilisateur et le noyau fonctionnel. L'interface utilisateur contient les éléments dédiés à la capture des entrées de l'utilisateur et à la restitution des sorties du système. Le noyau fonctionnel a quant à lui en charge de faire fonctionner les autres composants de calcul ou de sauvegarde des données. Une analogie peut ainsi être faite entre chaque futur agent du système multi-agents et un système interactif. Les agents vont par exemple devoir simuler des phénomènes dangereux (en embarquant des modèles physicochimiques), comme émuler des services d'interventions (en adoptant des comportements anthropomorphiques).

Un système multi-agents est la rencontre d'agents qui constituent les entités principales du système, de comportements par lesquels les agents effectuent des actions, et de messages qui permettent aux actions des agents de devenir des interactions, c'est-à-dire d'impacter non seulement les agents eux-mêmes mais aussi les agents environnants. Quel que soit le type d'implémentation retenu pour la réalisation d'une solution multi-agents, le fonctionnement du système repose toujours sur le triptyque « Agent – Comportement – Message » dont l'architecture peut être enrichie au moyen de spécialisations métiers.

Or, à défaut de disposer d'un système multi-agents directement conçu et implémenté pour proposer des services permettant de simuler des scénarios de crise, les trois composantes sur lesquelles il est alors impératif de travailler sont donc : les types d'agents, de comportements et de messages. L'élaboration de programmes capables d'agir comme des agents autonomes implique que ces entités, une fois placées dans un contexte donné, évoluent et influent dans cet environnement. Idéalement, nos agents doivent de ce fait prendre des décisions et agir en conséquence. Pour ce faire, l'une des approches identifiées auparavant est appelée « Belief – Desire – Intention » et est fondée sur les trois notions suivantes : des croyances (la connaissance que possède un agent sur son environnement), des désirs (les états qui doivent être atteints), et des intentions (les stratégies pouvant être mises en œuvre). Les trois avantages à utiliser ce type de représentation résident dans le fait :

- Qu'il est possible de savoir ce qu'un agent désire, sait, et a l'intention de faire, ce qui facilite la compréhension et la prévision de ses comportements,
- Que les autres agents peuvent comprendre et prédire le comportement de cet agent,
- Que les relations entre croyances, désirs et intentions permettant de discrétiser des stratégies a priori complexes en comportements unitaires et comparables.

En particulier, les notions de coopération et de collaboration illustrent qu'il est important de réaliser une analyse des besoins afin de mettre en évidence de quelle manière, dans quelle mesure et pour remplir quels objectifs l'ensemble des agents doivent fonctionner et interagir. La stationnarité d'un système ou sa convergence vers une ou plusieurs solutions terminales sont des exemples d'objectifs qui doivent être identifiés au moment de la conception du système et qui déterminent à la fois les stratégies d'adaptation qui doivent être programmées au sein des agents mais aussi la manière dont ceux-ci vont être implémentés.

Dans un objectif de formation à la gestion de crise basée sur une simulation réaliste d'évènements accidentels, il est proposé que l'environnement soit observable et dynamique afin de rendre visibles les actions réalisées par les agents tout en permettant aux formateurs d'influer sur l'évolution du scénario d'exercice. En outre, il apparaît primordial de privilégier un environnement discret et non déterministe afin

de rendre crédibles les comportements des agents émulant des acteurs humains tout en offrant la possibilité aux formateurs de maitriser leur activation afin de garantir que le système multi-agents tende toujours à converger vers la résolution de la situation de crise, que les participants à la formation ait une gestion efficace de la crise ou non.

La conception, la création, la réalisation ainsi que l'exploitation de systèmes multi-agents impliquent l'étude et prise en compte de leurs contraintes inhérentes. La problématique de la simulation nécessite d'étudier tout d'abord la façon dont un ensemble d'agents peut agir de manière simultanée au sein d'un environnement commun.

De la même façon, il est important de considérer les stimuli qui sont envoyés par cet environnement afin de pouvoir être perçu par les agents. La clef de voute de cette approche est liée dans un premier temps à la représentation de l'environnement par les agents, puis dépend dans un second temps de la collaboration et de la planification multi-agents. Ensuite, un aspect important traite de l'agent lui-même et de sa relation au monde, qui est représentée par le modèle cognitif dont dispose l'agent. Chaque agent participant au système s'inscrit dans une stratégie d'actions qui répond au mieux à ses objectifs. Sa capacité à prendre une décision est liée à ses perceptions propres, aux représentations qu'il s'en construit, et à un certain nombre de paramètres intrinsèques, appelés états internes.

La problématique de l'agent et de sa relation au sein du système passe en outre par la notion d'engagement et de collaboration avec les autres agents. La mise en place d'un système multi-agents nécessite ainsi de définir la nature des interactions qui sont autorisées. Elles sont à la fois sources d'opportunités et initiatrices de contraintes. A titre d'exemple, l'ontologie, l'échange d'informations, et la planification d'actions, sont autant de points clefs dont dépendent les concepts de collaboration et de coopération inter-agents. Il est aussi nécessaire d'évoquer la problématique de l'adaptation de l'agent au sein du système, laquelle peut être individuelle ou collective, selon qu'elle est liée à des processus d'apprentissage ou à des stratégies d'évolution.

Le système proposé devant satisfaire une grande variété de conditions (réalisme des phénomènes physiques, intégration des facteurs humains, etc.) chaque agent doit être doté de fonctions robustes permettant de prendre en compte les évènements qui doivent être générés lors d'un exercice de gestion de crise. Dans la catégorie des interactions avec l'environnement, un exemple de problème récurrent pour les agents géolocalisés est celui de la recherche d'un chemin lui permettant de rejoindre deux points distants en évitant les éventuels obstacles. En ce qui concerne les agents réactifs, leur fonctionnement se rapprochant fortement de celui d'automates, plusieurs modélisations sont possibles dans la plupart des formalismes (portes logiques, diagrammes d'activités, etc.) ou langages formels (UML, etc.) existants, et il est surtout important de noter que leur seule formalisation suffit à en décrire la destination. Cette caractéristique ne s'applique pas aux agents cognitifs dont le fonctionnement est plus complexe et régi par là-même par des règles souvent interdépendantes.

La figure 37 détaille les grandes composantes du système de simulation (dont la plateforme est schématisée à la figure 25, p127) et témoigne de la disparité des fonctions que doivent assumer les agents du SMA.

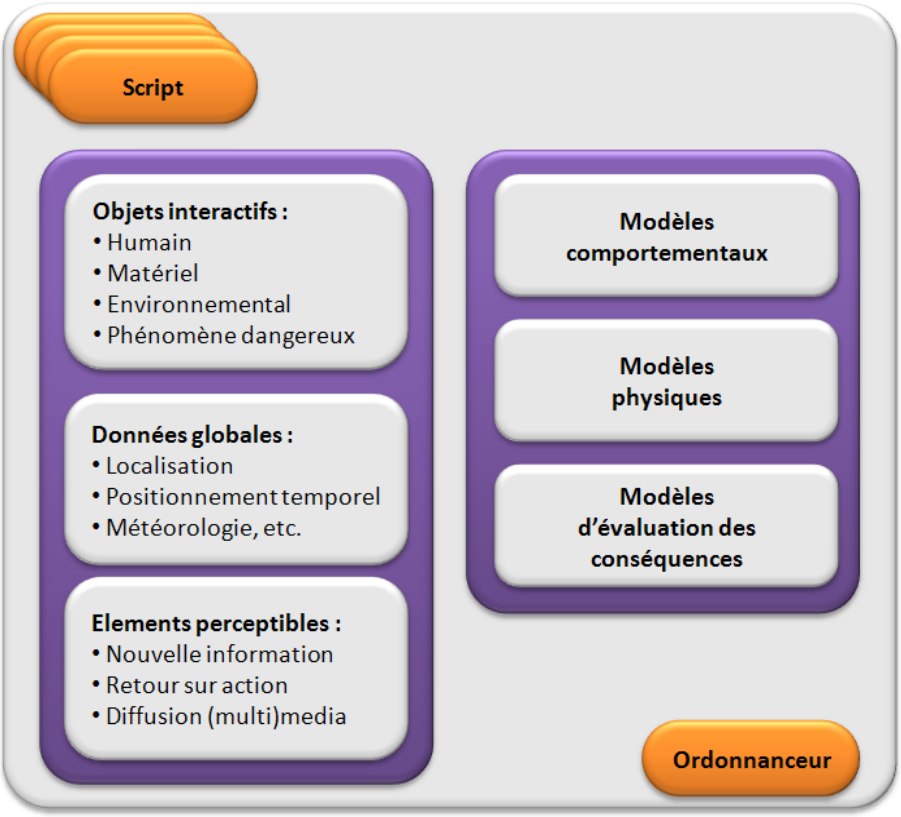


Figure 37 : modélisation du système multi-agents.

Or, il est considéré que le modèle « Belief-Desire-Intention », bien que permettant de remplir la plupart des spécifications précédentes, ne permet pas de retranscrire totalement la nature imparfaite et imprévisible d'agents simulant des comportements humains, tels qu'attendus dans l'environnement semi-virtuel de formation. C'est pourquoi, une approche actancielle des agents va décrite puis ajoutée dans un modèle global de simulation d'une crise.

9.2. Simulation des agents d'un scénario de crise

9.2.1. L'agent cognitif en tant qu'actant

Les personnages participent à l'ancrage référentiel d'un récit : il n'y a pas de scénario sans acteurs ni de personnages sans histoire. Ils forment ainsi un ensemble plus ou moins complexe qui est organisé selon une structure qui dépend de la place occupée par chacun d'eux. Une partie de la valeur d'un personnage provient en effet de sa place au sein du système, de sa relation avec les autres personnages du récit, et il entretient de ce fait des rapports d'opposition ou d'identité avec eux. Les cinq critères généralement identifiés comme pertinents dans la typologie des personnages dans l'action sont les suivants [Greimas, 1966] :

- Leurs caractéristiques : intelligence, charisme, etc.
- Leurs aptitudes : débutants-professionnels, etc.
- Leurs situations individuelles : métiers, grades, positions sociales, etc.

- Leurs comportements : actifs-passifs, positifs-négatifs, sympathiques-antipathiques, etc.
- Leurs situations au sein du groupe : intégrés-isolés, décideurs-dévoués, etc.

Dénouer la complexité du système des personnages revient alors à identifier puis caractériser les rapports qu'ils entretiennent, soit entre eux soit avec leur environnement, puis la façon dont ils évoluent au cours du scénario. Ces sphères d'action peuvent se transcrire en typologie de rôles, dont le nombre varie en revanche selon les auteurs. Par exemple, Propp établit sept rôles types relatifs au domaine des histoires pour enfants, tandis que Souriau en compte quant à lui six qui s'appliquent principalement au contexte théâtral [Propp, 1928 ; Souriau, 1953]. Ainsi, il est à penser qu'il n'existe pas une unique typologie des rôles mais autant de typologies que de contextes dans lesquels évoluent les personnages. A ce titre, Greimas propose une démarche ne reposant pas sur une analyse des rôles – laquelle n'est pas systématiquement transposable – mais sur un modèle actantiel liés aux actants mêmes [Greimas, 1966]. Un actant est une réalité abstraite et collective combinant un rôle et une action. Plus précisément, il modélise le fonctionnement générique d'une entité (objet, individu, groupe, sentiment, etc.) de par son rôle dans l'action qu'elle réalise. La figure 38 résume ce schéma actantiel où une force (une entité D1) conduit par son action le sujet S à atteindre un objectif O, dans l'intérêt ou à l'intention d'une entité D2 (concrète ou abstraite). Enfin, le sujet peut avoir des alliés A et des opposants Op dans cette recherche.

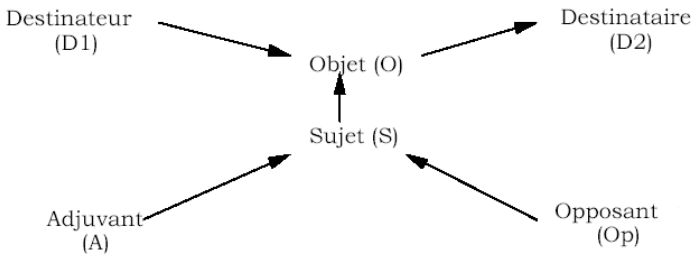


Figure 38 : modélisation de l'action dans un système.

Le sujet représente la force thématique poussée (par un besoin, un ordre, etc.) à accomplir des actions (quête, mission, etc.) pour obtenir l'objet (au sens large) souhaité. Le destinateur est quant à lui un arbitre dans cette recherche : il initie, entretient voire ravive le comportement de recherche de l'objet. Ensuite, le destinataire est une sorte d'obtenteur virtuel de l'objet, et peut à ce titre être soit une entité tierce soit sujet lui-même. Enfin, l'adjuvant et l'opposant sont respectivement celui qui aide le sujet et celui qui lui nuit, ou autrement dit l'ensemble des éléments qui participent aux rapports de force (objets, faits tangibles, qualités ou défauts moraux, etc.) pouvant se combiner pour influencer l'intention du sujet (cf. paragraphe 2.3 portant sur les défaillances des comportements intergroupe, p45). Il est remarqué que l'approche BDI semble être incluse dans le modèle d'action précédent, sans pour autant en intégrer toutes les dimensions. Il est donc proposé d'intégrer ces deux types de modélisation afin d'intégrer le besoin d'agents de type « automate » (un phénomène accidentel, etc.) ou de type « humain » (services de secours, victimes, etc.). En effet, l'être humain, qui perçoit son environnement par l'intermédiaire de ses cinq sens, peut agir sur son environnement par l'intermédiaire de son système moteur et par l'intermédiaire de son langage. Il est en outre doté d'un système cognitif qui lui permet de mémoriser des informations et de planifier et contrôler des actions en

fonction de ses perceptions et de sa mémoire. La perception (au moyen de senseurs), l'action (grâce à des actuateurs) et la cognition (par le raisonnement) sont les trois piliers qui permettent à un individu de récolter des informations sur lui-même, les autres et sur son environnement afin d'adopter des comportements adéquats [Beaudouin Lafon, 2004]. Ces comportements ainsi que les actions résultantes peuvent être aussi bien physiques que mentaux et ont pour objectif la résolution de problèmes (survivre, subvenir à des besoins, etc.). Les comportements anthropomorphiques nécessaires dans le cadre de cette étude conduisent de ce fait à proposer une hiérarchie d'agents dédiée à la simulation de crises.

9.2.2. Hiérarchie proposée

Un héritage d'agents est proposé afin de définir les éléments inhérents la problématique de formation à la gestion de crise, tout en intégrant la nécessité de définir des archétypes de simulation. La figure 39 synthétise les contraintes évoquées précédemment au sein d'une architecture nouvelle.

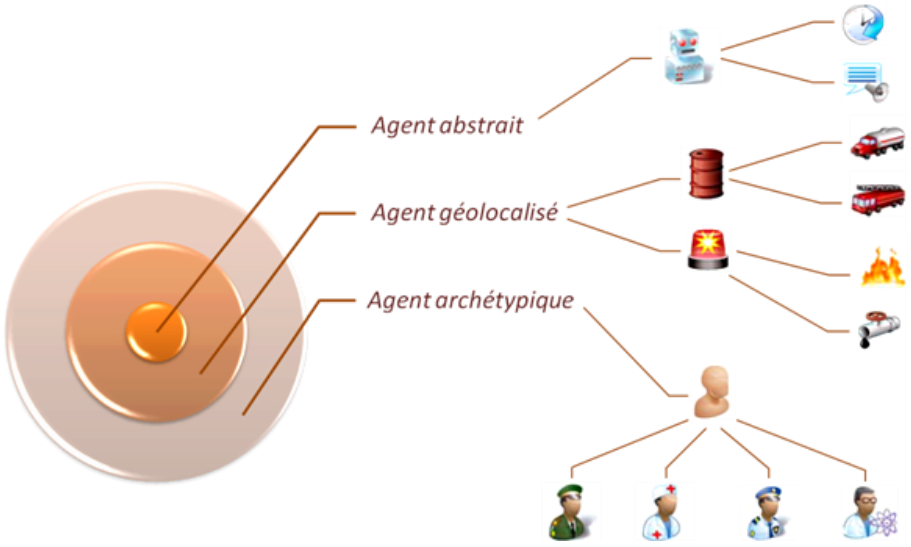


Figure 39 : l'architecture d'agents proposée avec ses trois niveaux d'abstraction.

Les agents abstraits sont caractérisés par un type générique destinés à contenir toutes les méthodes nécessaires pour qu'un agent participe correctement à la simulation d'une crise. Il s'agit notamment de fixer les protocoles de communication, de spécifier la structure commune de chaque entité, et de spécifier leur vitesse d'exécution. L'agent chargé du rôle d'horloge interne de la plateforme est un exemple d'agent abstrait qu'il est nécessaire d'implémenter. Les agents géolocalisés héritent des propriétés du type précédent et intègrent des informations spatiales liées à la position et au déplacement éventuel des objets concernés. Un véhicule d'intervention, un phénomène dangereux ou un enjeu matériel sont autant d'agents géolocalisés. Trois degrés de mobilité sont proposés pour ces agents : immobile (un arbre, etc.), mobile sur prérogative (d'un autre agent ou d'un formateur), et mobile spontanément (un véhicule par exemple). Un archétype de simulation correspond quant à lui à un agent particulier conçu afin d'émuler le comportement des individus

normalement impactés ou mobilisés lors d'une crise. Il peut s'agir d'un chef d'agrès, comme d'un médecin urgentiste ou encore d'un habitant riverain. L'idée est alors d'identifier des profils types dont les caractéristiques anthropomorphiques sont simulées afin de tenir compte des interactions ou décisions possiblement imparfaites qui auraient lieu dans la réalité d'une gestion d'un évènement complexe en conditions dégradées.

9.2.3. Choix de la théorie de simulation

Plusieurs approches coexistent afin de modéliser le comportement d'agents d'un système, et parmi elles figurent notamment : la théorie des jeux, la théorie des probabilités et la théorie de l'action.

La théorie des jeux a pour objectif d'analyser les situations dans lesquelles ce qu'il est optimal de faire pour un agent découle des anticipations qu'il forme sur ce que les autres agents vont faire. La théorie des jeux permet une analyse formelle des problèmes posés par l'interaction stratégique d'un groupe d'agents rationnels poursuivant des buts qui leur sont propres. L'hypothèse de rationalité implique que les agents vont tenter d'obtenir le meilleur résultat les concernant. L'idée est de modéliser ces cas, d'identifier des stratégies pour chaque agent, de prédire l'équilibre du jeu et de trouver comment aboutir à une situation globale optimale. Les notions de compétition, de coopération et de négociation sont au cœur de cette théorie qui se décline en de nombreuses applications liées au domaine simulé. Cette approche est donc adaptée dès que des situations de décisions interactives sont nécessaires à la résolution optimale d'un problème donné. Or, cette caractéristique n'est pas une finalité recherchée compte tenu de la problématique étudiée, dans la mesure où la crise simulée doit intégrer la dimension imparfaite des acteurs tactiques et opérationnels impliqués.

La théorie des probabilités repose sur une approche qui considère qu'en présence de plusieurs stratégies d'actions réalisables, chaque agent rationnel calcule les espérances mathématiques de gain afin de choisir la solution qui maximise les chances de réussite. Ce principe de probabilités conditionnelles est largement inspiré des travaux de Bayes qui ont été poursuivis dans le but de permettre à chaque agent de suivre une démarche logique permettant de calculer ou réviser l'occurrence d'un succès ou d'un échec : ce mécanisme est appelé inférence bayésienne. La théorie des probabilités justifie son intérêt dans les situations où les décisions des agents sont réalisées dans un système simulant des situations risquées, si les gains sont non quantifiables ou difficilement mesurables, ou encore si les paramètres observables sont emprunts d'incertitudes. Or, cette approche traduit mal la réalité des acteurs tactiques et opérationnels mobilisés lors d'une crise et dont les plans d'action sont clairement détaillés par des schémas d'intervention.

La théorie de l'action repose quant à elle sur l'hypothèse qu'un individu élabore des modèles conceptuels qui régissent son comportement, dans sa dimension individuelle ou collective, et indépendamment de toute anticipation des actions adoptées par ailleurs [Norman, 1989]. Dans le cadre de ce travail, il est ainsi considéré que l'accomplissement d'une tâche par un agent doit s'effectuer suivant les sept étapes suivantes :

1. L'établissement d'un but : un but est la représentation mentale d'un état désiré. Norman précise à ce titre que si le but ne peut être directement réalisé l'individu élabore un plan de résolution pour décomposer le but en une hiérarchie de sous-buts plus simples,

2. La formation d'une intention : l'intention définit la sémantique de l'expression d'entrée physique. Elle résulte de l'évaluation de la distance en termes de variables psychologiques entre le but recherché et l'état actuel,
3. La spécification de la suite d'actions : le résultat de la traduction de l'intention est un plan de résolution, spécification mentale des actions à exécuter,
4. L'exécution des actions : elle conduit au changement de l'état physique du système. Elle met en jeu le savoir-faire moteur de l'individu,
5. La perception de l'état du système : après exécution des actions, le système a changé d'état. Cet état est exprimé en tant que variables physiques, dont la perception consiste à les traduire en variables psychologiques,
6. L'interprétation : elle détermine le sens de l'expression de sortie, c'est-à -dire de ce qui a été perçu à l'étape précédente,
7. L'évaluation : elle établit une relation entre l'objectif formulé lors de la première étape et la sémantique de l'expression de sortie. Cette évaluation peut amener l'utilisateur à une révision du plan, et produire ainsi de nouveaux buts et intentions.

La problématique de simulation d'un scénario de crise nécessite des agents qui peuvent soit être des entités dont le fonctionnement est codifié – par exemple l'extinction d'un feu de nappe d'hydrocarbures est parfaitement décrite d'un point de vue opérationnel – ou de phénomènes dangereux dont les conséquences peuvent être évaluées par des modèles plus ou moins simplificateurs. La notion de rationalité n'intervient ainsi pas dans la mesure où le comportement attendu d'un agent n'inclut pas qu'il optimise systématiquement ses résultats. De plus, l'absence de problématiques liées à la négociation entre les agents conduit naturellement à privilégier la théorie de l'action plutôt que la théorie des jeux. C'est pourquoi, l'approche retenue doit s'accorder à définir les éléments déterminants de la réussite d'une action entreprise par un agent. Il est en particulier proposé de se baser sur les trois axes suivants :

- Sensoriel, définissant les capacités de chaque individu à percevoir son environnement ainsi que les stimuli afférents,
- Cognitif, intégrant tout élément de délibération face à un problème possédant a priori au moins une solution,
- Moteur, permettant des interactions physiques dans l'environnement, y compris la possibilité de communiquer avec d'autres individus.

Or, le cycle de Norman est une formalisation des phénomènes sensoriels, cognitifs et moteurs sollicités lorsqu'un opérateur doit utiliser une interface au sens large du terme. Il s'applique habituellement à toute interaction, entre humains ou entre un humain et un objet (une machine, un outil, etc.) et va à ce titre être étendu à la modélisation des agents cognitifs et réactifs attendus pour la simulation de crise. L'objectif est de ce fait de comprendre, d'étudier et d'optimiser ces interactions en fonction du contexte d'occurrence, afin de procéder à l'intégration de ce cycle au sein du système multi-agent de l'environnement semi-virtuel de formation.

9.2.4. Intégration du cycle de Norman pour la simulation d'un scénario de crise

Dans le cycle de Norman, la réalisation d'une action intentionnelle met en jeu un processus à quatre phases : pour atteindre un but, l'usager élabore une commande, l'exécute, perçoit son effet et l'évalue. En pratique, deux référentiels différents sont définis. Le premier correspond à celui de l'humain, dans lequel l'usager d'un système donné élabore des buts et construit une stratégie mentale afin de les atteindre. Le second est celui de la machine, laquelle est capable d'effectuer des actions automatiques et évènementielles. Ces deux référentiels permettent de distinguer deux univers de représentation de l'information : le premier lié à l'expression des commandes formulées par l'individu et le second relatif aux effets des actions réalisées par la machine. Ces deux univers peuvent communiquer en passant par les quatre phases distinctes. L'usager doit transcrire le but qu'il cherche à atteindre en commande interprétable : cet effort s'appelle la « distance d'exécution ». La machine doit ensuite interpréter la commande reçue et la transformer en action : c'est une « interface en entrée ». Puis, la machine doit passer de l'action à l'expression des résultats : c'est une « interface en sortie ». Enfin, l'usager doit interpréter l'expression des résultats et confronter le tout au but recherché : il s'agit de la « distance d'évaluation ». La figure 40 reprend l'ensemble des étapes précédentes sous la forme d'un processus cyclique entre l'univers cognitif de l'usager et l'univers automatique de la machine.

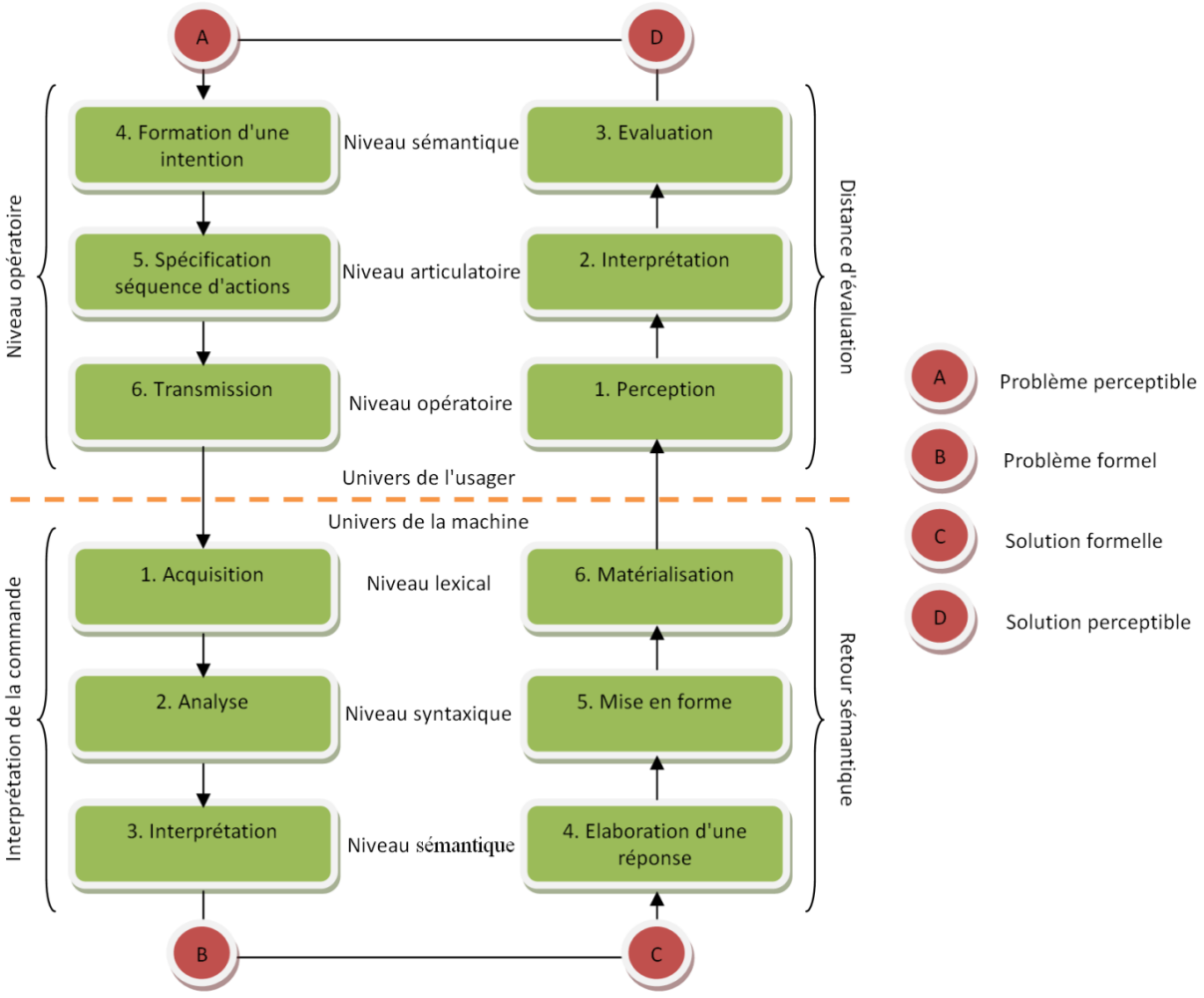


Figure 40 : représentation du cycle de Norman (1989).

Afin de pouvoir interagir avec son environnement, l'agent doit pouvoir le percevoir, le comprendre et le manipuler. Dans le référentiel actantiel retenu, ces trois efforts s'appellent des distances sémantiques, articulatoire et opératoire. De façon symétrique la formulation de réponses adaptées par la machine se réalise au travers de trois niveaux : lexical, syntaxique et sémantique. De par leurs caractéristiques anthropomorphiques, les actions entreprises par des agents doivent pouvoir s'inscrire dans un processus tel que défini dans le cadre des interactions homme-machine de Norman. Pour ce faire, le cycle précédent va être décomposé pour déduire un modèle archétypique pour les agents du cœur de simulation.

9.3. Elaboration d'un modèle archétypique d'agents pour la simulation de crise

9.3.1. Méthodologie générale

Le fonctionnement d'un agent réactif se formalise facilement par un automate qui repose sur l'enchaînement de la figure 41 ci-après. Lorsqu'un message (expression d'un problème à résoudre) est reçu, les trois premières étapes (acquisition, analyse et interprétation) conduisent l'automate à produire une réponse, à la mettre en forme et enfin à la matérialiser afin de la rendre perceptible.

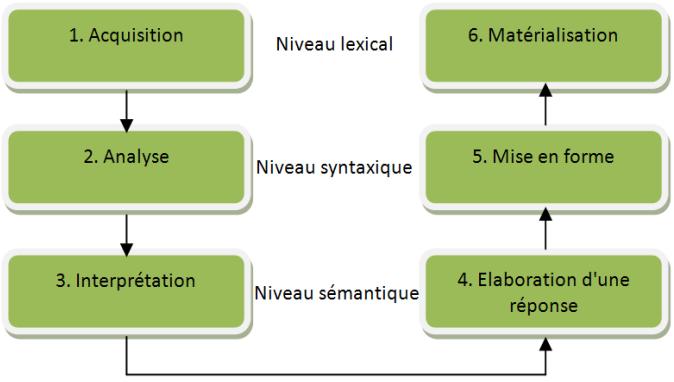


Figure 41 : l'agent réactif vu comme une machine.

En ce qui concerne les agents cognitifs, le modèle analogue présenté dans la figure 42 qui suit est tout aussi adapté :

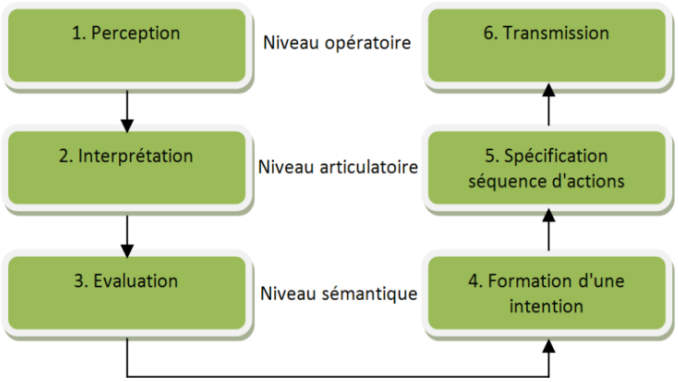


Figure 42 : l'agent cognitif vu comme un usager.

La formalisation des agents réactifs ainsi que leur programmation n'est pas nouvelle (concept d'automate programmé) et reste facile à mettre en place lorsque les règles de passage d'un état de l'agent à un autre sont connues. En revanche, le problème se pose pour les agents cognitifs puisque ces derniers doivent avoir un comportement plausible en fonction du contexte situationnel. Par extension de la théorie de l'action de Norman, trois étapes apparaissent nécessaires pour passer d'un objectif donné à une série d'actions visant à atteindre ce but : la formation d'une intention, la planification d'une suite d'actions, et l'expression d'une action ou d'une série d'actions. Le passage par ces trois étapes permet de transformer un problème perceptible par l'usager (le modèle cognitif) en problème formel pour la machine (l'automate réactif). La machine doit alors produire une solution formelle répondant à ce problème formel puis la proposer à l'usager sous la forme d'une solution dite perceptible.

La figure 43 illustre l'application de cette approche aux agents cognitifs :

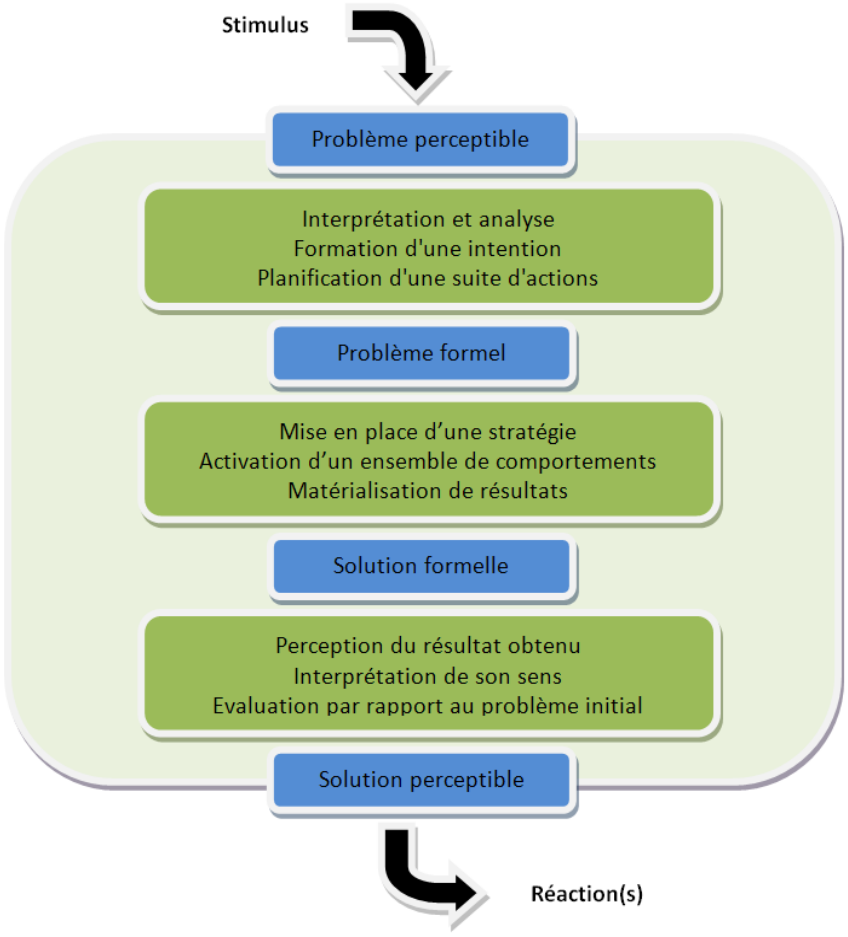


Figure 43 : modèle comportemental retenu pour les agents cognitifs.

Dès qu'un problème devient perceptible, un processus de décision commence. En premier lieu, la formation d'une intention va décrire la façon dont l'agent prévoit de réagir. Pour ce faire, cette intention est décomposée en actions unitaires pour chacune desquelles un comportement idoine est choisi spécifiquement. Ce choix repose sur les capacités qui sont propres à l'agent et qui laissent supposer de leur adéquation avec

le but visé. Une fois que la série d'actions est réalisée, l'agent cognitif cherche à évaluer l'efficience de sa stratégie en comparant la nouvelle situation observée par rapport au problème initial (modèle inférentiel).

L'ensemble des éléments précédents conduisent à spécifier le cahier des charges d'agents archétypiques (cf. figure 44, page suivante) intégrant non seulement les contraintes liées à l'établissement de stratégie d'actions adaptées aux problèmes observés dans le SMA, mais aussi les aptitudes et les propriétés qui caractérisent les acteurs notamment opérationnels qui interviendraient lors d'une crise.

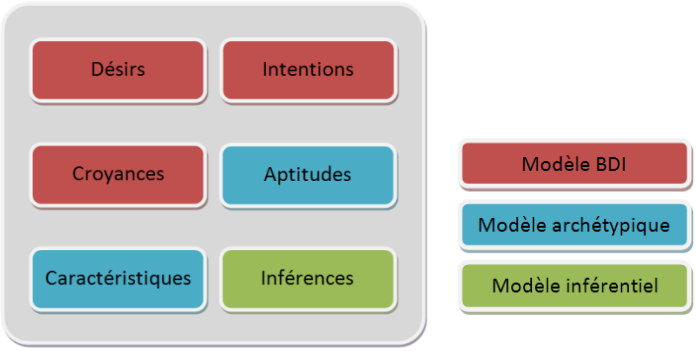


Figure 44 : architecture proposée pour les agents cognitifs archétypiques.

Cette architecture définit de ce fait six classes de comportements dont vont découler les émotions, les états physiques et mentaux, les profils psychologiques, les aptitudes et les compétences de chaque élément archétypique. Ces caractérisations vont ainsi être utiles afin de déterminer la qualité et la quantité d'interactions que les agents vont avoir entre eux.

9.3.2. Impact des caractéristiques et des aptitudes sur les actions des agents

L'approche anthropomorphique identifiée précédemment implique l'intégration de facteurs comportementaux humains au système de simulation. L'idée est de déterminer la réussite ou l'échec d'une tentative d'action entreprise par un agent en confrontant son degré d'aptitude avec la difficulté de cette action. Pour ce faire, il va être établi en quoi les caractéristiques influencent les aptitudes des agents, en intégrant d'une part des aspects externes (dits de contingence) et d'autre part des contraintes internes (dites anthropiques). Les caractéristiques sont tout d'abord définies comme étant des attributs de base qui correspondent à des statistiques propres à chaque agent archétypique. Ces attributs conditionnent la propension d'un agent à réussir ou non chaque action entreprise, et doivent être suffisamment génériques afin de couvrir tous les comportements humains attendus au sein du système multi-agents (cf. figure 45, page suivante). Les caractéristiques générales retenues sont les suivantes :

- L'observation, depuis la perception des dangers, au discernement, en passant par exemple par l'évaluation des inférences,

- La constitution, relative à l'endurance de l'agent, à sa force et à sa résistance physique, et notamment à ses capacités de récupération,
- La cognition, liée à la construction de plans d'action, au leadership, à la sagesse, au charisme, et à tout autre élément communément associé à la réflexion,
- Et la précision, définissant en particulier la concentration comme la dextérité des agents.

Ces quatre caractéristiques dépendent de l'expérience de l'acteur simulé, laquelle peut être fictive (un niveau est alors arbitrairement affecté en début de simulation) ou effective (c'est-à-dire acquise au cours de simulations passées). Il est proposé que ces éléments soient caractérisés au moyen d'un score compris entre 0 et 20, fixé à 12 dans une première version du système multi-agents, et qu'aucune capitalisation de l'expérience des agents ne soit mise en place.

Les aptitudes sont ensuite définies comme des compétences métiers propres à l'archétype simulé, découlant ainsi d'une profession exercée. Comme l'illustre la figure 45, chaque aptitude ne sollicite dans un premier temps qu'une et une seule caractéristique, alors considérée comme déterminante dans l'efficacité ou non d'une action.

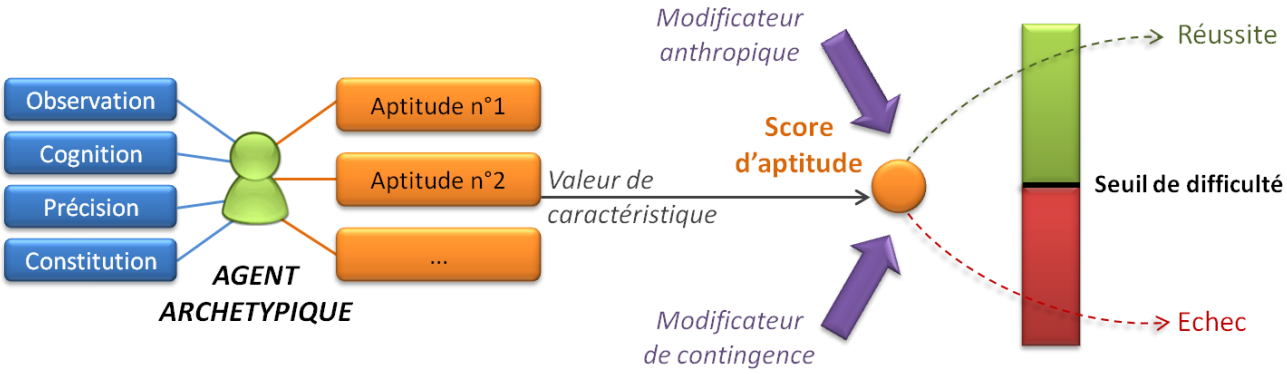


Figure 45 : illustration de l'algorithme global déterminant le succès ou l'échec d'une action.

Il est à noter que l'identification des aptitudes dépend essentiellement du scénario de crise à simuler, c'est-à-dire des acteurs devant être émulés. A titre d'exemple, un agent « binôme de sapeurs-pompiers » affecté à l'extinction d'un incendie doit enchainer plusieurs comportements, depuis l'approche de l'incendie jusqu'à l'arrosage de celui-ci. Il peut être déterminé que l'aptitude « Approche de l'incendie » relève de l'« Observation » de l'agent lui permettant d'aboutir à un choix d'emplacement plus ou moins adapté pour l'attaque du feu. L'aptitude « Arrosage et extinction » peut quant à elle être liée à des contraintes de « Constitution » qui vont déterminer le temps pendant le lequel le binôme pourra rester en position de lutte contre l'incendie.

Dès lors, il convient que la réussite ou l'échec d'un comportement adopté par un agent dépende d'un score d'aptitude. Si ce dernier dépasse le seuil de difficulté de l'action entreprise, l'agent réussit alors cette dernière. Un score d'aptitude inférieur au seuil de difficulté traduit quant à lui un échec de celle-ci.

La typologie suivante, structurée en neuf niveaux de difficultés, peut être illustrée d'exemples :

- 0 - très facile, remarquer une victime allongée par terre bien en évidence (Observation),
- 5 - facile, monter à une échelle (Constitution),
- 10 - moyenne, calfeutrer toutes les ouvertures d'une pièce (Précision),
- 15 - délicat, convaincre un habitant récalcitrant d'évacuer sa maison (Cognition),
- 20 - difficile, hélitreuiller un blessé par vent fort (Précision),
- 25 - formidable, nager par forte houle (Constitution),
- 30 - héroïque, retrouver une victime dans un bâtiment totalement enfumé (Observation),
- 40 - presque impossible, traverser sans protection une large zone en feu (Constitution),
- > 40 - impossible, déplacer un camion-citerne seul et à main nue (Constitution).

Dans une première version du système multi-agents, une calibration simplificatrice des difficultés est proposée, par affectation d'une valeur moyenne de 10 à toutes les actions. Il est en outre suggéré que la réussite ou l'échec d'un comportement adopté par un agent tienne compte de contraintes anthropiques. Il convient ainsi que l'anthropomorphisme des agents archétypiques soit simulé par une valeur – ci-après nommée modificateur anthropique – calculée en procédant à la somme de deux tirages aléatoires compris dans l'intervalle d'entiers [-5, 5]. Le total est alors compris entre -10 et 10.

Il est ensuite proposé que le score d'aptitude intègre un score de caractéristique qui tienne compte non seulement de l'expertise de l'agent, mais aussi du contexte imprévisible lié à la crise. En reprenant l'exemple utilisé précédemment, plus l'«Observation » est bonne, plus l'« Approche de l'incendie » a de chance d'être réussie. Le modificateur de contingence a pour but de tenir compte des difficultés induites par le contexte de crise. Par exemple, moins l'incendie est maitrisable, plus l'évolution de la situation est difficilement prédictible, et plus l'« Approche de l'incendie » peut être perturbée. Pour ce faire, un score de caractéristique peut être obtenu en ajoutant un modificateur de contingence[24] (initialisé à 0 par défaut) à la valeur de la caractéristique mobilisée par l'aptitude concernée (cf. figure suivante). Il peut s'agir d'un bonus lorsqu'il est strictement supérieur à zéro, ou d'un malus dans le cas contraire.

Soient S_a le score d'aptitude d'un agent, Alors $S_a = S_c + M_a$

M_a le modificateur anthropique,

V_c la valeur de la caractéristique, Avec $M_a = \sum_{1}^{2} x,\ x \in \mathbb{N}$, et $x \in [-10, 10]$

S_c le score de caractéristique,

M_c le modificateur de contingence. Et $S_c = V_c + M_c$

Figure 46 : calcul du score d'aptitude d'un agent archétypique.

[24] La contingence est entendue ici au sens de ce qui est circonstanciel, occasionnel et fortuit.

Il est en outre postulé qu'une variabilité du modificateur de contingence est nécessaire afin de tenir compte du passif de l'agent. Pour ce faire, une pénalité de -1 est mise en place pour toute tentative d'action ratée tandis qu'un bonus de +1 est ajouté en cas de réussite. Un minimum de 0 et un maximum de 4 sont néanmoins assignés à ce modificateur (dans une première version du Système Multi-Agents), pour en limiter la variation dans une gamme de valeurs garantissant que tout agent puisse à tout moment réussir la plupart de ses actions tout en étant susceptible d'en rater certaines. Malgré la calibration préliminaire de certaines constantes du système (seuils de difficulté, niveaux de caractéristique), deux variables tendent cependant à garantir la non-linéarité des comportements archétypiques : le modificateur de contingence et le modificateur anthropique. Comme l'illustre la figure 47, ce dernier est d'ailleurs conçu de manière à suivre une loi de probabilité triangulaire.

Soit $a = 10$, la loi triangulaire discrète de paramètre a est définie pour tout entier x compris dans l'intervalle $[-a, a]$ par :

$$P(x) = \frac{a + 1 - |x|}{(a+1)^2}$$

Figure 47 : calcul de la probabilité d'occurrence d'un modificateur anthropique.

L'histogramme suivant présente la répartition des probabilités d'obtention des modificateurs anthropique et traduit l'approche retenue selon laquelle des valeurs extrêmes ont une occurrence exceptionnelle (loi triangulaire).

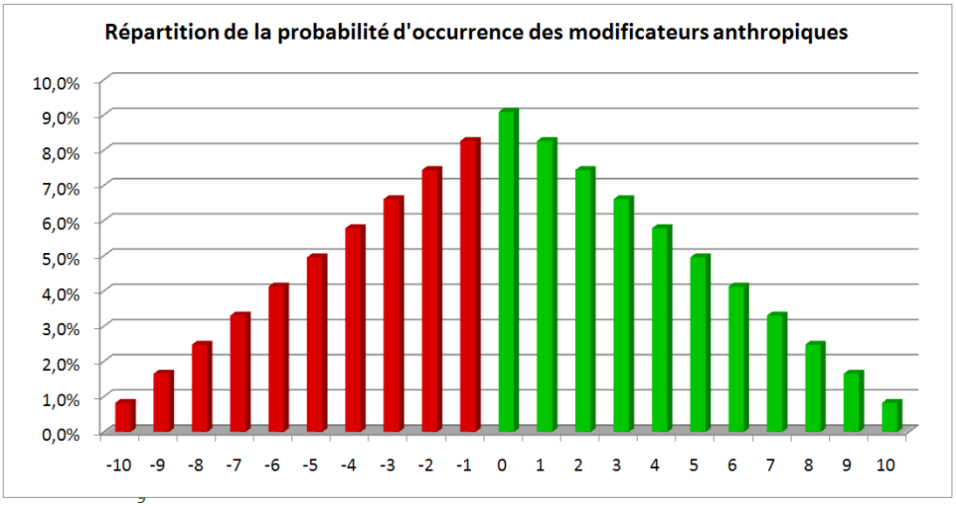


Figure 48 : histogramme des probabilités d'occurrence du modificateur anthropique.

Ainsi, un agent archétypique ayant ses quatre caractéristiques à 12, un modificateur de contingence égal à 2, et qui obtient un modificateur anthropique de -4, réussit tout de même sa tentative de justesse (12 + 2 - 4 = 10, soit le seuil de difficulté de toute action dans le système). Il est possible de constater (cf. tableau ci-après) que le modificateur anthropique a 65,3% de chance d'être situé entre -4 et +4. Chaque agent archétypique a

donc, indépendamment du modificateur de contingence, en moyenne 70,2% de chance de réussir chacun des comportements qu'il adopte pendant la crise simulée (cf. la probabilité d'obtenir plus de -1).

Tableau 10 : probabilités d'occurrence d'un modificateur anthropique (en pourcentage).

x	-10	-9	-8	-7	-6	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
P(x) [%]	0,8%	1,7%	2,5%	3,3%	4,1%	5,0%	5,8%	6,6%	7,4%	8,3%	9,1%	8,3%	7,4%	6,6%	5,8%	5,0%	4,1%	3,3%	2,5%	1,7%	0,8%

Néanmoins, le paramétrage du modificateur de contingence proposé (variant entre 0 et 4) implique que le taux de réussite des tentatives d'action d'un agent peut osciller entre 70,2% et 91.7%. Une étape de validation devra à ce propos permettre d'adapter, si besoin, l'ensemble des coefficients proposés (scores et modificateurs) afin que scénario ne diverge ou ne converge pas de manière irréaliste.

9.4. Caractérisation de modèles pour les comportements généraux

Un comportement détermine un ensemble d'états internes et décrit un ensemble de règles initiant des transitions d'un état donné à un autre. Un comportement fini noté ***C = (T, E)*** est ainsi défini par les deux ensembles suivants :

- l'ensemble fini ***T = {t1, ..., tn}*** avec ***card(T) = n*** et ***n = {1, ..., n-1}*** dont les éléments sont appelés « états »,
- l'ensemble fini ***E = {e1, ..., em}*** avec ***card(E) = m*** et ***m = {0, 1, ..., m-1}*** – sachant que ***0 = ø*** – dont les éléments sont appelés « transitions ». Une transition de l'ensemble E est en effet définie par une paire – ou couple – d'états (cf. figure 49). Lorsque ***e = (u, v)***, cela signifie que la transition assure le passage de l'état ***u*** à ***v***. C'est pourquoi, ***u*** peut être dit comme étant l'extrémité initiale et ***v*** l'extrémité finale de ***e***.

C = (T, E) :

C : comportement	T = {t1, ..., tn}	E = {e1, ..., em}
	card(T) = n	
T : transition	n = {1, ..., n-1}	card(E) = m

Figure 49 : formalisation d'un comportement quelconque.

Il est ainsi possible de modéliser un comportement simpliste constitué d'un état unique – à la fois état initial et état final – éventuellement dépourvu de toute transition. Néanmoins, ce comportement minimal ne présente pas un intérêt majeur lorsque la simulation de comportements complexes est souhaitée, qu'il s'agisse de comportements purement réactifs (toute action quelle qu'elle soit entraîne une même réaction dans des circonstances identiques) ou cognitifs (toute décision résulte d'une analyse factuelle ou

circonstancielle, qui peut donc varier dans le temps). Des métamodèles ainsi que des règles d'utilisation peuvent être proposés afin de définir la composition minimale de comportements réactifs et cognitifs. En effet, un agent est considéré comme réactif si au moins un comportement lui permettant de réagir existe. Il est ainsi décrit par une suite finie d'états internes s'enchainant lorsque certaines conditions sont réunies. Ce mécanisme se rapproche de ce fait du fonctionnement des machines à états finis (« final state machine » en anglais). La représentation des comportements sous forme de graphes – modélisation sous-jacente à la théorie des automates – favorise leur transcription directe en UML (diagrammes d'états-transitions) et ainsi leur programmation au sein du système multi-agents.

9.4.1. Caractéristiques du métamodèle de comportement réactif

Le métamodèle suivant modélise le fonctionnement global proposé : à tout moment, un comportement réactif doit toujours être dans un état défini (noté e_0 quand il est initial) et transitoire vers un autre état quelconque (noté e_i). La transition conditionnelle (cf. figure 50) garantit une activité continue du comportement et il est entendu par état quelconque tout état préalablement défini, tel que e_i peut équivaloir e_0.

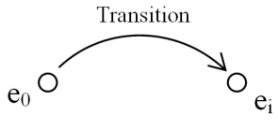


Figure 50 : notation d'une transition conditionnelle entre états.

Par extension, les trois grandes relations qui suivent peuvent être identifiées comme compatibles avec ce modèle :

- la réflexivité. Soit ***C*** un comportement, la relation ***R*** sur ***C*** est réflexive (cf. figure 51) quand un état ***e*** de ***C*** est en relation avec lui-même.

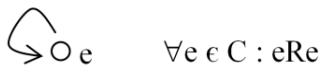


Figure 51 : la réflexivité sur un état.

- la transitivité. Soit ***C*** un comportement, la relation ***R*** sur ***C*** est transitive (cf. figure 52) si et seulement si lorsqu'un premier état e_i de ***C*** est en relation avec un deuxième état e_j lui-même en relation avec un troisième e_k, le premier état est aussi en relation avec le troisième.

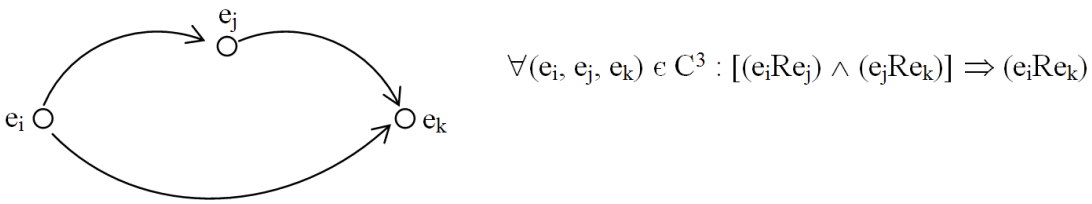


Figure 52 : la transitivité entre états.

- la symétrie. Soit ***C*** un comportement, la relation ***R*** sur ***C*** est symétrique (cf. figure 53) si lorsqu'un premier état e_i de ***C*** est en relation avec un deuxième état e_j, ce second état est lui aussi en relation avec le premier.

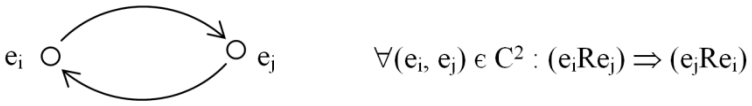


Figure 53 : la symétrie entre états.

Cette approche souligne la nécessité que le comportement soit connexe, c'est à dire qu'il existe toujours un ensemble de transitions entre tout couple d'états. Le graphe orienté de la figure 54 donne un exemple de comportement réactif décrivant les quatre états (les sommets) de l'agent et les sept transitions (les arcs) identifiées entre ces états. Les trois relations présentées ci-avant ont été mises en œuvre afin d'illustrer leur possible combinaison. Ici, l'état e_3 permet la transition à trois états de son voisinage : e_0, e_1 et lui-même.

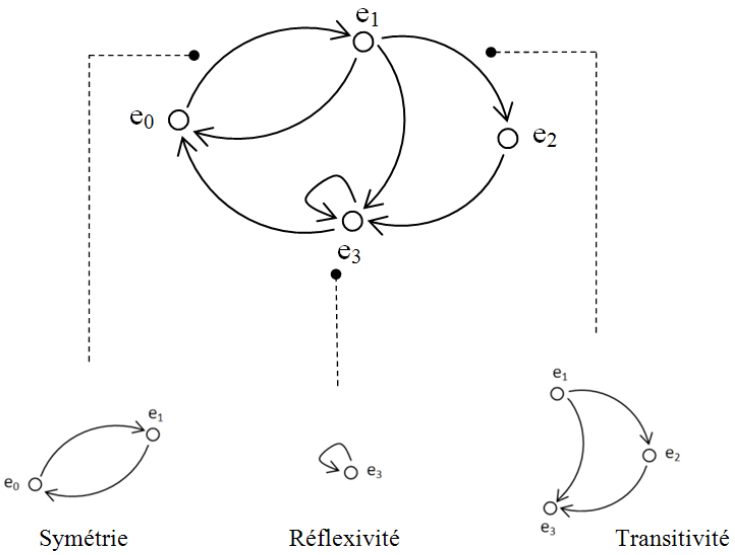


Figure 54 : exemple de comportement d'un agent réactif.

Cette boucle sur lui-même signifie que la seule réaction adaptée au stimulus reçu est de ne pas changer d'état : il est donc probable qu'aucune autre réaction n'ait pu être identifiée comme étant opportune et que le traitement doive donc être recommencé au sein de l'état. Il s'agit donc d'un processus bloquant puisqu'aucune évolution n'a lieu sans l'occurrence de certaines conditions. Il est nécessaire de noter que les conditions susceptibles de déclencher le passage d'un état à un autre relèvent ici de traitements uniquement internes à l'état, non liés à une quelconque délibération active. Un agent réactif est donc un automate constitué de comportements s'enchainant soit à réception d'informations complémentaires nécessaires à leur fonctionnement (et envoyées par un autre agent), soit après un traitement interne n'impliquant pas de ressources ou de données extérieures.

9.4.2. Caractéristiques du métamodèle de comportement cognitif

Le métamodèle de la figure 55 modélise les bases d'un comportement cognitif. A la manière d'un comportement réactif, il doit toujours être dans un état défini (noté e_0 si initial) et transitoire vers un autre état quelconque (noté e_i) tel que e_i peut équivaloir e_0. Néanmoins et à la différence d'un comportement réactif, tout état e_i d'un comportement cognitif doit intégrer un processus de raisonnement en vue d'obtenir de nouveaux résultats ou de vérifier des faits en faisant appel à différentes « lois » ou « expériences ». D'un point de vue terminologique, un tel comportement effectue des « inférences » et le mécanisme d'élaboration de ces inférences s'appelle le raisonnement.

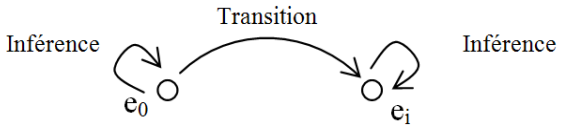


Figure 55 : notation d'une transition entre deux états d'un comportement cognitif.

En effet, l'inférence est une action mentale – sorte de déduction ou de jugement – qui consiste à tirer une conclusion au moyen de règles permettant d'analyser une série de prémisses. Une prémisse est une proposition considérée comme évidente au moment de son observation. L'inférence est ainsi une opération logique qui a pour but de conclure à la vérité d'un nouvel état sur la base d'une série de prémisses. C'est pourquoi, l'inférence est souvent réduite au seul processus nécessaire dans lequel les postulats de départ assurent totalement la vérité de la conclusion. C'est pourquoi, tout état e_i (y compris l'état initial e_0) doit définir à la fois un raisonnement mais aussi une boucle d'inférence permettant de valider si le résultat escompté est accompli ou non. Cette phase de validation verrouille donc le passage à un autre état tant que l'objectif initial n'est pas atteint. Or, en notant C un comportement cognitif, E l'ensemble des états et T l'ensemble des transitions (dont inférences) appartenant à C. La relation R_C associée au comportement $C = (E, T)$ est la relation sur **E** dont les éléments sont les couples (e_i, e_j) de ExE qui figurent dans T. Ainsi, il y a $e_i R_c e_j$ si et seulement si $(e_i, e_j) \in T$. Comme l'illustre la figure 56 ci-après, pour tout état $e_i \in E$, on a $(e_i, e_i) \in T$, la relation R_C est ainsi réflexive, ce qui signifie que le comportement C est lui aussi réflexif. Cette caractéristique fonde donc une des règles qui doivent être respectées dans la modélisation des agents cognitifs du système.

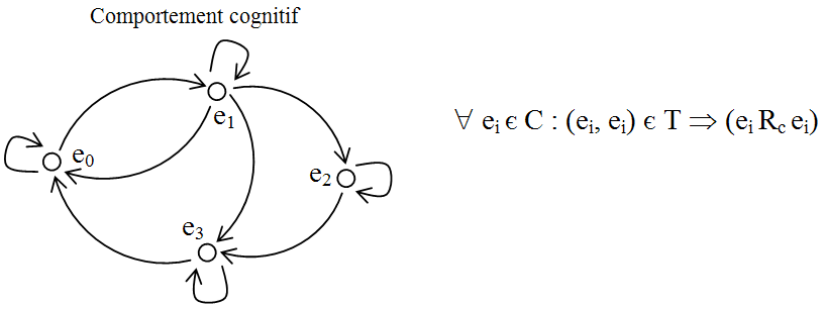


Figure 56 : exemple de comportement d'un agent cognitif.

Enfin, comme un comportement cognitif est une extension d'un comportement réactif, il est à noter que des similitudes visibles sur leurs métamodèles subsistent entre eux, notamment dans leurs éventuelles relations de transitivité et de symétrie. De plus, un comportement cognitif doit nécessairement être réflexif au détriment de quoi les règles d'inférences ne pourraient assurer un raisonnement global de l'agent.

La définition des deux métamodèles précédents, ayant pour objectif de formaliser le fonctionnement des comportements réactifs et cognitifs pour les agents du système, pose la question des enchainements – ou chemins – d'états. L'ordonnancement des stimuli perçus par les agents est une étape qui consiste à décider dans quel ordre certaines tâches doivent être exécutées. Plusieurs techniques permettent de réaliser ce tri qui revient dans tous les cas à créer une file d'attente – ou queue de traitements – qui peut soit être traitée par le haut en LIFO[25], soit par le bas en FIFO[26], soit en fonction d'une priorisation tierce pouvant par exemple dépendre de l'urgence de la demande. Il est privilégié d'utiliser cette dernière solution, dite de planification, afin de spécifier des priorités dans les processus devant avoir lieu en affectant un indice de préférence à chacun : si une tâche d'ordre 1 ne peut être réalisée, alors une tâche d'ordre 2 peut être entamée, et ainsi de suite.

9.4.3. Agents décisionnels simulant la gestion de la crise au niveau opérationnel

Conformément aux modèles cognitifs précédemment explicités, il est considéré que chaque agent ne peut réaliser qu'une seule tâche à la fois. Une illusion de multitâche peut cependant être donnée si chaque action unitaire est réalisée séquentiellement très rapidement. Les trois principaux comportements partagés au sein du système sont les suivants : l'interaction physique avec l'environnement, l'écoute et réception d'un ordre, l'exécution de l'ordre en cours.

La première étape dite d'interaction considère que l'implication physique d'un agent dans son environnement est un facteur déterminant de sa capacité à y réaliser ou non des actions. En effet, un degré d'altération élevé de l'environnement proche d'un agent (d'importants flux thermiques émis par un incendie par exemple) peut entrainer l'annulation d'une tâche en cours pour passer à une tâche plus prioritaire (s'éloigner, se protéger, etc.). La réalisation de cette interaction passe par un comportement simple d'écoute de tous les stimuli émis par les éléments du système susceptibles d'être impactant (les phénomènes dangereux, etc.). Les données physiques des agents sont mobilisées (leurs coordonnées, leurs propriétés, etc.) et les stratégies éventuellement en place peuvent être modifiées (liste des actions, tâche en cours, connaissance de la situation, etc.).

La réception de la performative « ordre » permet quant à elle l'archivage et la priorisation des requêtes reçues afin de créer une file d'attente contenant les tâches qui doivent être exécutées. Ces ordres concernent non seulement des demandes émanant d'un supérieur hiérarchique mais aussi des informations critiques liées à l'environnement ou aux conditions simulés, sans oublier les décisions des participants ou les influences des

[25] *Last In, First Out – la dernière requête arrivée est la première traitée.*
[26] *First In, First Out – la première requête arrivée est la première traitée.*

formateurs. La figure 57 présente l'algorithme de gestion d'un ordre en tant que message prioritaire et son archivage en tant que tâche dans la pile des actions en attente d'achèvement.

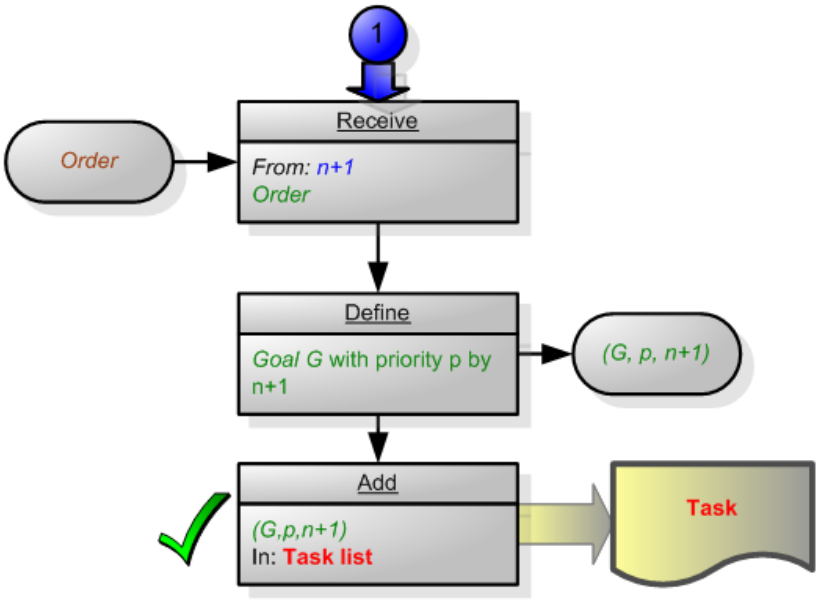


Figure 57 : algorithme de réception d'un message prioritaire.

Comme le montre la figure 58 qui suit, la transformation d'une tâche en processus d'action par un agent passe par la mise en correspondance de son but de priorité la plus élevée et sa disponibilité actuelle.

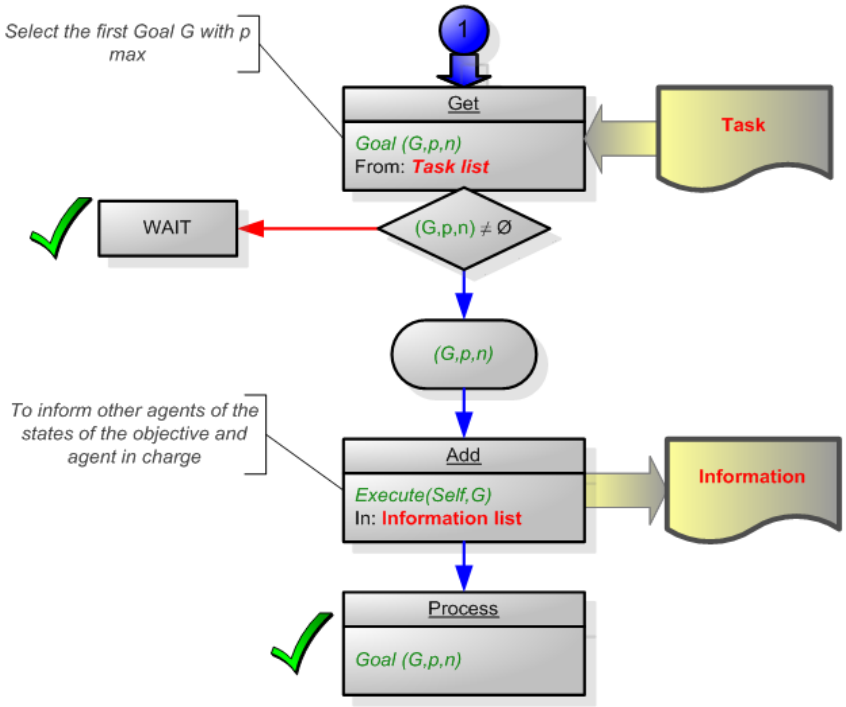


Figure 58 : algorithme de transformation d'une tâche en processus d'action.

Lorsque la tâche est transformée en série d'actions, l'agent peut avoir besoin d'interagir avec son environnement en transmettant une information sur son état ou sa stratégie. Cette information va être propagée dans le système à destination d'un ensemble de destinataires qui traiteront à leur tour ce message en fonction de leurs objectifs propres. La figure 59 (page suivante) détaille l'algorithme de traitement d'une information provenant d'un agent tiers qui sert de déclencheur pour l'élaboration d'un plan d'actions. L'élaboration d'une solution passe par l'évaluation de sa faisabilité, et son application est débutée si tant est qu'au moins une solution ait été définie. A titre d'exemple, les contraintes qui peuvent mettre fin à ce processus sont les éventuelles variables passées en paramètres ainsi que les intervalles concernant les informations inconnues ou incertaines.

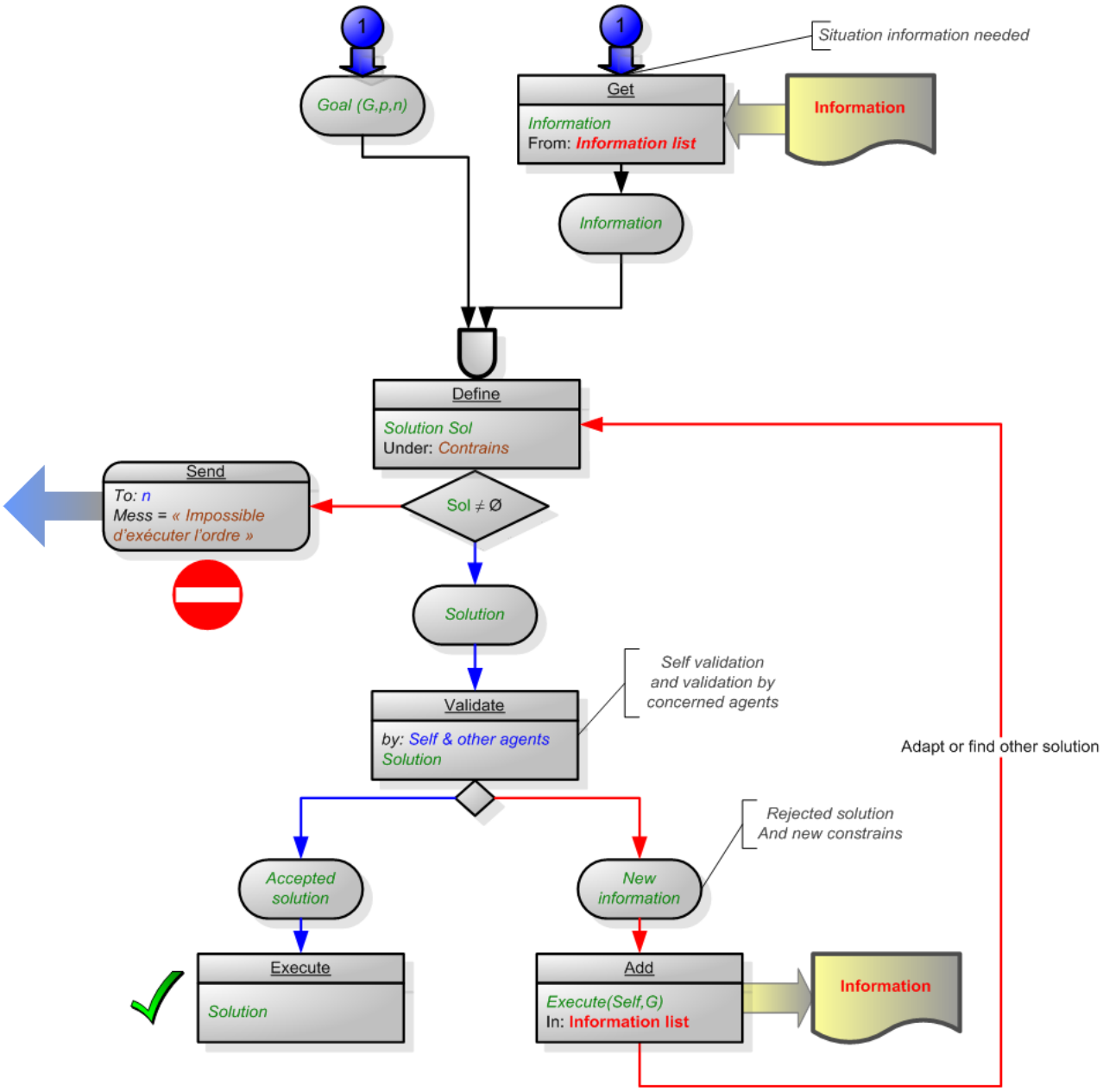


Figure 59 : algorithme de sélection et de traitement d'un objectif.

Une fois qu'une solution est retenue et transcrite en action dans le système, le mécanisme d'inférence de l'agent est activé afin d'évaluer l'adéquation de la réponse apportée par rapport au problème de départ. La figure 60 ci-après montre l'algorithme qui confronte les modifications induites par les actions entreprises avec le but recherché par l'agent, et qui détermine alors si une nouvelle tentative doit être réalisée ou bien si la solution est considérée comme acceptable. Le degré d'acceptabilité est quant à lui évalué afin d'autoriser l'agent à expérimenter des variantes afin d'améliorer ses performances si nécessaire.

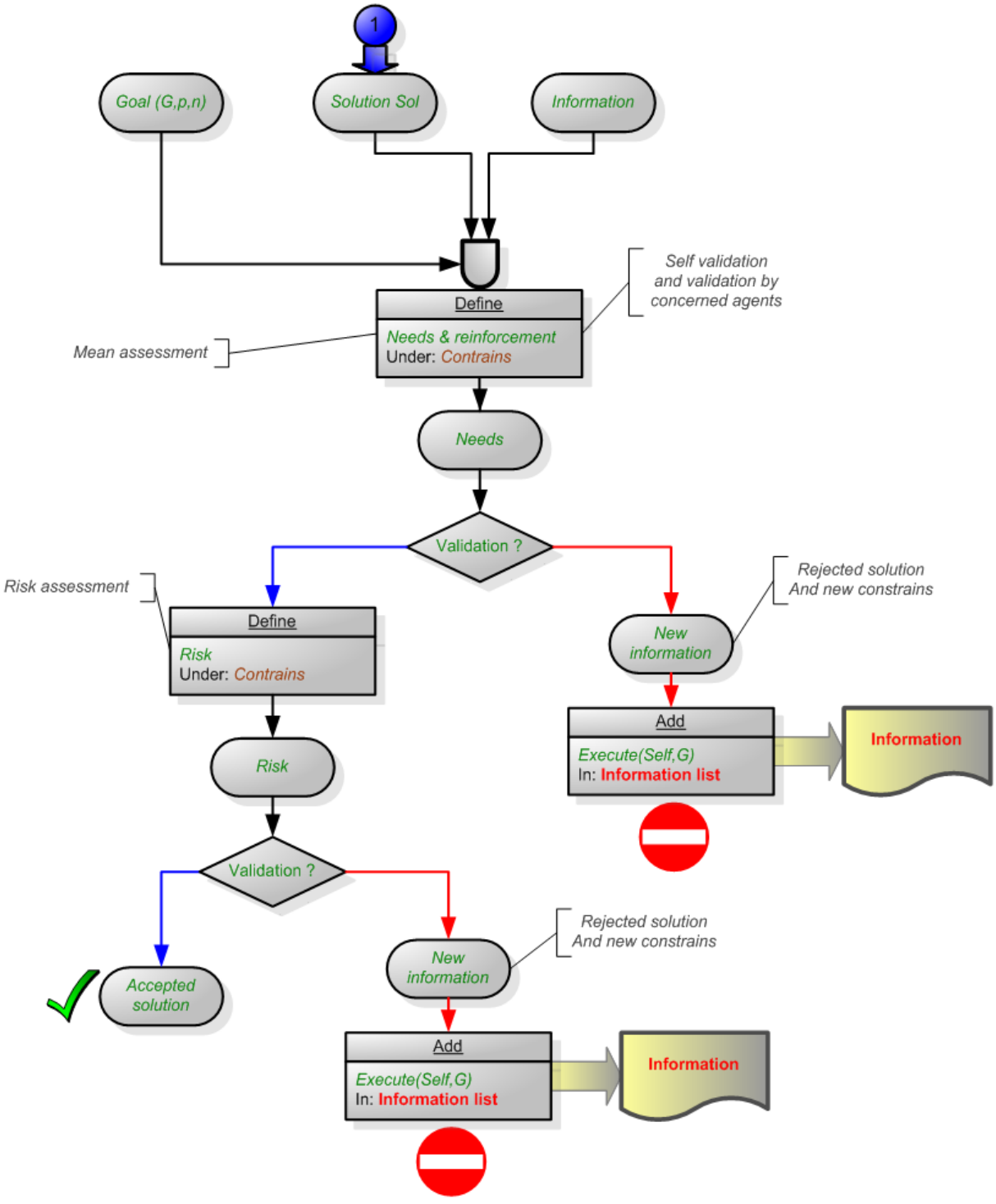


Figure 60 : algorithme de validation d'une solution.

Ces comportements généraux démontrent que cette méthode peut ainsi être appliquée à tout comportement participant au système de simulation, qu'il soit simple ou complexe, cognitif ou uniquement réactif. En fonction du scénario retenu et des acteurs contribuant habituellement à la gestion de la crise simulée, des modèles spécifiques peuvent être déclinés, comme la gestion des renforts (cf. annexe V) ou encore l'évaluation d'un danger (cf. annexe VI) par exemple.

Synthèse

L'approche retenue afin de concevoir un système interactif de simulation dynamique repose sur la technologie multi-agents et sur une base comportementale appelée BDI. Il est proposé comme contraintes initiales, que l'environnement soit observable, dynamique, discret et non déterministe. L'aspect psychosocial intervenant dans les relations entre individus nécessite de compléter l'approche BDI au moyen de modèles permettant d'intégrer la dimension humaine, instable ou imparfaite, parfois imprévisible et souvent subjective, pour émuler les comportements anthropomorphiques.

La théorie de l'action permet de considérer deux grands types d'agents : les automates réactifs (un phénomène accidentel, etc.) et les entités cognitives (services de secours, victimes, etc.). Les premiers regroupent non seulement les agents en charge de simuler un phénomène accidentel et de calculer ses conséquences au moyen de modèles et de bases de données embarquées, mais aussi les éléments passifs contribuant au scénario (un arbre, un immeuble, etc.) dont le comportement ne dépend que de sa réaction par rapport à un stimulus quelconque (une onde de souffle, etc.). D'autre part, les caractéristiques (observation, cognition, précision et constitution) et les aptitudes des agents (dépendant du scénario de crise à simuler) sont intégrées dans un processus déterminant la réussite ou l'échec des tentatives d'action.

La hiérarchie suivante est proposée pour refléter les besoins évoqués : les agents abstraits, les agents géolocalisés et les agents archétypiques. La théorie de l'action est postulée comme un compromis acceptable entre coût de mise en œuvre et réalisme des simulations. Sept étapes sont par ailleurs identifiées pour l'accomplissement des tâches des agents archétypiques : l'établissement d'un but, la formation d'une intention, la spécification puis l'exécution d'une suite d'actions, et enfin la perception, l'interprétation et l'évaluation de l'efficacité de la réponse apportée (inférences). Ce processus transforme ainsi un problème perceptible, en problème formel, pour produire une solution formelle qui soit à son tour perceptible. Ainsi, l'architecture archétypique proposée intègre six composantes : les croyances, les désirs, les intentions, les caractéristiques, les aptitudes et les modèles d'inférences des agents. Il est montré que les métamodèles généraux des agents qui sont évoqués afin d'illustrer le fonctionnement proposé sont applicables aux agents décisionnels simulant la gestion de la crise au niveau tactique et opérationnel.

Chapitre 10 : Structuration et proposition d'un guide d'évaluation

« Une somme de connaissances en constante accumulation est aujourd'hui éparpillée de par le monde. Elle suffirait probablement à résoudre toutes les grandes difficultés de notre temps, si elle n'était pas dispersée et inorganisée. »

H.G. Wells, *Mankind in the making*, 1940.

10.1. Définition de la stratégie d'évaluation des compétences mobilisées

10.2. Méthode d'évaluation pédagogique

10.3. Méthode d'évaluation organisationnelle

10.4. Vers une opérationnalisation de la méthodologie

Deux aspects concernant l'évaluation des participants ont été précédemment identifiés dans le cadre de ce travail de recherche. Le premier porte sur les facteurs psychosociaux qui influencent les comportements humains tandis que le second concerne les compétences de l'équipe de gestion de crise. Or, l'intégration des qualités (l'instinct, l'apprentissage, l'intelligence et l'adaptabilité) ainsi que des faiblesses psychosociales (l'altérabilité, la dysaffectivité, la subjectivité, l'ignorance, la crédulité et l'asociabilité) qui ont été identifiées, dressent le périmètre d'un champ de recherche à part entière. C'est pourquoi, les axes relatifs aux compétences devant être mobilisées par les participants ont été privilégiés. Comme le rappelle la figure 61, deux approches ont été distinguées non seulement dans le but d'actualiser les objectifs pédagogiques en cours d'exercice, mais aussi pour enrichir le débriefing par l'évaluation rétrospective des compétences activées par l'équipe de gestion de crise.

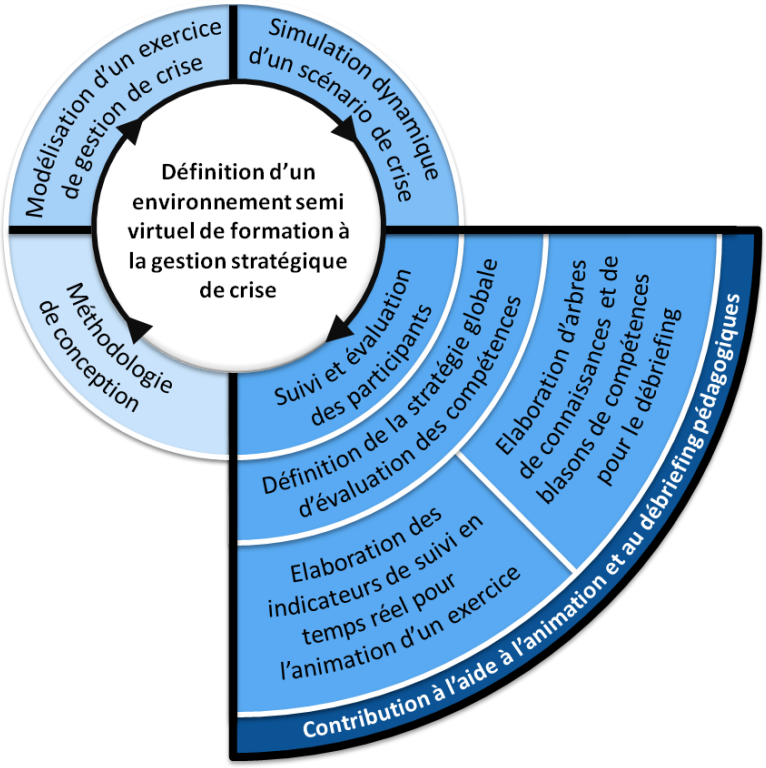


Figure 61 : approche mise au point pour le suivi et l'évaluation des participants.

10.1. Définition de la stratégie d'évaluation des compétences mobilisées

Il convient de rappeler que le débriefing, dernière phase de la session de formation, est un moment capital en termes d'apprentissage, durant lequel formateurs et participants vont analyser la situation, les décisions qui ont été prises, les différentes alternatives qui auraient pu être envisagées et vont mettre en commun un ensemble de connaissances. Cette phase développe en outre la coordination entre les différents acteurs, élément indispensable afin de gérer une crise de façon pertinente. La combinaison entre l'expérience acquise au cours des situations réelles et l'utilisation du retour d'expérience de la simulation permet de mener des réflexions structurées sur les théories et les pratiques en vue de les améliorer. Cette démarche doit concerner

tous les intervenants en ayant une discussion professionnelle et focalisée sur les performances du groupe et non pas de chaque individu. C'est pourquoi, il convient tout d'abord de s'attacher à considérer l'équipe de gestion de crise comme le sujet principal de l'évaluation. Il est dès lors pertinent de considérer comme objectif du débriefing de fournir aux participants les moyens de réfléchir sur leurs erreurs. Ces dernières ne doivent pas entrainer des jugements de valeur portés sur les connaissances ou les capacités de raisonnement des participants, mais comme une autoévaluation de la réponse apportée (compétences mobilisées ou non) face à une situation donnée. L'idée est ainsi de mettre en évidence leur origine et ce qui a conduit à les commettre, en vue d'améliorer la construction des stratégies de gestion de crise. Les exercices donnent non seulement la possibilité à chacun de tester son comportement face à un évènement simulé mais aussi de mettre en application des outils et d'expérimenter les interactions entre chaque membre de l'équipe. Il apparaît ainsi primordial d'étudier la manière dont ont été mis en œuvre les différents processus de décision ainsi que l'organisation des relations entre les individus gestionnaires pour contribuer à la robustesse du groupe. En pratique, contrôler si les objectifs pédagogiques ont été atteints lors de l'exercice de formation à la gestion de crise, peut être réalisé en mettant en place des procédures d'évaluation qui intègrent – conformément à l'approche EBAT – la manière dont les évènements du scénario d'exercice ont été transformés en actions ou en décisions stratégiques.

D'un point de vue méthodologique, la typologie suivante est proposée afin de distinguer : l'évaluation pédagogique, l'évaluation organisationnelle et l'évaluation comparative. L'évaluation pédagogique passe par l'analyse des actions réalisées et des décisions adoptées au regard des objectifs préalablement fixés. Ces objectifs peuvent être adaptés en fonction du profil des participants (néophytes, initiés ou experts en gestion de crise) et mobilisés aux moyens de couples situation-tâches ou de perturbations. Il faut rappeler à ce titre que seuls deux paramètres peuvent terminer la simulation, à savoir : la sortie de la phase aigüe de la crise, ou l'heure de fin de l'exercice. Il est proposé que l'évaluation pédagogique soit réalisée en temps réel et participe principalement au suivi de l'exercice et serve à ce titre d'aide à l'animation et à la supervision du scénario de crise. Le système multi-agents peut être un support de cette évaluation grâce aux indicateurs qu'il est susceptible d'agréger. L'évaluation organisationnelle est ensuite structurée selon trois axes :

- Les interactions, auxquelles chaque équipe de gestion de crise a contribué,
- Les compétences mobilisées, par rapport à celles dont il était attendu qu'elles le soient dans un laps de temps donné,
- Le profil type de chaque groupe, susceptible de mettre en évidence des forces et des faiblesses dans un contexte donné.

Il est en effet considéré que les trois axes définis pour l'évaluation organisationnelle sont complémentaires et permettent d'analyser non seulement le positionnement de chaque cellule de crise dans la gestion globale de l'évènement, mais aussi l'adéquation entre les compétences activées et la crise simulée, sans oublier les synergies ayant eu lieu entre les individus (répartition des rôles, distribution des profils développeurs, évaluateurs et décideurs, etc.). Il convient que cette évaluation soit réalisée par les formateurs au moyen d'éléments factuels (provenant par exemple de l'historique des évènements tracés par le système multi-agents) et observables (en utilisant notamment des séquences enregistrées durant l'exercice).

L’évaluation comparative regroupe quant à elle des aspects critiques et correctifs liés à l’identification et l’explication des erreurs propres à chaque groupe, ainsi qu’à la proposition de réponses rétrospectivement plus pertinentes. Elle intègre ensuite l’évaluation des stratégies distinctement adoptées par les deux équipes de gestion de crise, tout comme la mutualisation de leurs modes de raisonnement. Il convient ainsi que cette évaluation soit encadrée par les formateurs lors du débriefing tout en étant animée de manière participative par les membres des deux groupes.

Il convient ainsi de s’attacher à définir dans un premiers temps la méthode d’évaluation pédagogique, laquelle doit notamment permettre d’identifier les indicateurs de suivi pour l’animation de l’exercice. Un guide méthodologique d’évaluation organisationnelle va ensuite être proposé pour tenir compte des interactions, des compétences et des profils de l’équipe de gestion de crise. En revanche, compte tenu de la dimension non-maîtrisable – car fortement liées à la proactivité des participants – de l’évaluation comparative, cette dernière n’est pas approfondie dans le cadre de ce travail de recherche.

10.2. Méthode d’évaluation pédagogique

La démarche adoptée a pour but de proposer à l’animation une série de diagrammes de type « radars » qui permet de mettre en évidence de façon graphique le positionnement du groupe de participants au sein du processus de formation. Dans cette approche, chaque objectif pédagogique de l’exercice s’accompagne d’évènements qui permettent ainsi la quotation des critères d’évaluation. Comme le montre la figure 62 (page suivante), ces critères concordent avec les objectifs pédagogiques intermédiaires retenus pour la gestion de crise, lesquels agrègent les seize objectifs spécifiques correspondants (cf. tableau 7, p134). Ainsi, chaque critère est déclinable en sous-critères servant à obtenir le score du critère par une somme simple.

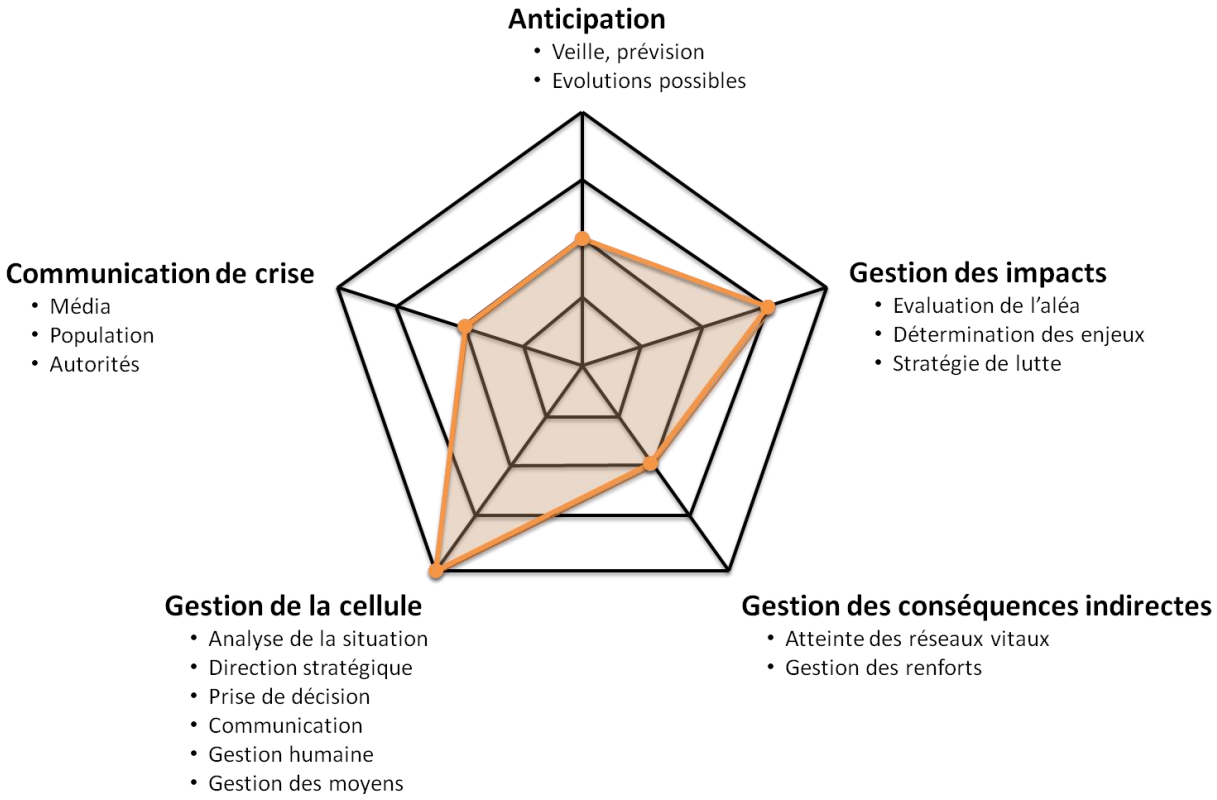


Figure 62 : radar principal d'évaluation.

Il est attribué dans un premier temps une pondération identique aux scores de chaque sous-critère afin de refléter l'approche pédagogique consistant à considérer chaque axe didactique comme ayant une égale importance. Néanmoins, une validation de la méthode proposée devra donner lieu à des ajustements s'il est établi que le faible score de certains critères impacte moins fortement la gestion de la crise que d'autres.

10.3. Méthode d'évaluation organisationnelle

10.3.1. Suivi multimédia des interactions réalisées par les participants

Afin de construire une évaluation des interactions durant le scénario simulé, il a précédemment été préconisé l'utilisation de dispositifs non intrusifs de suivi sonores et vidéo sous plusieurs angles. L'enregistrement de ces derniers a pour but d'aider à l'analyse des comportements verbaux et non-verbaux des participants. Par là-même, les échanges de mails peuvent être sauvegardés afin de compléter cette démarche. L'étude de ces ressources peut ensuite être menée en utilisant par exemple la méthode de microanalyse ethnographique qui a pour but d'identifier la manière dont les processus d'interaction sont organisés. Cette méthode est particulièrement idoine lorsqu'il *« est important d'avoir des informations adaptées sur le discours et les comportements non verbaux des participants »* [Erickson, 1992]. Deux choses sont essentielles : identifier les variations dans le comportement de l'équipe et déterminer les évènements typiques et atypiques de celle-ci.

Les données collectées sont analysées selon les étapes suivantes, pouvant avoir lieu en cours d'exercice ou sur la base d'enregistrements :

- Regarder l'exercice en entier, à vitesse ou en temps réel,
- Identifier les moments clefs ainsi que les comportements de l'équipe à ces moments-là,
- Se focaliser sur les actions individuelles,
- Analyser comparativement les différents éléments récoltés.

Cette méthode peut être étendue à l'analyse des comportementaux verbaux des participants et l'identification des moments clefs et des comportements observables peuvent être étudiés suivant les trois phases suivantes :

- Un premier moment pendant lequel chaque membre va chercher à rassembler le maximum d'informations,
- Une deuxième étape qui a pour but de faire le point sur les informations disponibles, et qui va conduire à une décision concernant la suite des actions à mener,
- Une dernière phase au cours de laquelle chaque personne va réaliser les tâches qui lui incombent afin d'atteindre les objectifs fixés.

Il est à noter que cette approche nécessite une importante communication entre tous les acteurs, comme l'illustre la figure 63 qui suit. Deux types de communication coexistent en effet, le premier concerne la communication entre les participants (dont l'enregistrement ou l'écoute peuvent être réalisés), tandis que le second relève de la communication avec les acteurs extérieurs (dont les rôles sont tenus par des formateurs).

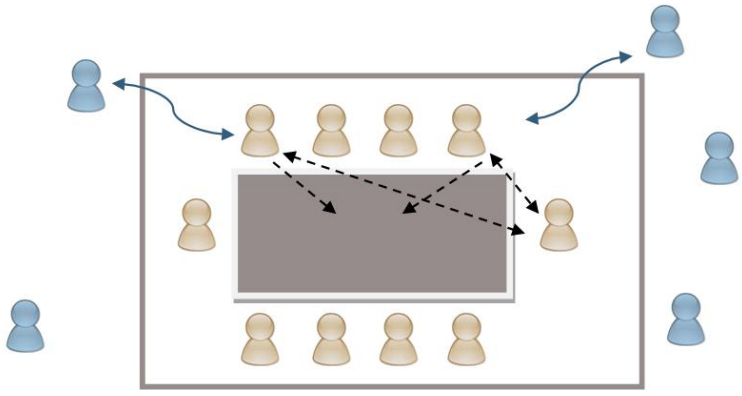


Figure 63 : représentation de la communication avec l'extérieur d'une cellule de crise.

Afin d'analyser la collaboration entre les différents participants, le suivi des interactions doit tracer toutes les informations relatives au travail à la fois individuel et collectif (mails, appels téléphoniques, etc.). Ces éléments permettent de mettre en correspondance à chaque instant la quantité d'échanges effectués avec les évènements simulés dans le scénario. Cette corrélation a pour but d'identifier les moments où les temps de réactions ont été adaptés ou non, et d'évaluer la capacité de l'équipe de gestion de crise d'adapter ses réactions et ses sollicitations des acteurs extérieurs en fonction de la situation. Le suivi des interactions se destine ainsi à comprendre les raisons pour lesquelles certaines compétences sont activées par les participants dans un contexte donné de gestion de crise. L'évaluation de ces compétences va maintenant être structurée au moyen d'une méthode basée sur les arbres de compétences.

10.3.2. L'évaluation des compétences au moyen d'arbres de compétences

10.3.2.1 Définition

Le concept d'arbre de compétences – également nommé arbre de connaissances ou *capability tree* en anglais – découle d'une approche classique, notamment utilisée dans le domaine de la gestion des ressources humaines, et consistant à considérer tout ensemble de personnes (une équipe, un service, une entreprise, etc.) comme une communauté de savoirs.

Une compétence est considérée comme une qualité, une propension à mobiliser un ensemble de connaissances particulières dans un contexte donné, afin de réaliser une action. Il est ainsi postulé que chaque membre d'un groupe doit être vu dans sa dimension individuelle comme pouvant participer activement aux dynamiques collectives de par ses propres connaissances, son expérience personnelle et ses compétences élémentaires (savoir gérer une équipe, savoir-faire un compte-rendu synthétique, etc.) [Lévy *et al.*, 1992]. L'identification de toutes les compétences élémentaires partagées au sein d'une communauté ayant la même problématique permet de créer une représentation graphique d'un espace de connaissance (savoir, savoir-faire, etc.) qui lui est spécifique. Dans ce référentiel, chaque compétence n'apparait qu'une seule fois même s'il existe plusieurs individus qui la possèdent (cf. figure suivante). D'un point de vue du vocabulaire consacré employé, le tronc et les branches de cet arbre sont faits de petites cases, appelées brevets.

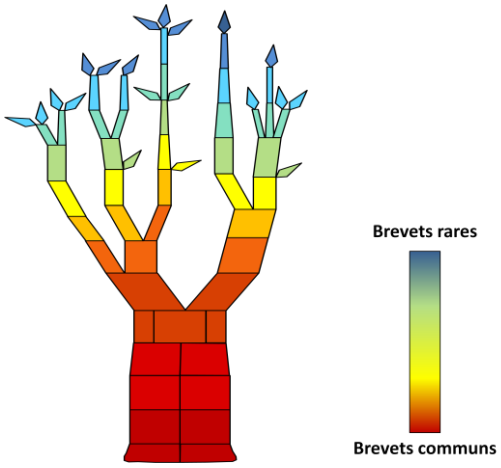


Figure 64 : exemple d'arbre de compétences.

Dans le bas de l'arbre, se situent les compétences qui sont généralement acquises en premier. Il s'agit généralement de celles qui ont les plus grandes capacités d'engendrement de nouvelles compétences, c'est-à-dire de celles dont l'apprentissage est un prérequis pour d'autres apprentissages. Inversement, la cime de l'arbre regroupe les compétences qui demandent un temps d'apprentissage ou de pratique plus important afin d'être acquises, et impliquent de ce fait la maîtrise préalable de bases fondamentales.

Les brevets appartenant à une même branche sont souvent relatifs à des compétences qui vont de pair, c'est à dire des savoirs ou des disciplines associés dans la vie réelle des membres du groupe. Lorsque ce canevas générique est mis en relation avec un individu, il est alors possible de dresser l'inventaire des compétences

que celui-ci active, mobilise, voire maitrise, et constituer ainsi la carte « génétique » de sa participation au sein du système modélisé par l'arbre de compétences. Cette mosaïque personnelle s'appelle un blason (cf. figure 65). Sans chercher à mettre en évidence de quelconques lacunes, il est ici question d'identifier quels profils doivent être recherchés afin qu'un maximum de compétences complémentaires soient réunies. Par exemple, la complémentarité du blason de la figure suivante s'obtient en en faisant la différence avec l'arbre de compétences (cf. figure 64 de la page précédente). Les brevets figurant en blanc correspondent à ceux qui ne sont pas possédés par l'individu.

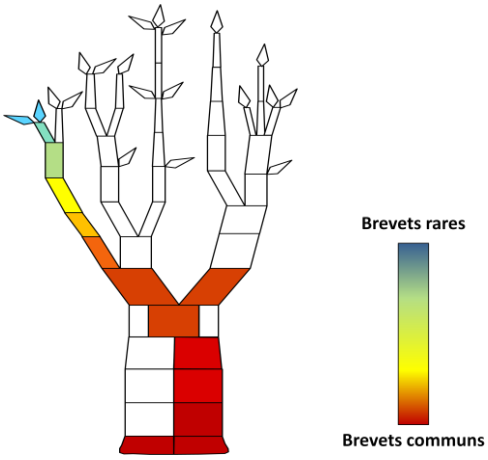


Figure 65 : exemple de blason d'un individu.

En étudiant la somme des blasons d'un arbre de compétences, il est en outre possible d'évaluer la carence ou la suffisance de chaque compétence au moyen d'un indicateur qui intègre le nombre de personnes qui se partagent les savoirs utiles pour la problématique. En effet, le code couleur utilisé pour chaque brevet permet de traduire le nombre de fois qu'une compétence apparaît, et permet d'évaluer visuellement les besoins ou les déséquilibres présent au sein de la communauté. L'exemple présenté dans la figure 66 ci-après met en évidence une branche de compétences (celle de droite) en déséquilibre avec le reste de l'arbre de compétences. Il est ainsi possible d'identifier les points de robustesse ou de faiblesse du groupe face à une problématique donnée.

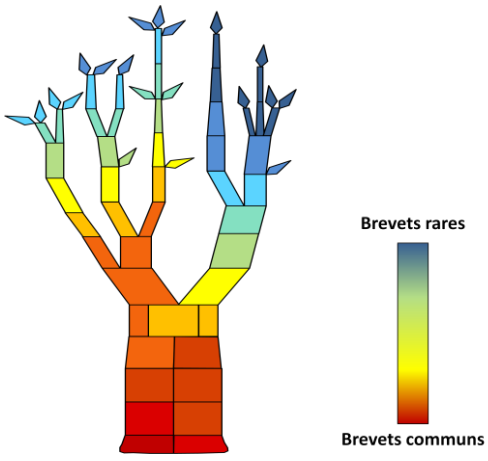


Figure 66 : exemple d'arbre avec une branche dont les brevets sont très peu partagés.

10.3.2.2 Création d'un arbre pour l'évaluation de la gestion d'une crise simulée

La hiérarchisation précédemment proposée pour les objectifs pédagogiques (cf. tableau 7, p134), peut servir à identifier les compétences générales, intermédiaires et spécifiques, que doivent se répartir collectivement un groupe de participants ayant à gérer une crise. Par exemple, l'arbre de compétences des décisionnaires présents dans une cellule de crise fait naturellement apparaître un certain nombre de compétences liées au domaine de la gestion de crise (anticipation, prise de décision, etc.).

Il est ainsi proposé d'utiliser la méthode de manière différente de son emploi classique en constituant un arbre décrivant les compétences devant être mobilisées en gestion de crise pour obtenir un canevas générique voué à évaluer le groupe de participants. Pour ce faire, les différents profils classiquement observés dans une équipe de gestion de crise sont utilisés afin de structurer les différents profils non-techniques requis au sein de la cellule de crise (cf. tableau 3, p43).

Comme l'illustre la figure 67, quatre strates approximatives peuvent être replacées dans l'arbre de compétences matérialisant à la fois un socle général et les profils « développeur », « évaluateur » et « décideur ». Sur une base commune, les trois profils de gestionnaires de la crise se positionnent en effet dans l'arbre en formant des niveaux d'expertise successifs. Il est ainsi postulé qu'une carence de l'un de ces profils soit facilement décelable de façon visuelle.

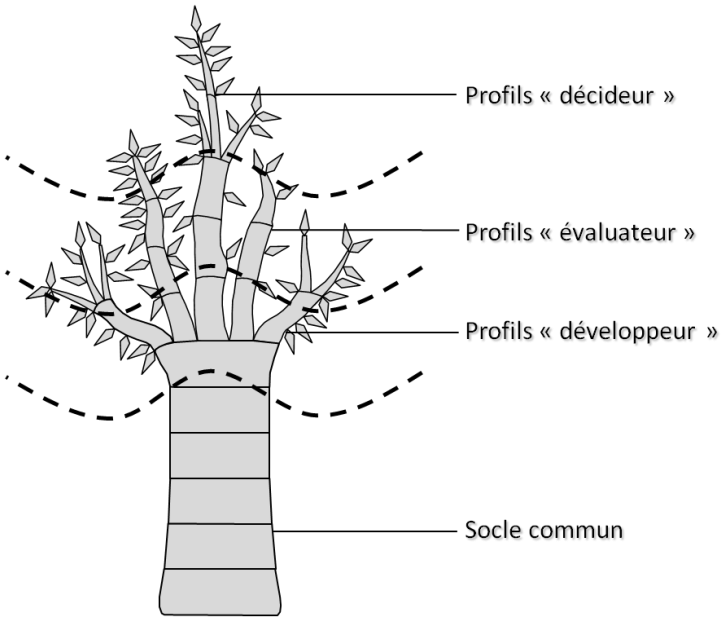


Figure 67 : strates des compétences non-techniques au sein de l'arbre.

Comme l'agrège la figure 68 de la page suivante, six compétences générales sont considérées sous l'angle du savoir, du savoir-faire et du savoir-être, et constituent à ce titre le tronc de l'arbre de compétences. Pour rappel, il s'agit de l'anticipation, de la communication, de la coopération, de la gestion du stress, de la prise de décision, et du leadership.

Ensuite, cinq compétences intermédiaires permettent d'affiner la démarche pédagogique et définissent la base de cinq branches principales : la gestion des impacts directs, la gestion de la réponse, la gestion de la cellule de crise, la communication de crise, et la vision à court, moyen et long termes.

Enfin, les seize compétences spécifiques peuvent être réparties sur chacune des branches de l'arbre en fonction de leur appartenance respective. Pour rappel, il s'agit de : la gestion humaine de la cellule, la gestion des moyens, l'évaluation de l'aléa, la détermination des enjeux impactés, la définition des stratégies de retour à la normale, la préservation des enjeux menacés, la gestion des renforts, l'analyse de la situation de crise, la direction et l'arbitrage des choix stratégiques possibles, la communication (au sein de la cellule, avec les médias, avec les autorités, ou avec le public), la veille et la prévision, ainsi que l'identification des scénarios possibles d'évolution. Pour finir, les principales actions identifiées – il s'agit majoritairement de compétences techniques – sont apposées sous la forme de feuilles terminales.

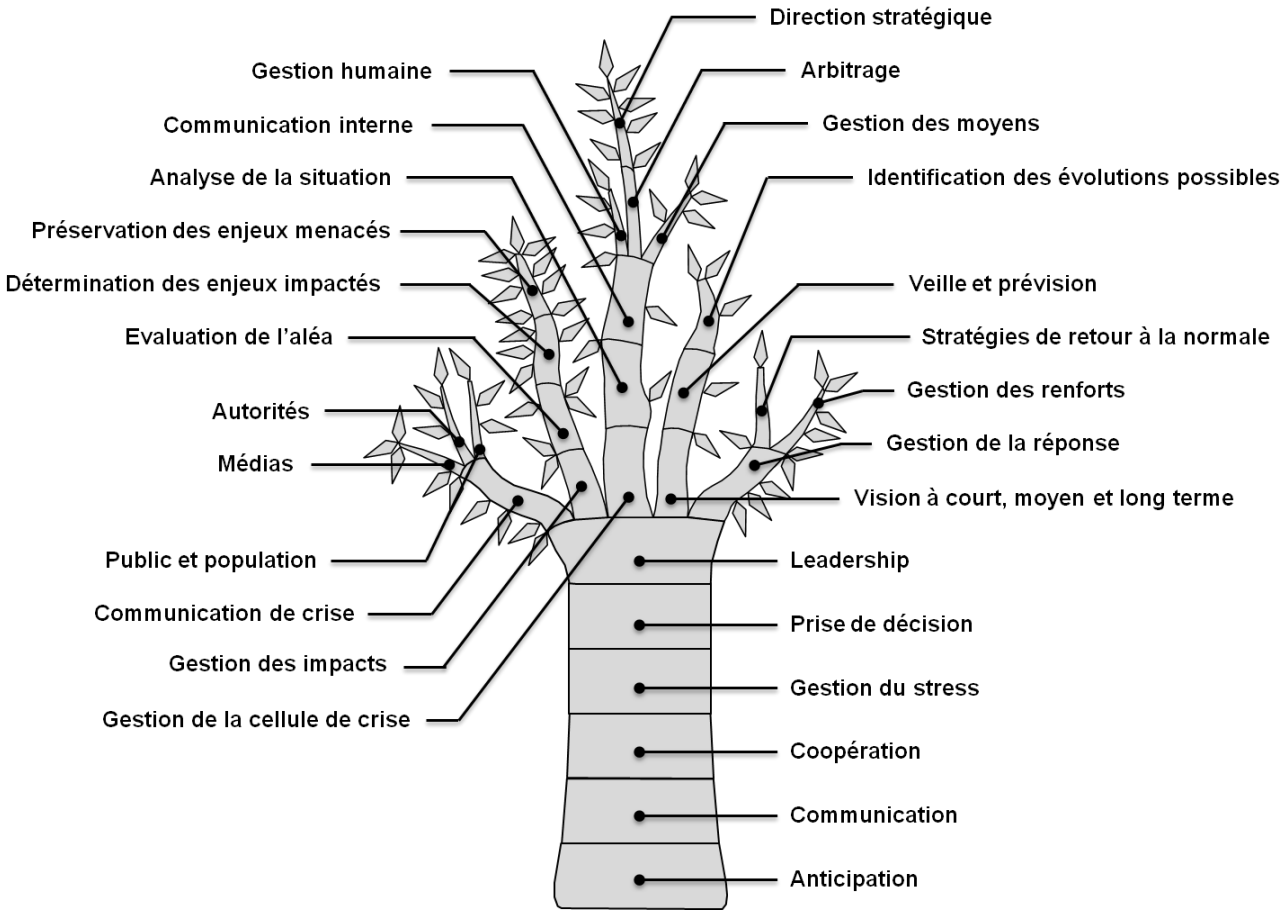


Figure 68 : modèle d'arbre de compétences pour la gestion de crise.

La figure 69 de la page suivante présente l'arbre de compétences construit avec les intitulés des feuilles. Les différents niveaux de précision apparaissent ainsi clairement, avec une discrétisation graduelle des compétences qui sont générales dans le bas de l'arbre et progressivement métiers lorsque les branches sont parcourues.

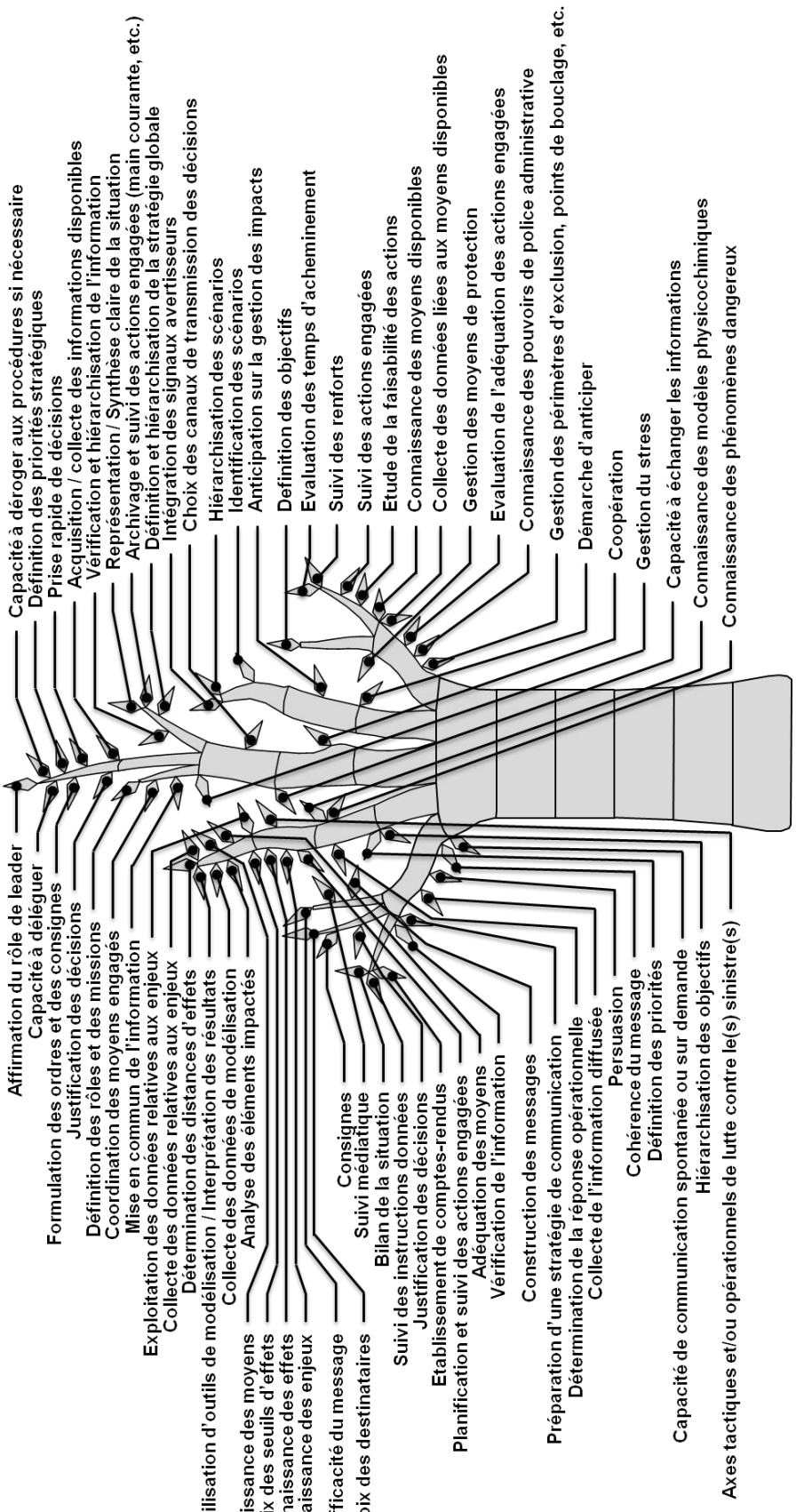


Figure 69 : principales feuilles de l'arbre de compétences de la gestion stratégique d'une crise.

Il est rappelé d'une part que la précision de l'évaluation des participants s'attache à l'étude des compétences mobilisées (les brevets) et non sur l'activation d'actions pré-identifiées (les feuilles de l'arbre). Cette approche semi-macroscopique de l'évaluation des participants se traduit par la présence d'un nombre non-exhaustif de feuilles (c'est-à-dire d'actions possibles) dont seules les plus évidentes ont été retenues pour aider à l'interprétation des résultats visuels. D'autre part, la construction de cet arbre pour la gestion de crise simulée hiérarchise les compétences intermédiaires et spécifiques en considérant que les plus générales d'entre elles (situées dans le tronc) donnent lieu à des variantes plus expertes dans les extrémités des branches ou la cime de l'arbre. Par exemple, la « communication » est un prérequis (cf. bas de l'arbre sur la figure 68, p186) qui permet de se spécialiser en « Préparation d'une stratégie de communication » (cf. milieu de la branche de gauche sur la figure 69 de la page précédente).

Cette analyse met par ailleurs en lumière l'idée que la connaissance, la compréhension ou la pratique de certaines compétences générales sont indispensables pour accéder la maîtrise de certaines autres. Dans le détail, afin de construire et coordonner l'application d'une stratégie globale de gestion de crise, un profil décideur dans la cellule de crise doit anticiper et comprendre les impacts et les conséquences des décisions qui sont adoptées, et dont la gestion revient aux profils évaluateurs. De la même manière, il est important qu'un profil évaluateur sache comment un développeur va être chargé de mettre en place une directive passée, afin par exemple d'en faciliter l'application. Or, si tous les objectifs spécifiques sont sollicités par le même nombre de couples situations-tâches perceptibles, si la répartition des missions est équitable au sein du groupe, et si toutes les décisions ou actions des participants sont réalisées sans retards, alors l'arbre de compétences du groupe formé devrait être homogène et constitué des brevets graduellement mobilisés lors de l'exercice. La figure 70 présente un exemple théorique d'arbre optimal du point de vue organisationnel (échelle absolue).

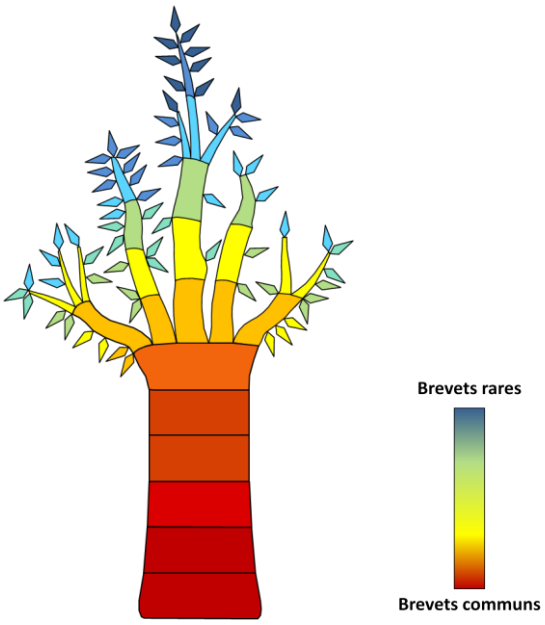


Figure 70 : postulat théorique de l'arbre de compétences d'un groupe de participants.

A contrario, un arbre montrant des déséquilibres (cf. figure 71) peut témoigner que des évènements n'ont pas été perçus, traités, ou intégrés par les participants à la stratégie de gestion de crise. Cela peut aussi se produire si le nombre de perturbations scénariques n'a pas été équivalent pour chaque situation didactique, ou encore si la répartition des tâches entre les participants n'a pas été réalisée de façon cohérente. Dans tous les cas, il est noté que l'emploi d'une échelle absolue favorise la comparaison entre deux arbres. Pour ce faire, la valeur maximum dépend de l'objectif sollicité le plus grand nombre de fois.

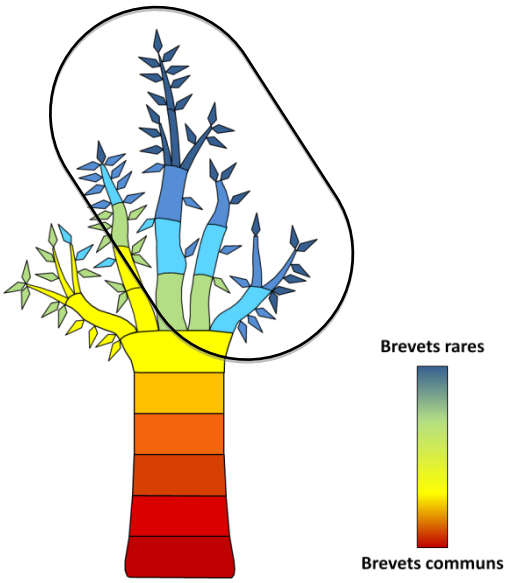


Figure 71 : déséquilibres dans l'arbre de compétences d'un groupe fictif de participants.

10.3.2.3 Blasons d'évaluation complémentaires

Afin d'améliorer la compréhension de l'arbre de compétences d'un groupe de participants, il est proposé que le système multi-agents constitue un « blason des situations-tâches » au cours de chaque scénario d'exercice. Cette représentation présente l'avantage de pouvoir être mise en correspondance avec l'arbre de compétences et d'aider à en comprendre les résultats. La figure 72 suivante présente deux blasons des situations-tâches fictifs, dont la lecture permet d'en voir l'homogénéité (à gauche) ou l'hétérogénéité (à droite).

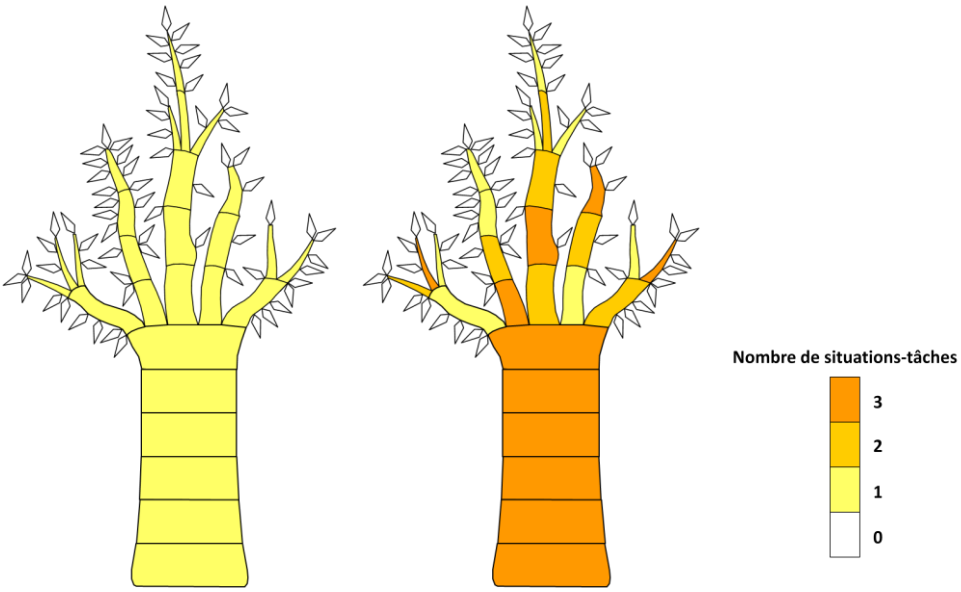


Figure 72 : deux exemples de blason des situations-tâches d'un scénario.

Le premier blason présenté dans la figure 72 précédente indique la présence d'1 couple situations-tâches par objectif pédagogique et correspond dans la méthodologie à une approche appropriée à des participants ayant un profil néophyte voire initié. Le deuxième blason, plus atypique, permet de visualiser immédiatement l'inadéquation de la stratégie pédagogique adoptée avec la méthodologie proposée et peut justifier de résultats éventuellement aberrants qui pourraient être constatés sur l'arbre des compétences des participants sur un scénario de crise simulée. La deuxième composante susceptible de provoquer des déséquilibres dans l'arbre de compétences d'un groupe de participants concerne les perturbations scénariques. C'est pourquoi, tout comme les couples situations-tâches, il est proposé de constituer un « blason des perturbations » permettant de corréler les résultats des participants avec la difficulté des situations didactiques auxquelles ils ont été confrontés.

La figure 73 qui suit illustre d'une part un blason des perturbations homogène (à gauche) étant adapté à un exercice de crise pour un public initié ou expert. Rappelons en effet que le nombre maximal de perturbations par objectif pédagogique de néophytes est limité à 1 dans la méthodologie de génération d'un scénario. Le deuxième blason (à droite dans la même figure) présente des disparités qui doivent impérativement provenir d'une volonté des formateurs de sensibiliser plus fortement les participants sur certains aspects de la gestion de crise que sur d'autres. Dans cet exemple, il s'agit de la communication de crise et de la gestion des impacts.

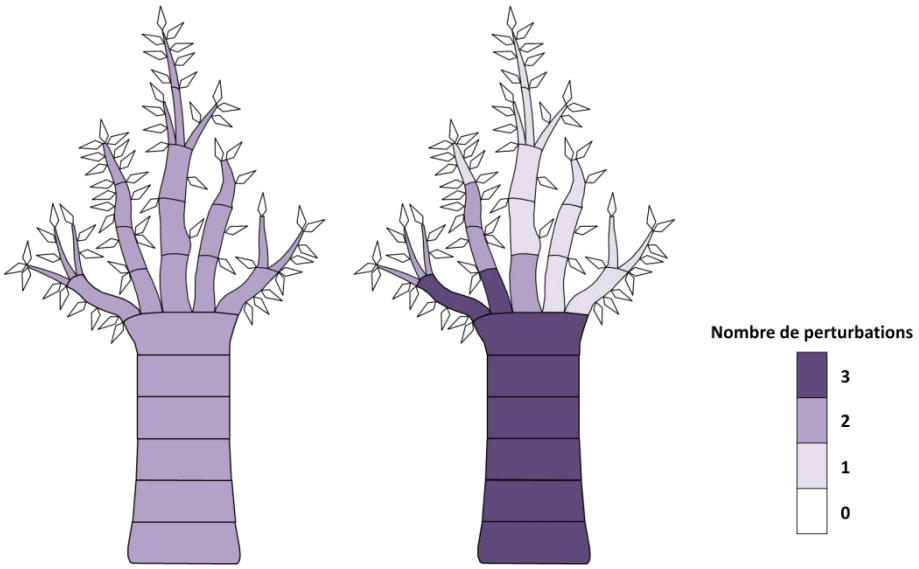


Figure 73 : deux exemples de blason des perturbations d'un scénario.

La figure 74 ci-après met enfin en correspondance un blason des situations-tâches, un blason des perturbations scénariques, et l'arbre de compétences fictif d'un groupe de participants à un exercice de gestion de crise.

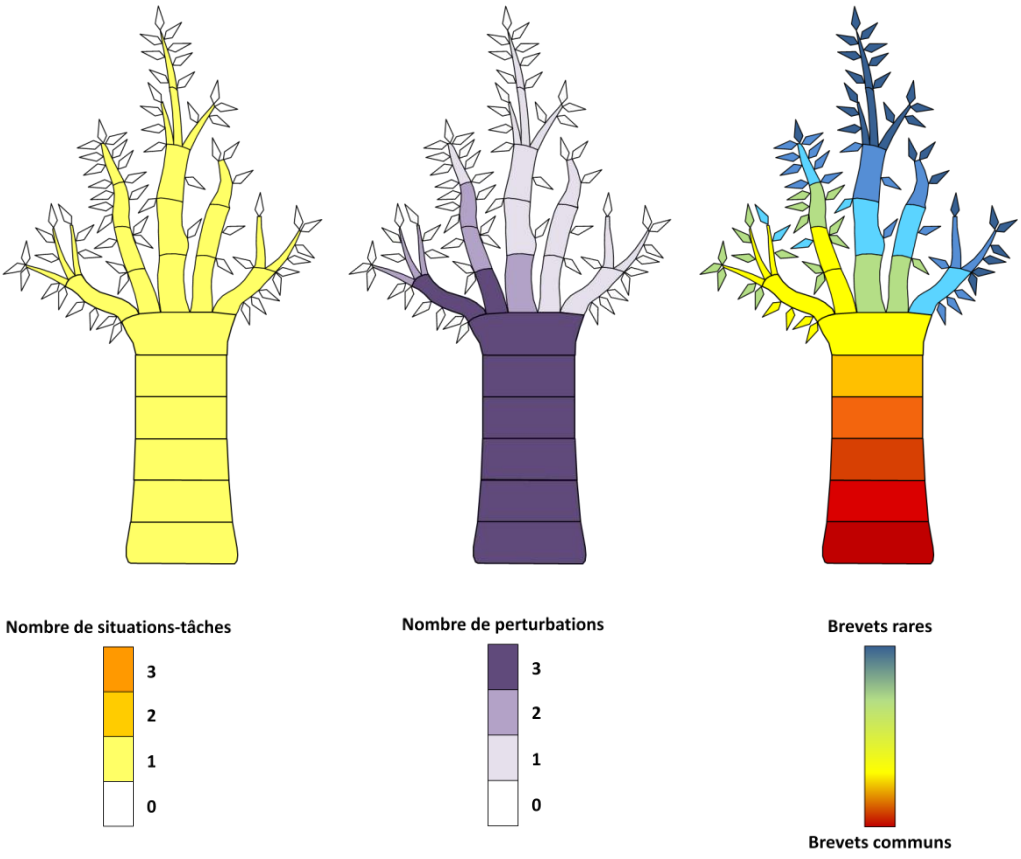


Figure 74 : corrélation des éléments contribuant à l'activation de compétences.

En se proposant d'apporter des indicateurs factuels qui auraient été difficilement mesurables autrement, cette représentation illustre la triple lecture qui peut être faite de la stratégie de gestion globale d'une crise simulée, et les éléments pouvant participer à l'étape de débriefing.

10.3.3. Caractérisation du profil d'une équipe de gestion de crise

L'approche précédente resitue les comportements adoptés par le groupe de participants dans la stratégie pédagogique mise en place dans l'environnement semi-virtuel de formation. Afin d'apporter une vision complémentaire lors du débriefing, il est proposé de construire l'arbre caractéristique de l'équipe de gestion de crise sur le scénario auquel elle a été confrontée. Pour ce faire, la méthode classique de construction d'un arbre va être utilisée en listant uniquement les compétences qui ont été mobilisées par les participants.

Les gradations précédemment utilisées pour les compétences (générales, intermédiaires et spécifiques) et pour les profils caractéristiques (socle commun, développeurs, évaluateurs et décideurs) sont toutefois conservées. Néanmoins, la forme de l'arbre est quant à elle déterminée par les seules compétences activées lors de l'exercice. Comme l'illustre la figure ci-dessous, la non-maitrise de compétences appartenant au socle commun peut provoquer des déséquilibres dans les synergies du groupe, lesquels deviennent immédiatement visibles. Le déport de branches entières au bas du tronc tout comme la présence de longues branches rachitiques, traduisent des dysfonctionnements d'ordre organisationnel (absence de compétences clefs, mauvaise répartition des rôles, inhibition des profils clefs, etc.).

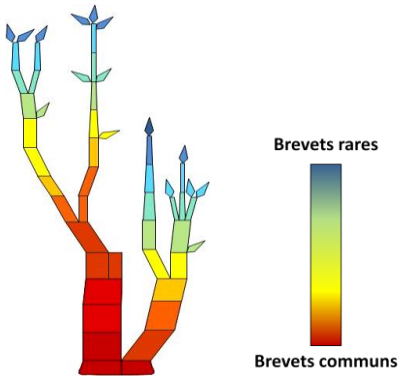


Figure 75 : principe d'arbre construit à partir des compétences détectées au sein d'un groupe.

La figure suivante montre qu'en l'absence de précontrainte de forme pour le profil de l'équipe de gestion de crise, les branches esseulées deviennent des feuilles rattachées à la plus proche compétence dans l'arborescence. De plus, afin d'éviter tout chevauchement de branches ou de feuilles, il est possible que l'algorithme de construction d'arbres ait besoin d'adapter leurs positions, rendant de ce fait la forme de l'arbre plus ou moins aléatoire et imprévisible.

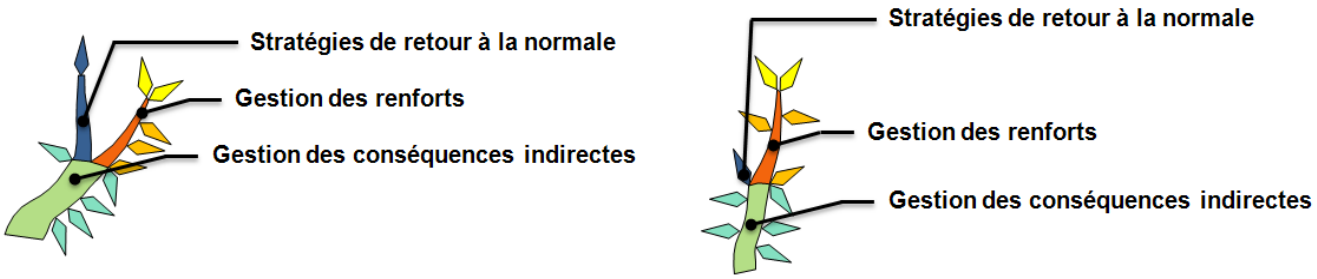


Figure 76 : une branche de l'arbre pédagogique (gauche) et celle de l'arbre organisationnel (droite).

Il est ainsi postulé qu'il puisse y avoir autant de formes d'arbres différentes que de combinaisons groupe-scénario dans la limite des compétences identifiées et évaluables. Néanmoins, l'un des intérêts de cette approche est de permettre une interprétation rapide et visuelle de la qualité organisationnelle d'une équipe de gestion de crise. Comme l'illustre la figure qui suit, certaines formes caractéristiques[27] mettent en lumière les forces et les faiblesses du groupe de gestionnaires, et ouvrent la voie d'un outil de mesure des facteurs déterminants pour une cellule de crise stratégique, tels que la robustesse ou la résilience de l'organisation.

[27] Arbres générés par Trivium Soft – www.trivium.com

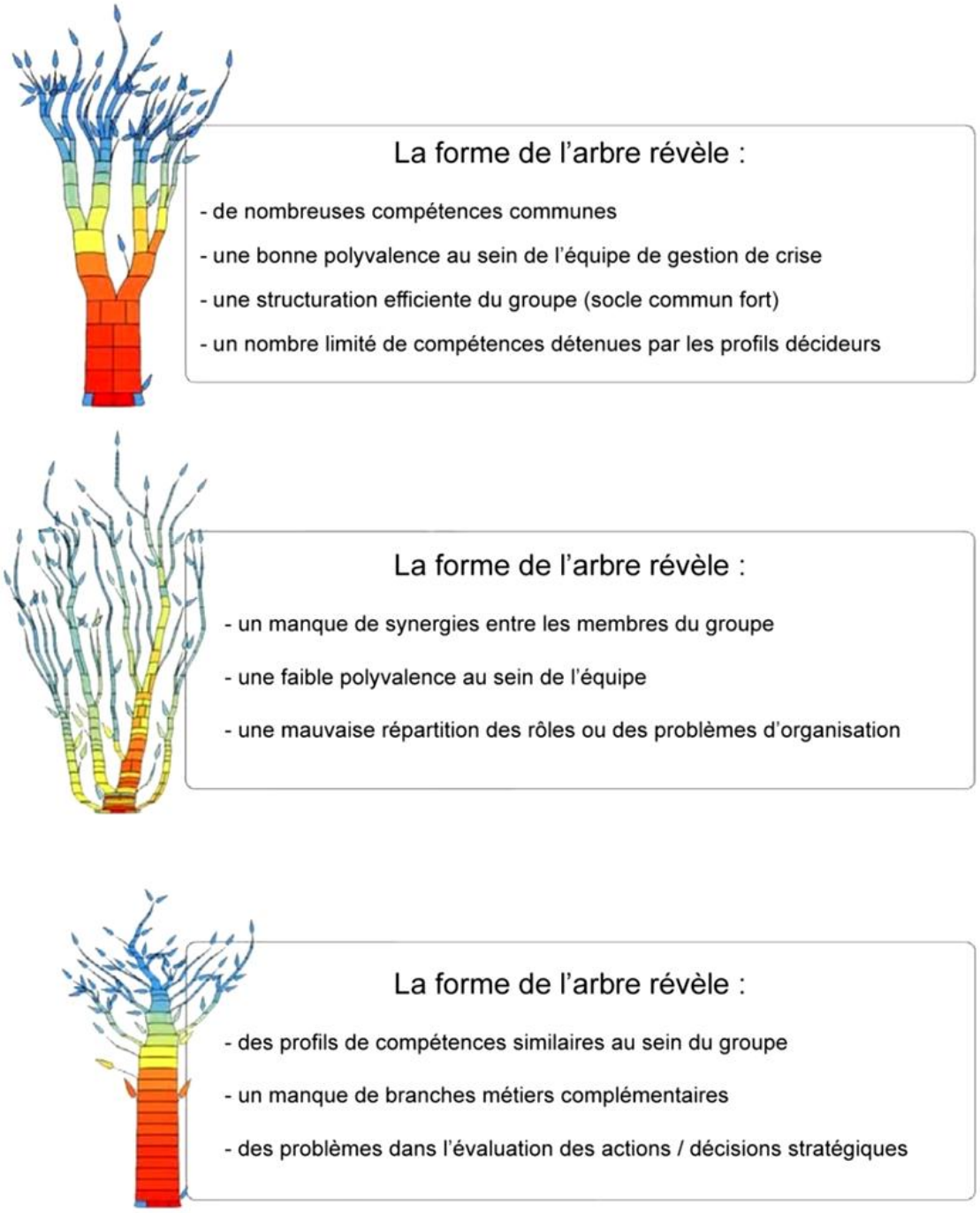


Figure 77 : exemple de formes typiques montrant les forces et les faiblesses d'un groupe.

10.4. Vers une opérationnalisation de la méthodologie

Rappelons en premier lieu qu'il est préconisé que deux ou trois situations didactiques soient créées pour chaque objectif d'apprentissage. Afin de rendre ces évènements pédagogiques perceptibles par les participants, des couples situations-tâches et des perturbations doivent avoir été produits et propagés à destination de l'équipe de gestion de crise. Si les participants ont capté et intégré la ou les informations

véhiculées par ces situations didactiques dans leurs décisions, les actions entreprises et transmises au système multi-agents vont alors traduire si les objectifs ont été atteints ou non. Cette transmission peut notamment être réalisée au travers de sollicitations d'autres acteurs dont les rôles sont assurés par les formateurs. Il apparaît ainsi indispensable de définir un ensemble de règles permettant non seulement d'aider les formateurs dans la tenue de leurs rôles mais de faciliter aussi l'intégration des interactions dans une évaluation semi-automatique des compétences mobilisées. A titre d'exemple, si l'acteur « Météo France » est contacté par l'équipe de gestion de crise pour obtenir des informations météorologiques, le formateur en charge du rôle doit alors pouvoir saisir ou cocher la sollicitation des participants, laquelle est alors identifiée comme activant des compétences d'anticipation et de prévision. Le suivi temporel de cette demande doit aussi permettre d'évaluer si celle-ci a été menée tardivement ou non.

Les évènements doivent en outre faire le lien entre un objectif pédagogique, une situation dans le scénario propice à la réalisation des actions ou à la prise des décisions relatives à cet objectif, et le facteur déclencheur de la séquence pédagogique. Par exemple, la gestion des renforts est l'un des objectifs spécifiques retenus pour un exercice de gestion de crise. Au cours du scénario, une situation didactique peut avoir lieu sous la forme d'une remontée terrain du Poste de Commandement Opérationnel indiquant que les moyens actuellement mobilisés ne sont pas suffisants afin de gérer le sinistre. Si cette information se retranscrit au sein du groupe de participants par une recherche de moyens supplémentaires, et un suivi de leur acheminement, l'objectif d'apprentissage peut être considéré comme atteint. Le délai de prise en compte de la situation didactique est là encore un critère important dans l'évaluation des compétences mobilisées par les participants.

Une discrétisation des décisions prises doit être réalisée par rapport à l'occurrence d'un évènement afin d'évaluer les temps de perception et de réaction de l'équipe de gestion de crise. Dans l'exemple précédent, si la cellule de crise ne prend en compte l'information que tardivement, l'objectif d'apprentissage peut être considéré comme partiellement atteint. Notons, que cette évaluation peut être réalisée par le système multi-agents dans la mesure où ce dernier est non seulement le générateur d'évènements, mais aussi l'intégrateur des décisions des participants.

Au moyen des savoirs, savoir-faire et savoir-être identifiés précédemment (cf. tableau 7, p134), ces critères peuvent être catégorisés. La typologie suivante est retenue : les critères découlant de l'observation ou l'écoute de l'équipe de gestion de crise, et ceux pouvant être implémentés au moyen des fiches d'animation (supports d'aide aux formateurs).

Le tableau 11 suivant rappelle les objectifs intermédiaires et spécifiques structurés auparavant et synthétise le mode d'acquisition proposé pour les critères d'évaluation.

Tableau 11 : répartition des modes d'acquisition pour le suivi des compétences mobilisées.

Compétences intermédiaires	Compétences spécifiques	Mode d'acquisition
Gestion des impacts	Evaluation de l'aléa	Observation / Ecoute Rôles des formateurs
	Détermination des enjeux impactés	Observation / Ecoute Rôles des formateurs
	Préservation des enjeux menacés	Rôles des formateurs
Gestion de la réponse	Stratégies de retour à la normale	Rôles des formateurs
	Gestion des renforts	Rôles des formateurs
Gestion de la cellule	Analyse de la situation	Observation / Ecoute Rôles des formateurs
	Direction stratégique	Observation / Ecoute
	Arbitrage	Observation / Ecoute
	Communication	Observation / Ecoute
	Gestion humaine	Observation / Ecoute
	Gestion des moyens	Rôles des formateurs
Communication de crise	Médias	Rôles des formateurs
	Autorités	Rôles des formateurs
	Public, population	Rôles des formateurs
Vision à court, moyen et long terme	Veille, prévision	Observation / Ecoute Rôles des formateurs
	Evolutions possibles	Observation / Ecoute

Il est ainsi considéré que l'analyse des compétences liées à l'évaluation de l'aléa, à la détermination des enjeux impactés, à la veille et à la prévision, ne peut être réalisée qu'au moyen d'un suivi des interactions avec les formateurs et par une observation et une écoute des participants.

Le choix des stratégies de retour à la normale, la préservation des enjeux menacés, la gestion des renforts, l'analyse de la situation, la gestion des moyens, la communication de crise (médias, autorités et public) sont des critères dont il est estimé qu'une évaluation uniquement basée sur les échanges avec les formateurs (notamment grâce aux supports d'animation) suffit.

Enfin, il est intimé que les capacités de direction et d'arbitrage stratégique, de communication interne et de gestion humaine d'une cellule de crise, que les fonctions d'anticipation des évolutions possibles, sont des compétences qui ne peuvent être évaluées qu'au moyen d'une observation et d'une écoute directe du groupe de participants.

D'un point de vue opérationnel, il convient ainsi pour un scénario d'exercice donné de déterminer au préalable l'ensemble des éléments permettant d'activer les compétences sujettes à évaluation. Cela peut passer par l'identification préliminaire de situations didactiques, comme de schémas d'interactions participants-formateurs dédiés à cet effet, sans oublier la mise place de suivis réalisés par des observateurs durant l'exercice.

Le principal avantage de la méthode proposée pour l'évaluation organisationnelle est qu'elle intègre deux approches complémentaires. La première prend la forme d'un suivi multimédia des interactions réalisées par les participants. Il est intéressant de noter que cette approche rejoint les principes évoqués par Crozier et Friedberg qui préconisent qu'il faut se concentrer, non sur la fonction des acteurs d'une organisation, mais sur les stratégies individuelles de ceux-ci [Crozier, 1981]. La seconde entend mener une évaluation des compétences mobilisées par les participants. Cette approche se rapproche quant à elle des théories psychosociales qui étudient les dynamiques organisationnelles en groupes restreints, notamment soutenues par Johnson [Johnson, 1984]. La méthode d'évaluation organisationnelle intègre de ce fait ces deux approches classiques différentes néanmoins mises en œuvre de façon complémentaire.

Synthèse

L'évaluation des compétences mobilisées par les participants lors d'un exercice permet d'expliquer les difficultés rencontrées, les écarts entre les objectifs pédagogiques et les actions ou les décisions adoptées par l'équipe de gestion de crise. Deux finalités sont visées : l'évaluation en temps réel pour un suivi pédagogique de l'animation, et l'évaluation finale qui intervient lors du débriefing. L'intégration d'enregistrements sonores et vidéo, l'archivage et le traitement des échanges téléphoniques et électroniques, participent d'une part à une approche permettant d'évaluer la robustesse d'un groupe de participants sur les aspects verbaux et non-verbaux contribuant à l'activation des compétences liées à : l'évaluation de l'aléa, la détermination des enjeux, la prise en compte des réseaux vitaux, la direction stratégique de la cellule de crise, la communication, la gestion humaine, la veille, la prévision, et l'analyse des évolutions possibles. La constitution de supports pour les formateurs revêt d'autre part deux principaux intérêts. Le premier réside dans la facilité de transmission des décisions ou des actions entreprises par les participants à destination du système multi-agents, pour que celui-ci les intègre au processus d'évolution du scénario de crise simulée. Le deuxième avantage est la possibilité de mettre en correspondance les sollicitations faites aux acteurs extérieurs – c'est-à-dire les formateurs – afin d'effectuer un suivi en temps réel des compétences que les participants mobilisent alors. Ces compétences peuvent relever de l'évaluation de l'aléa, de la détermination des enjeux, des stratégies choisies pour la lutte contre le sinistre, de la prise en compte des réseaux vitaux, de la gestion des renforts, de la connaissance de la situation, de la prise de décision, de la gestion des moyens, de la gestion des médias, de la communication avec les autorités, le public et les populations concernées. Le suivi temporel de ces deux systèmes a pour objectif de quantifier les retards jugés impactant d'un point de vue stratégique la gestion de la crise simulée.

Il est proposé que la visualisation des indicateurs de suivi pour l'animation de l'exercice se fasse au moyen de diagrammes radars dont la lecture met directement en évidence quels objectifs pédagogiques sont atteints ou non. En ce qui concerne la visualisation des critères d'évaluation des participants pour le débriefing, il est en revanche proposé que le retour d'expérience simulée prenne la forme d'un arbre de compétences. Pour ce faire, la méthodologie classique de construction des arbres a été modifiée puis complétée afin de pouvoir mettre en avant les compétences mobilisées collectivement par le groupe de participants, et éventuellement les profils complémentaires qui gagneraient à être développés. Deux types de blasons sont en outre proposés, l'un pour les couples situations-tâches et l'autre pour les perturbations induites par l'équipe d'animation. La mise en correspondance de ces trois vues a pour objectif d'expliquer pourquoi certaines compétences ont moins été activées que d'autres durant l'exercice.

Conclusion

Une méthodologie en quatre axes a été proposée afin de définir un environnement semi-virtuel de formation (ESVF) à la gestion stratégique de crise.

La première étape a consisté en l'élaboration d'une méthodologie de conception (cf. quart A, figure 12). Cette dernière a servi de canevas afin d'identifier les composantes clefs de l'environnement semi-virtuel, de mettre en lumière les principales contraintes contextuelles et organisationnelles, puis de réaliser l'intégration de ces contraintes technico-pédagogiques dans un cahier des charges global (cf. quarts B, C et D, figure 12).

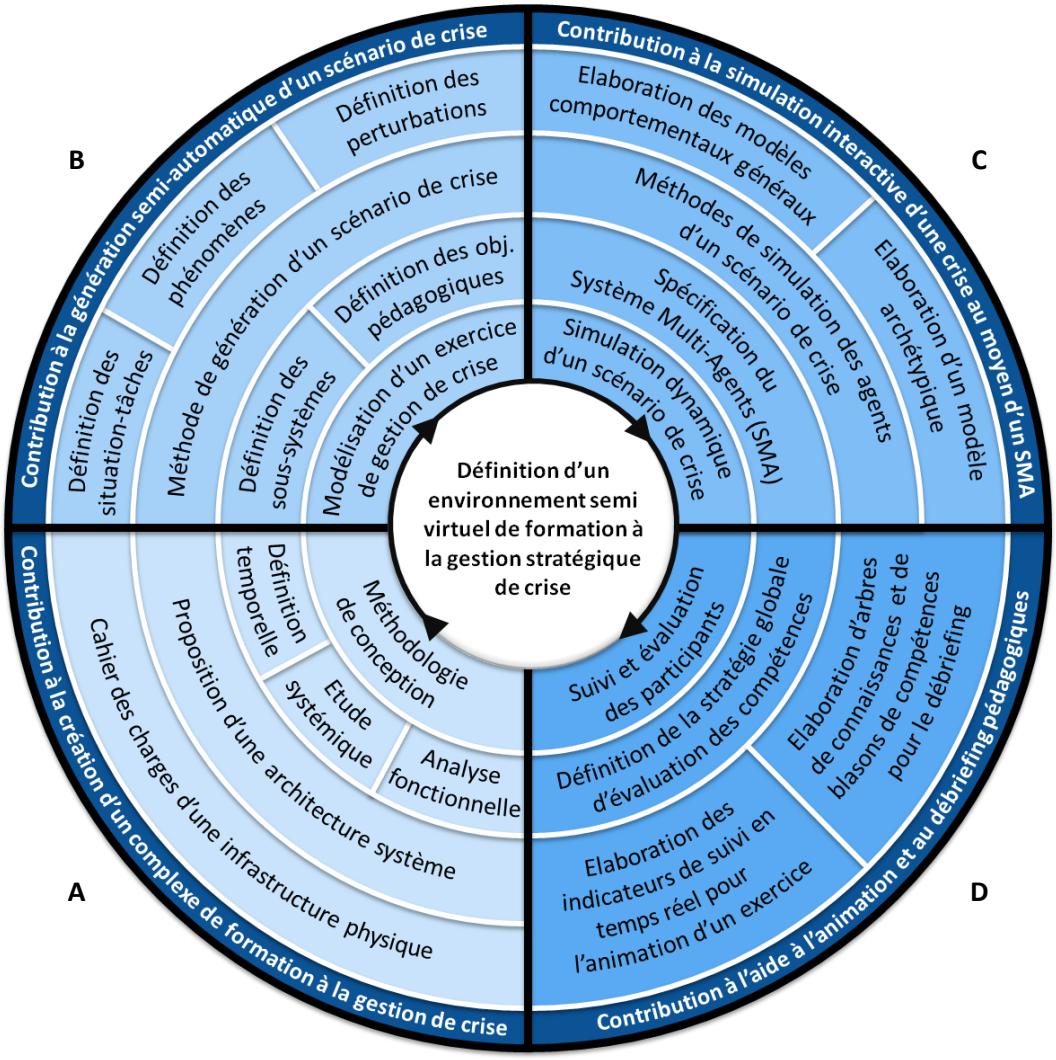


Figure 78 : schématisation complète de la définition d'un environnement semi-virtuel de formation.

Il a alors été question de développer une ingénierie pédagogique et une architecture système compatibles. Une étape importante de ce processus a consisté à réaliser une modélisation d'un exercice pédagogique de gestion de crise qui a non seulement permis de constituer une méthode de base pour la génération d'un scénario, mais qui a aussi donné lieu à l'identification de tous les types d'agents qui pourraient éventuellement pouvoir participer à la simulation d'une crise. Il est en outre proposé d'utiliser l'approche « boites-noires » de MOSAR (description systémique) pour modéliser l'ensemble des évolutions possibles

d'un scénario dont l'évènement déclencheur est identifié. Enfin, les principaux piliers de la simulation interactive d'un scénario de crise simulée ont été définis et les comportements les plus génériques du futur système multi-agents ont été caractérisés. Comme le montre le logigramme suivant, l'ensemble de ces étapes permettent de définir un guide méthodologique :

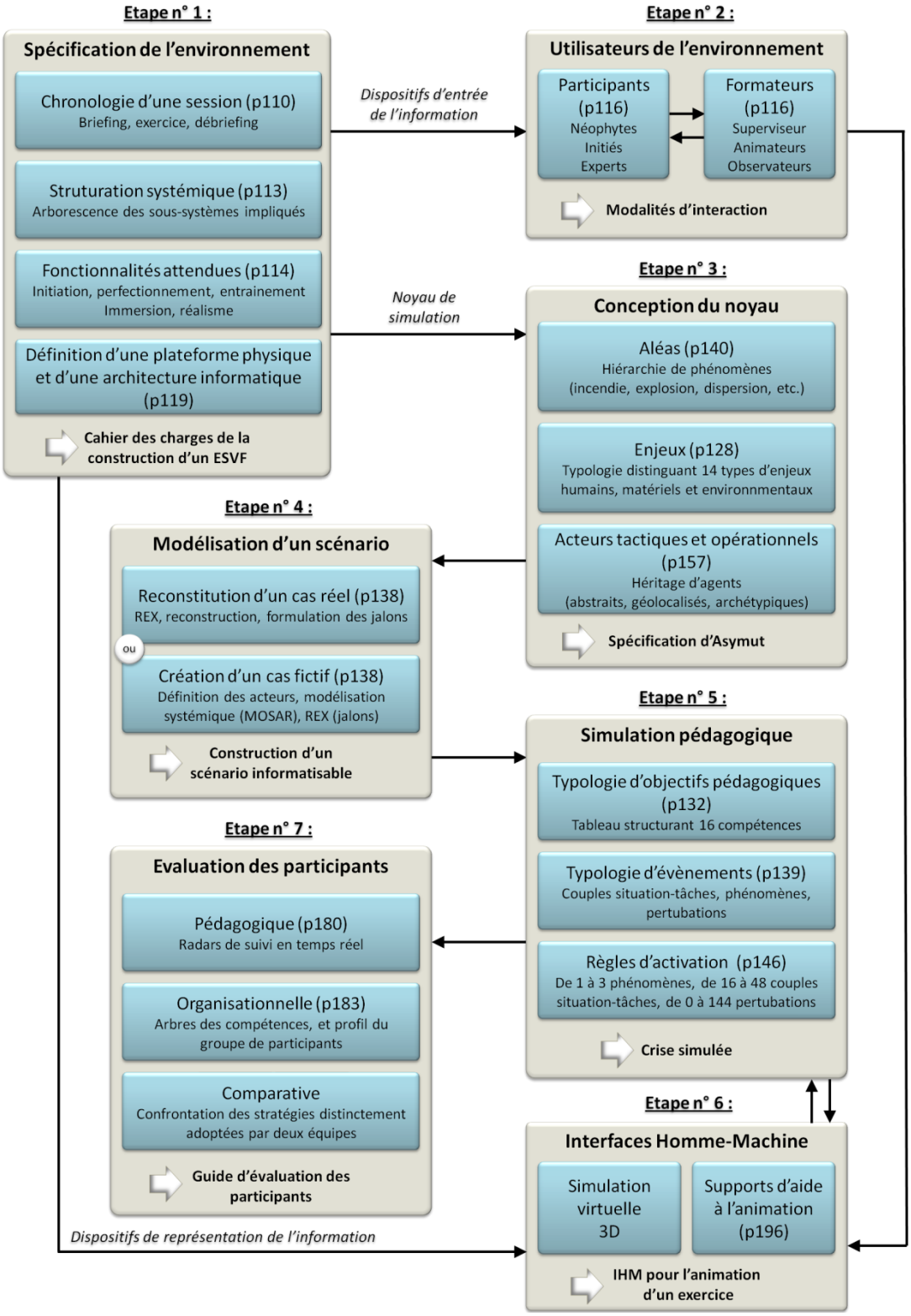


Figure 79 : guide méthodologique de définition d'un ESVF à la gestion stratégique de crise.

D'un point de vue de l'ingénierie pédagogique préconisée :

Le système proposé détaille l'ensemble des étapes suggérées afin de proposer un exercice de formation à la gestion stratégique d'une crise à des participants. Suivant les trois étapes de briefing, d'exercice et de débriefing, l'approche méthodologique a permis d'identifier comment l'environnement semi-virtuel de formation était susceptible de favoriser l'initiation de néophytes, le perfectionnement d'initiés, et l'entrainement de profils experts dans le domaine. Pour ce faire, différents jalons ont été énoncés, de l'accueil des participants, à la présentation des conventions d'exercice, du matériel multimédia, des objectifs pédagogiques et des ressources disponibles, sans oublier la survenue de séquences didactiques, et pour finir l'évaluation puis l'analyse réflexive des stratégies adoptées par l'équipe de gestion de crise.

Puis, la méthodologie d'étude systémique et fonctionnelle de l'environnement semi-virtuel a démontré qu'elle pouvait servir de base de travail pour concevoir une plateforme générique et un premier ensemble de recommandations. Dans le détail, la définition des différents dispositifs retenus pour l'ajout et la présentation des informations, puis pour le noyau de simulation a donné lieu à une architecture système dédiée. En effet, en tenant compte des prérequis techniques et organisationnels, une première recommandation est énoncée concernant le bénéfice d'utiliser une plateforme multi-tiers distribuée avec la structuration proposée. Il est attendu de cette approche de pouvoir répartir librement les sept services qui participent à la plateforme, à savoir : la gestion du scénario de crise simulée, la supervision et l'animation de l'exercice par les formateurs, la simulation virtuelle et les bases de données notamment issues de retours d'expériences réels. Enfin, un module de retours d'expériences simulées est retenu pour produire un débriefing constructif. Ces sept couches interconnectées constituent le socle général du système de formation à la gestion de crise simulée. Le moteur de scénario, dont l'évolution revient au système multi-agents, est en lien direct avec la cellule d'animation ainsi qu'avec le noyau de simulation virtuelle, et il intègre de ce fait des modèles (physicochimiques, comportementaux, etc.) qui dépendent non seulement des évènements simulés dans le scénario d'exercice mais aussi les décisions des participants.

L'identification des objectifs pédagogiques retenus a été réalisée et classée dans une typologie créée à cet effet. Celle-ci distingue cinq objectifs généraux, six objectifs intermédiaires et seize objectifs spécifiques. Les compétences qui sont attendues en regard de ces objectifs peuvent être mobilisées par le biais d'évènements et d'interactions induits par le scénario de crise. La conception de ce dernier suit un cycle parcourant les étapes de formulation, d'analyse, de construction et d'évaluation qui permettent de modéliser les situations didactiques et d'évaluer la possibilité de leur gestion. Notamment, une série de perturbations didactiques est proposée pour sensibiliser les participants aux éventuels imprévus, et aux problèmes ponctuels qui peuvent être rencontrés en situation réelle.

En ce qui concerne le débriefing, deux approches sont préconisées : une évaluation en temps réel pour un suivi pédagogique de l'animation, et une évaluation des compétences mobilisées par l'équipe de gestion de crise. Il est proposé que la visualisation des indicateurs de suivi pour l'animation de l'exercice se fasse au moyen de diagrammes radars dont la lecture met directement en évidence quels objectifs pédagogiques sont atteints ou non. En ce qui concerne la visualisation des critères d'évaluation des participants pour le débriefing, il est en revanche préconisé que le retour d'expérience simulée prenne la forme d'un arbre de compétences. En effet, une méthodologie spécifique a été développée spécifiquement afin de pouvoir mettre

en évidence les compétences mobilisées collectivement par le groupe de participants, et éventuellement les profils de gestionnaires manquants. Deux indicateurs sont en outre intégrés à la méthode : le nombre de couples situations-tâches et la quantité de perturbations induites par l'équipe d'animation. La mise en correspondance de ces trois « cartographies » a ainsi pour but d'expliquer pourquoi certaines compétences ont été moins activées que d'autres durant l'exercice.

D'un point de vue de l'architecture système proposée :

Le travail de modélisation de l'environnement semi-virtuel a été considéré au travers des aspects physiques (phénomènes dangereux, conséquences, etc.) et sociaux (intervenants, populations, médias, etc.) impliqués par la crise. A ce titre, l'environnement global a été étudié selon trois sous-systèmes allant de la situation de crise (les aléas, les enjeux, les réponses opérationnelles), aux autorités et supérieurs hiérarchiques, en passant par acteurs impliqués indirectement. L'utilisation d'une arborescence permet d'autre part d'identifier les interactions directes entre les principaux phénomènes dangereux retenus dans le cadre de la problématique étudiée. Enfin, la typologie des perturbations scénariques qui a été construite tire sa justification des facteurs aggravants susceptibles d'apparaitre lors d'une crise réelle.

L'émulation de l'ensemble s'inscrit dans une démarche de conception d'un système interactif de simulation dynamique basé sur la technologie multi-agents et sur une approche comportementale existante appelée « Belief - Desire - Intention ». Les contraintes formulées sur l'environnement du système multi-agents ont relevé qu'il devait être observable, dynamique, discret et non déterministe. Un ensemble de règles a donc été proposé pour tous les comportements des agents, que ces derniers soient des entités cognitives (un blessé, un sapeur-pompier etc.) ou des automates réactifs (un phénomène accidentel, etc.). Cependant, l'aspect psychosocial intervenant dans les relations interindividuelles réelles a montré les limites de l'approche BDI et a donné lieu à la définition d'un nouveau type d'agent pour la simulation de crises : l'agent archétypique. En permettant d'intégrer la dimension humaine, instable, imparfaite, imprévisible et subjective, les aptitudes de ce type d'agent doivent être paramétrées spécifiquement pour chaque scénario de crise en fonction de la difficulté attendue de ce dernier. La définition de ce type particulier d'agents a conduit à préconiser l'emploi d'une hiérarchie spécifique aux besoins de simulation, à savoir les agents abstraits, géolocalisés, et enfin archétypiques. Il a ensuite été montré que les métamodèles généraux des agents qui ont été modélisés puis développés étaient applicables aux agents décisionnels simulant la gestion de la crise au niveau tactique et opérationnel.

Enfin, une gradation de la complexité du scénario de crise simulée est proposée, tenant compte en entrée des profils possibles de participants (néophytes, initiés ou experts), et permettant d'énumérer le nombre de situations didactiques envisageables. Dans le détail, il est proposé qu'un scénario repose sur 1 évènement déclencheur principal, pouvant donner naissance jusqu'à 3 phénomènes dangereux différents. Si les 16 objectifs pédagogiques sont évalués, jusqu'à 48 couples situations-tâches peuvent alors intervenir. Un maximum de 144 perturbations scénariques est préconisé.

Pour finir, le suivi en temps réel des participants ainsi que les critères permettant l'évaluation des compétences mobilisées pour la gestion de crise ont enfin été associés au processus de simulation multi-agents, et ont permis de mettre en lumière le besoin de constituer des supports informatisés d'aide à l'animation.

D'un point de vue de la plateforme de formation recommandée :

L'agrégation des facteurs relevant de l'ingénierie pédagogique et de l'architecture système, ont permis de définir le cahier des charges d'un complexe de formation à la gestion stratégique de crise. Il a en effet été préconisé que le socle caractérisé par les sept services de l'architecture multi-tiers distribuée soit réparti en trois types d'espaces dédiés à : la gestion de l'exercice, la reconstitution d'une cellule de crise, et la gestion informatique et multimédia du scénario.

Afin de conduire les participants à mettre en commun les stratégies et les acquis mobilisés lors de l'exercice ainsi que pour favoriser les échanges réflexifs à la fois individuels et collectifs, il est proposé de soumettre simultanément le même scénario de crise simulée à deux équipes. Un modèle d'infrastructure physique a ainsi été recommandé afin d'héberger l'architecture proposée, et permettre l'accueil d'une douzaine de participants maximum par salle d'exercice.

Au final, quatre espaces physiques sont retenus : deux salles d'exercice situées de part et d'autre d'une salle de supervision et d'animation, et une pièce technique vouée à héberger l'ensemble des matériels techniques. L'intégration de systèmes d'enregistrements sonores et vidéo, d'archivage et de traitement des échanges téléphoniques et électroniques, sont préconisés afin d'évaluer la robustesse d'un groupe de participants sur la base de critères verbaux et non-verbaux. Néanmoins, dans l'optique de faciliter la communication intergroupe, l'implication participative dans la prise de décision, et l'accès à l'information disponible, une implantation spécifique est retenue – en demi-cercle – pour l'accueil des participants. Puis, un ensemble de recommandations ont été constituées afin de favoriser l'immersion des participants. Les dispositifs identifiés relèvent de la mise en situation globale, de l'immersion visuelle, sonore, participative, et kinesthésique des participants.

PARTIE III : APPLICATIONS, RESULTATS ET ANALYSES

Introduction

Cette troisième et dernière partie se propose de procéder à la validation de la méthodologie élaborée précédemment en vue de définir un environnement semi-virtuel de formation à la gestion stratégique de crise. Comme l'illustre la figure 80, cette étape porte sur trois des quatre axes d'étude identifiés auparavant.

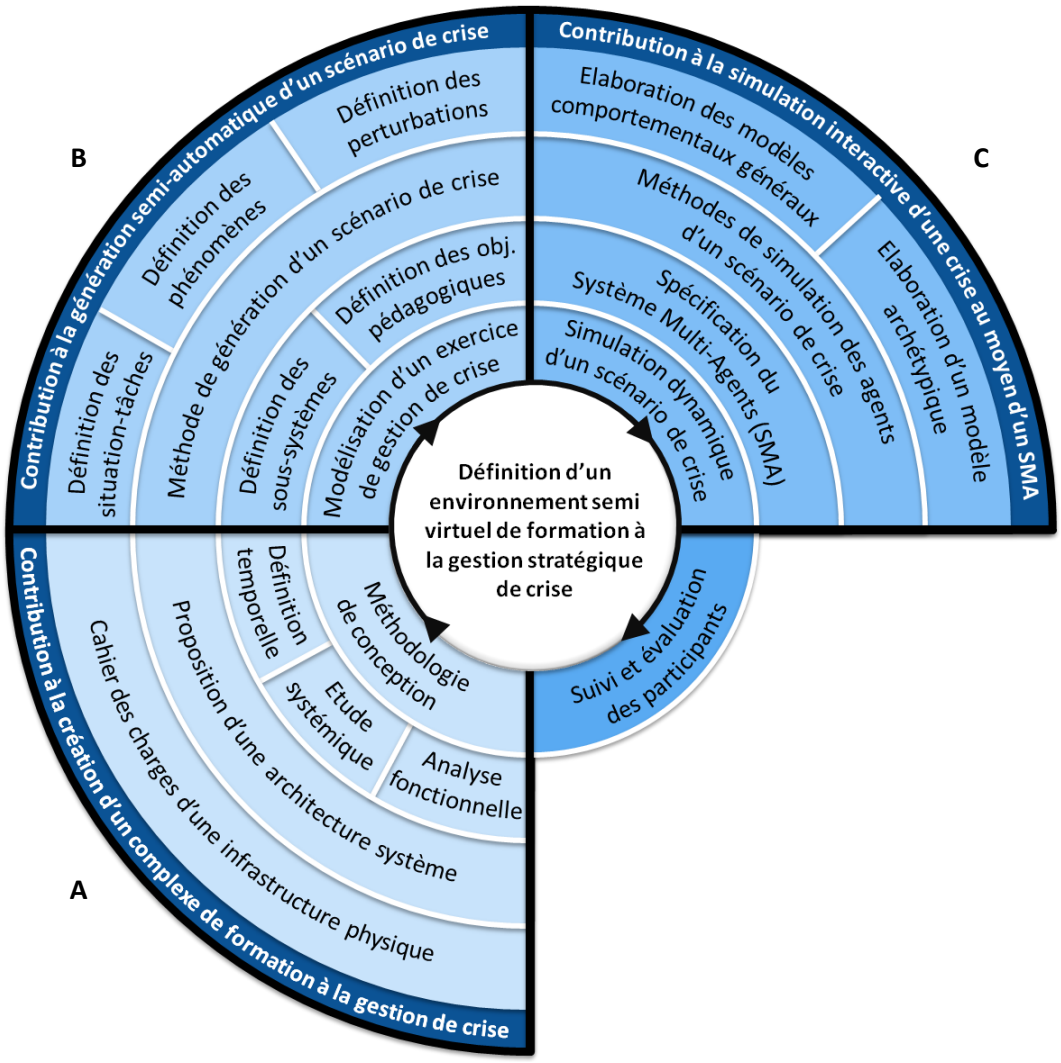


Figure 80 : les axes soumis à validation.

Le premier chapitre est dédié à la validation du modèle d'infrastructure physique ainsi que de l'architecture système proposés. Pour ce faire, la construction d'un complexe de formation au sein de l'Institut des Sciences des Risques de l'Ecole des Mines d'Alès va servir de cas d'étude afin de vérifier la pertinence des éléments méthodologiques formulés. La suite informatique SimulCrise spécifiquement conçue et développée pour assurer les fonctions de simulation et d'aide à l'animation d'un scénario de crise va à ce titre être détaillée.

Il va être question dans un deuxième chapitre d'éprouver la méthodologie de génération semi-automatique d'un scénario de crise non précontraint. Le cas d'application va porter sur un scénario de catastrophe maritime. La méthodologie va être déroulée depuis la description systémique jusqu'à la définition des rôles des participants, des fiches d'animation pour les formateurs ainsi que des agents informatiques.

Le troisième chapitre va quant à lui avoir pour but de valider la méthode de simulation multi-agents au moyen d'un cas réel. L'objectif est ici d'étudier un évènement accidentel de référence, puis d'identifier des éléments de comparaison avec les messages susceptibles d'être produits par le système multi-agents. Cette mise en correspondance va notamment être l'occasion de valider les paramètres formulés précédemment pour les agents archétypiques.

Pour finir, une analyse des différents résultats obtenus d'un point de vue de l'ingénierie système comme de l'ingénierie pédagogique va être menée et des pistes d'amélioration vont être évoquées.

Chapitre 11 : Validation du cahier des charges d'une plateforme physique et logicielle

« Tu me dis, j'oublie. Tu m'enseignes, je me souviens. Tu m'impliques, j'apprends. »

Benjamin Franklin

11.1. Définition d'une infrastructure réelle de formation à la gestion de crise

11.2. Déploiement in situ à l'Ecole des Mines d'Alès

11.3. Destination d'emploi du complexe de l'Institut des Sciences des Risques

11.4. Présentation des outils SimulCrise d'aide à la formation

Plusieurs axes de recherche sont développés au sein de l'Ecole des Mines d'Alès. Il y est notamment question de comprendre, modéliser, prévenir et gérer les évènements d'origine humaine, naturelle ou technologique, et d'étudier les impacts humains, sanitaires et environnementaux des catastrophes naturelles et des accidents industriels (équipe Risques industriel et naturels). Dans le cadre de la construction d'une nouvelle structure de recherche, l'Institut des Sciences des Risques, sur le campus du Laboratoire du Génie de l'Environnement Industriel et des Risques (LGEI), un ensemble de moyens permettant l'organisation de formations à la gestion de crise doit être spécifié. L'acquisition de moyens de communication, de dispositifs de simulation et de solutions multimédia de représentation et d'immersion doit permettre la mise en situation de participants (représentants de l'Etat et des collectivités territoriales, services de secours, entreprises industrielles, élèves, etc.).

11.1. Définition d'une infrastructure réelle de formation à la gestion de crise

Sur la base d'un plan de masse définissant une zone de 16m par 8m à aménager, l'application du cahier des charges a permis de définir la maquette fonctionnelle d'une plateforme de formation à la gestion stratégique d'une crise (cf. figure 81).

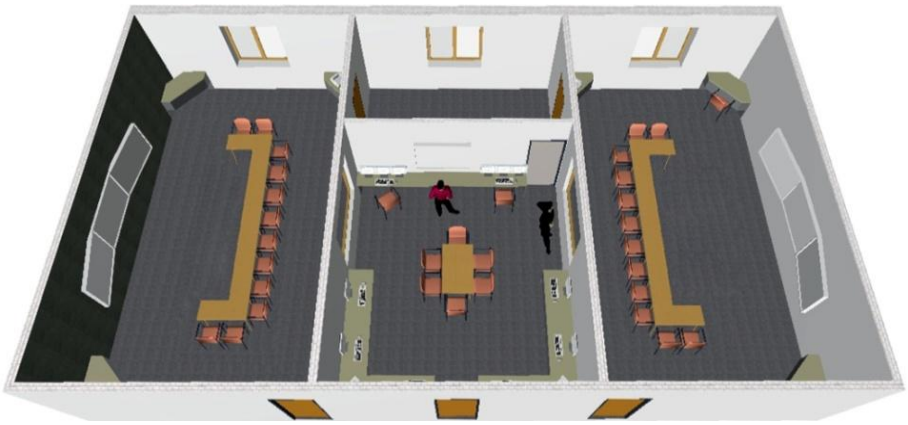


Figure 81 : configuration fonctionnelle de la plateforme de formation à la gestion de crise.

En pratique, les éléments détaillés ont conduit à prévoir une zone d'animation et d'observation non intrusive afin de simuler un scénario d'exercice simultanément à deux groupes de participants. Le déploiement de scenarios d'exercice par une équipe d'animation délocalisée a été intégré à la démarche afin d'assurer un contexte de supervision et de gestion d'une session de formation. Cette configuration fonctionnelle positionne deux salles d'exercice – dimensionnées pour une douzaine de participants chacune – de part et d'autre d'une salle d'animation et de supervision. Un dernier espace technique (en haut sur la figure 81 précédente) est prévu pour héberger l'ensemble des matériels de gestion multimédia et de simulation virtuelle. Chaque groupe de participants va être situé dans une salle spécifique et l'exercice va mobiliser un groupe de formateurs dont le nombre peut varier en fonction de sa complexité et de sa durée. L'un de ces formateurs va avoir le rôle de supervision et de validation les évènements clefs du scénario d'exercice (ajout d'évènements majeurs, réglage de la vitesse de simulation, etc.). L'adaptation du type d'implantation retenu (cf. type 4, tableau 6, p121) dans les deux salles d'exercice a permis d'aboutir à la proposition détaillée dans

la figure 82 suivante. La salle d'animation est quant à elle dimensionnée pour une équipe d'une dizaine de personnes (superviseur, formateurs, observateurs, etc.).

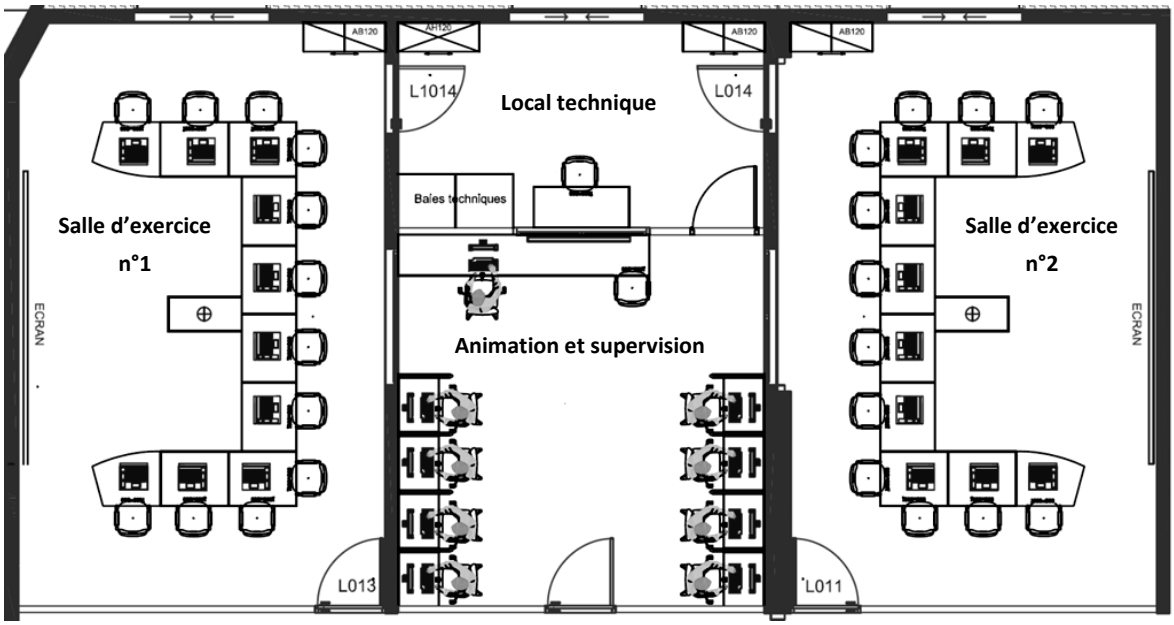


Figure 82 : dispositif d'apprentissage collectif appliqué à la plateforme de formation de l'ISR (EMA).

Le site de formation et de simulation contient ainsi un espace voué à servir de régie technique pour le matériel de gestion et de diffusion du scénario de crise (cf. local technique, figure ci-dessus). En effet, un ensemble de serveurs assurant les fonctions de traitement et de stockage des documents audio-visuels et des données informatiques a été anticipé afin de disposer d'un système de diffusions multizones. Dans le détail, ce système permet d'affecter des flux issus de sources multimédia (sons, animations, etc.) vers des terminaux de diffusion. La figure 83 suivante schématise ces dispositifs de diffusion multimédias.

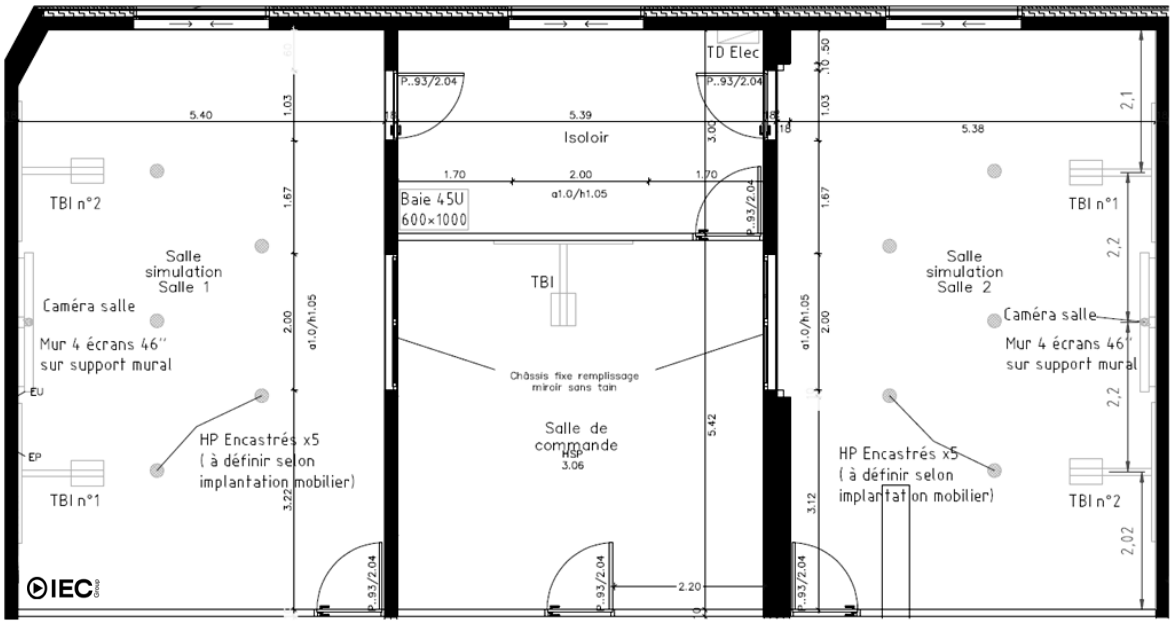


Figure 83 : implantation au sein de l'Institut des Sciences des Risques (EMA).

Comme le principal canal de perception mobilisé dans un environnement semi-virtuel de formation est la vision, un système de processeurs multimédia est dédié à l'affichage en temps réel de toutes les sources qui y sont connectées afin de proposer un mur d'images dans chaque salle (cf. figure 83 précédente). Cette mosaïque d'images est composée de plusieurs zones vouées à gérer simultanément des sources d'informations différentes : quatre écrans LCD au centre du mur d'images, et deux tableaux blancs interactifs de part et d'autre de celui-ci sont positionnés. La figure 84 suivante présente la disposition de ces éléments dans les salles d'exercice[28].

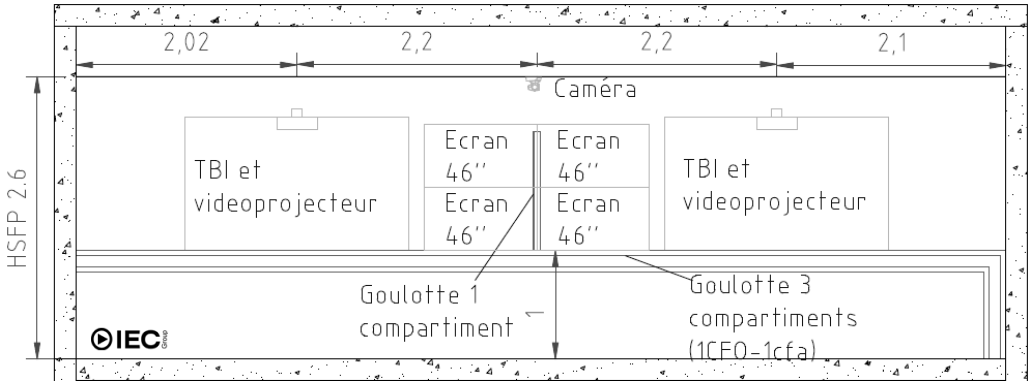


Figure 84 : constitution d'un mur d'images dans une des deux salles d'exercice.

En ce qui concerne la diffusion sonore, tous les espaces sont équipés de haut-parleurs encastrés dans le faux plafond. De plus, les salles d'exercice disposent d'une caméra orientable positionnée au-dessus du mur d'écran pour permettre l'observation des participants (cf. figures 84 et 85 de la page suivante). Le pilotage de celles-ci est ainsi délocalisé dans l'espace d'animation et de supervision au moyen d'un pupitre de commande.

De la même manière, le choix des sources peut se faire par l'intermédiaire d'une application autonome installée sur un poste informatique de contrôle. Deux microphones d'appel sont prévus afin de communiquer avec les participants en cas de nécessité.

Le schéma de la page suivante synthétise l'organisation matérielle retenue et traduit le caractère modulaire de l'architecture multi-tiers distribuée. Il est à noter que le détail de certains matériels (DVD, serveurs, etc.) ne sont pas abordés dans le texte.

[28] Il est à noter que l'appellation TBI fait implicitement référence à un ensemble de trois appareils : un ordinateur, un vidéoprojecteur et un tableau blanc doté d'une surface tactile.

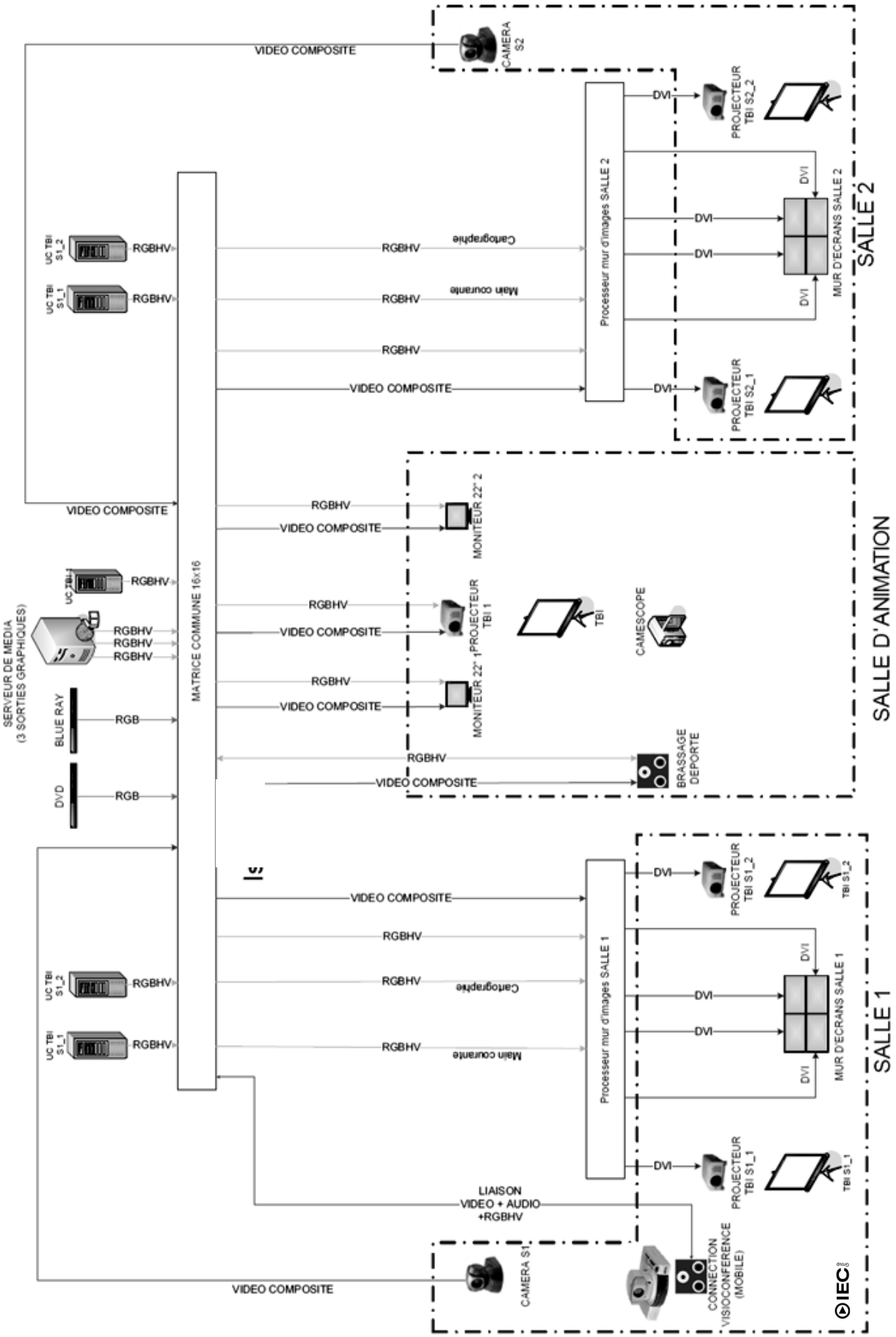


Figure 85 : synoptique du matériel prévu.

11.2. Déploiement in situ à l'Ecole des Mines d'Alès

Afin de favoriser une immersion complète des participants, les cinq dispositifs d'immersion ont été mis en place. Pour rappel, chacun d'eux relève de l'une des sphères suivante : globale, visuelle, sonore, participative, et kinesthésique.

Le premier, dit d'immersion globale, a consisté en l'installation de volets d'isolement (cf. figure 86) permettant de créer un espace d'exercice centré sur le scenario de crise simulée.

Figure 86 : la salle d'exercice n°1 avec le volet d'isolement fermé (au fond, à gauche).

Le dispositif d'immersion visuelle consiste en un mur d'images dont la conception a donné lieu à l'installation présentée sur la figure 87. Il est possible de noter sur cette même figure le positionnement d'une caméra dôme au-dessus des quatre écrans LCD centraux.

Figure 87 : la salle d'exercice n°1 avec le mur d'images mis en place (au fond).

L'ensemble de ces matériels ont fait l'objet d'une validation technique en condition de formation afin de vérifier la conformité des matériels installés (cf. annexe VII).

Les dispositifs d'immersion sonore et kinesthésique sont visibles sur les figures 86 et 87 de la page précédente, au travers de systèmes encastrés dans le plafond. Toujours sur la même figure, les dispositifs d'immersion participative des groupes formés, au moyen de miroirs sans tain, ont été installés sur les cloisons séparatives entre la salle d'animation et les deux salles d'exercice de manière à ce que les formateurs de la cellule d'animation puissent observer les participants sans provoquer d'intrusion directe.

Il est à ce titre important de noter que ces surfaces semi-réfléchissantes nécessitent d'être placées de manière contiguë entre deux pièces, l'une devant être éclairée et l'autre non (cette dernière devant être la salle d'animation). Comme le montre la figure 88 suivante, relative à la salle d'animation, le non-respect de cette règle produit un effet indésirable contraire. Il est possible de noter que les deux écrans situés de part et d'autre du TBI d'animation peuvent entre autres retransmettre les flux vidéo provenant des deux caméras dômes. De ce fait, les formateurs peuvent avoir un visuel sous deux angles complémentaires de tout participant situé dans une des deux salles d'exercice.

Figure 88 : la salle d'animation et de supervision.

L'ensemble des dispositifs d'immersion (globale, visuelle, sonore, participative, et kinesthésique) contribuant à l'immersion sensorielle des participants est piloté depuis la salle de gestion technique dont les baies informatiques sont présentées dans la figure 89 ci-après.

Ces baies contiennent en outre les matériels de gestion des flux multimédia, les serveurs de simulation virtuelle ainsi que les moteurs de scénario basés sur la technologie de multi-agents.

Figure 89 : les deux baies techniques.

Le pilotage des flux multimédia s'effectue depuis la salle d'animation (cf. Figure 88, p215) au moyen d'une Interface-Homme-Machine de monitoring. La figure 90 suivante présente une vue agrandie de cet outil de gestion multimédia permettant une flexibilité pour l'affichage d'informations.

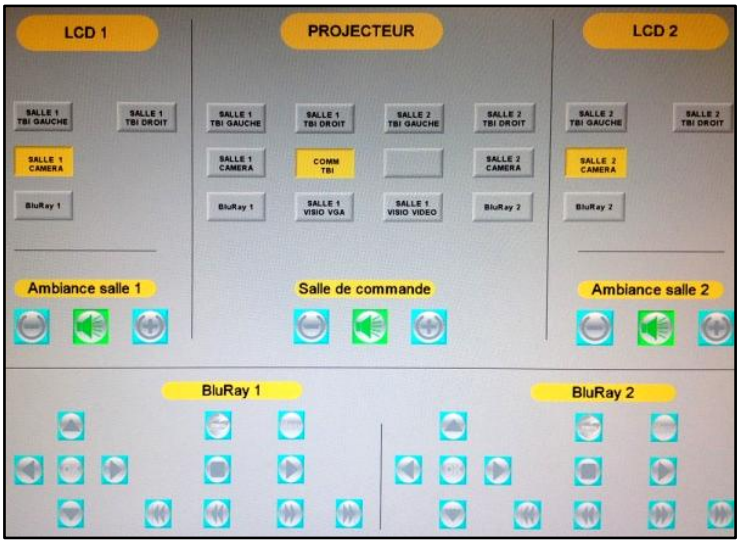


Figure 90 : interface de pilotage des flux multimédias.

11.3. Destination d'emploi du complexe de l'Institut des Sciences des Risques

L'application des recommandations identifiées pour la conception de l'environnement semi-virtuel ont permis d'identifier différentes utilisations complémentaires de celui-ci. En premier lieu, la destination principale du complexe est la formation à la gestion stratégique d'une crise d'origine naturelle ou technologique. Pour ce faire, l'interopérabilité de quatre composantes a lieu entre : un exercice pédagogique,

un scénario comprenant une séries de séquences didactiques, un module de simulation et d'immersion dans la crise simulée, et un moteur de simulation virtuelle pour la représentation (cf. figure 91). Par ailleurs, il est possible de noter que l'environnement semi-virtuel constitue un espace d'expertise en gestion de crise. Cela passe d'une part par l'intégration de retour d'expérience de crises réelles dans le système de simulation, permettant ainsi d'en améliorer le réalisme, et d'autre part par la production de retours d'expériences simulées dont l'analyse se destine à améliorer la compréhension des problèmes rencontrés par une cellule de crise réelle. La plateforme constitue de facto un terrain d'expérimentation de méthodes et de technologies ayant pour but d'améliorer la gestion stratégique de crise d'un point de vue systémique et fonctionnel des outils d'aide à la décision par exemple).

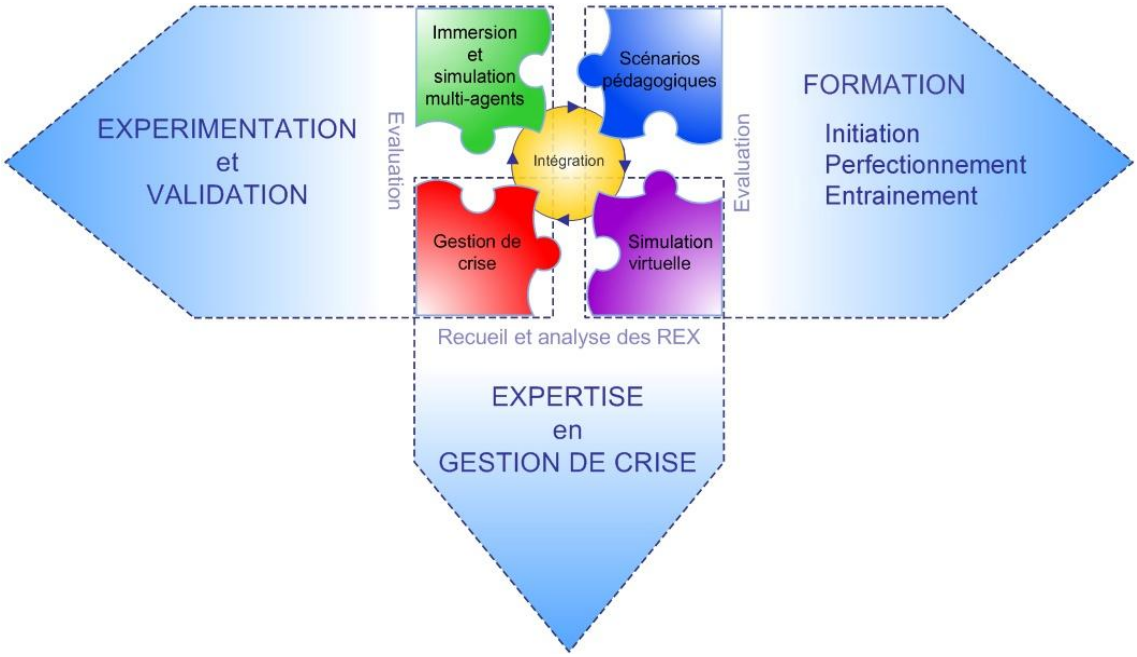


Figure 91 : trois axes d'étude développables sur la base du système proposé.

Pour ce faire, quatre premiers scénarios pédagogiques sont identifiés : une pollution marine de grande ampleur, un accident routier de transport de matières dangereuses, un scénario d'inondation et de crues éclairs, et un accident sur site industriel.

11.4. Présentation des outils SimulCrise d'aide à la formation

La plateforme informatique qui a été développée comme aide à la formation repose sur l'architecture multi-tiers distribuée identifiée en phase de conception. Le nom « SimulCrise » recouvre l'ensemble des outils logiciels d'aide à l'animation, à la supervision et à l'évaluation des participants soumis à une crise simulée. Les principaux utilisateurs de cette suite applicative sont les membres de l'équipe pédagogique d'animation et de supervision.

11.4.1. Le fonctionnement global de SimulCrise

L'ensemble des composantes qui constituent ce système (cf. figure 23) sont conçues pour pouvoir être interconnectées les unes avec les autres et assurer une communication en mode distribué (suite à un déploiement sur un réseau dédié par exemple).

Pour ce faire, les terminaux des formateurs assurant les rôles des différents intervenants identifiés dans le scénario pédagogique sont mis en cohérence au moyen d'une interface de supervision qui a en charge de contrôler les différentes orientations que peut emprunter le scénario de crise.

Au sein de cette interface de supervision, un éditeur de scénario (ou gestionnaire d'évènements) permet de planifier les principaux évènements et de programmer en cours d'exercice de nouveaux éléments en vue d'affiner, par exemple, le niveau de difficulté imposé aux participants (cf. figure 92).

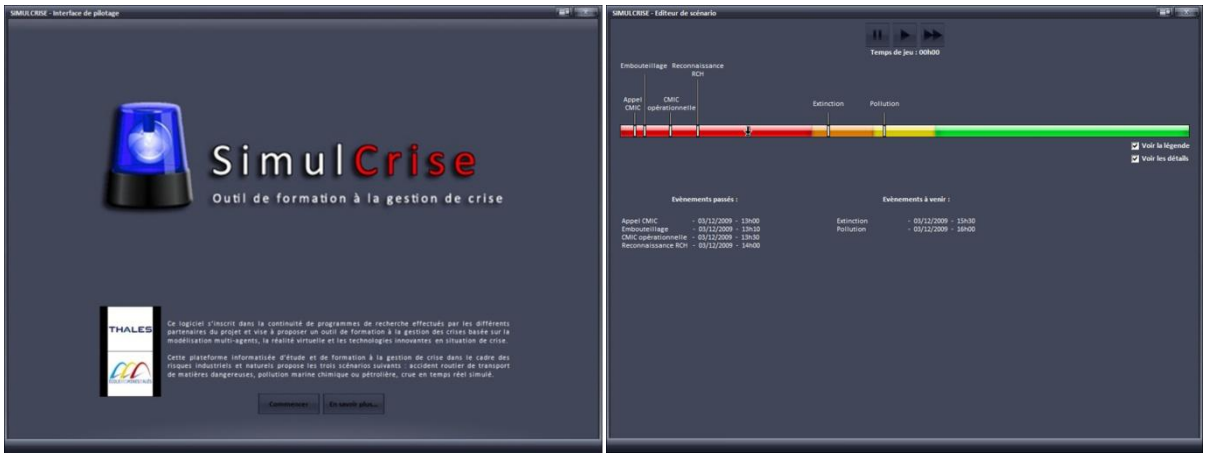


Figure 92 : l'écran d'accueil et l'éditeur permettant de jalonner l'évolution globale d'un scénario.

Les trois derniers modules ont pour but de satisfaire les recommandations énoncées en matière d'évaluation et de simulation, et portent ainsi sur : la sauvegarde des exercices simulés (évènements, échanges et enregistrements multimédias), l'accès à des bases de données réelles (informations physicochimiques, modèles pour la simulation de phénomènes dangereux, etc.), et la connexion avec un serveur de simulation virtuelle (représentation 3D de la crise simulée).

11.4.2. L'outil de simulation multi-agents Asymut

L'interface de supervision est naturellement reliée au cœur de simulation qui est implémenté grâce à un système de simulation multi-agents appelé Asymut[29]. Cet utilitaire gère à la fois les agents et les évènements permettant de scénariser et de faire évoluer la situation de crise. En pratique, la figure 93 suivante donne un

[29] Acronyme proposé pour « Agents and SYnopsis Management UTility ».

aperçu d'Asymut, lequel a été spécifiquement développé afin d'encapsuler le système multi-agents programmé avec Jade[30].

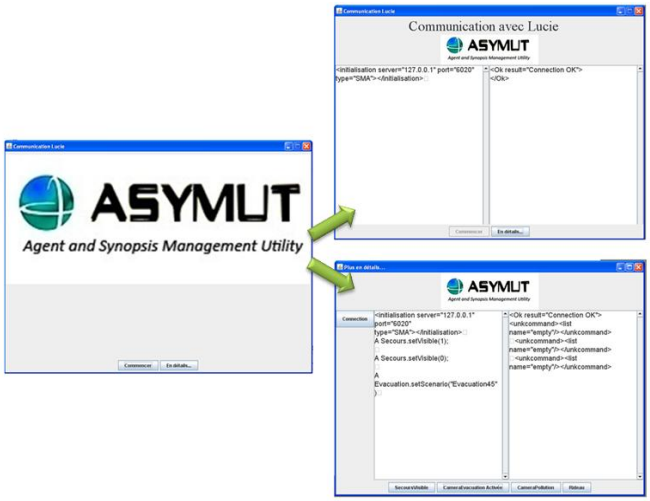


Figure 93 : interface de contrôle du système multi-agents.

Deux principales utilisations de cet outil ont été envisagées : le suivi des évènements générés par le SMA, l'ajout en lignes de commande d'évènements scénariques. Cette dernière fonctionnalité a pour objectif de rendre l'interface de supervision moins critique, au sens de la criticité logicielle, dans la mesure où elle seule pilote la simulation du système multi-agents. De ce fait, il est possible d'effectuer à tout moment une reprise sur d'éventuels incidents sans pour autant figer la simulation. Par exemple, si un agent du système venait hypothétiquement à entrer dans un état sans pouvoir en sortir, il serait alors possible de gérer ce blocage au moyen de la console Asymut sans avoir à interagir avec la plateforme Jade dont le langage d'administration reste relativement inaccessible à une personne non initiée. Une parenthèse peut être faite sur le langage utilisé pour le transfert de toute information au sein de la plateforme, pour lequel il a été choisi le protocole normalisé XML. Cette démarche a en outre été étendue a tout message échangé au sein d'Asymut ce qui tend notamment à garantir la pérennité de ce dispositif.

11.4.3. Les outils de supervision d'un exercice de gestion de crise

Conformément à l'architecture système proposée (cf. figure 23, p119), la capture d'écran de la page suivante (cf. figure 94) fait apparaître que la plateforme SimulCrise est composée de quatre strates logicielles qui peuvent être activées ou non, selon le contexte dans lequel la session de formation a lieu. Néanmoins, les deux couches de bas niveau demeurent indispensables pour proposer un scénario de crise à des participants tout en sachant qu'en l'absence de système multi-agents, les évènements et les évolutions du scénario simulé ne peuvent être initiés que manuellement par les formateurs (au moyen de la console d'Asymut).

[30] SMA implémenté au moyen du framework open source appelé Jade (http://jade.tilab.com/). Telecom Italia Lab.

Par défaut, SimulCrise propose d'activer les niveaux supérieurs pour enrichir la simulation et ouvrir l'accès aux fonctionnalités avancées. Les informations clefs transitant au sein de la plateforme sont centralisées et consignées dans un journal d'évènements pour les formateurs. La figure ci-dessous montre le rendu proposé aux formateurs, lequel prend la forme d'une main courante qui historise[31] les évènements participant à l'exercice de formation.

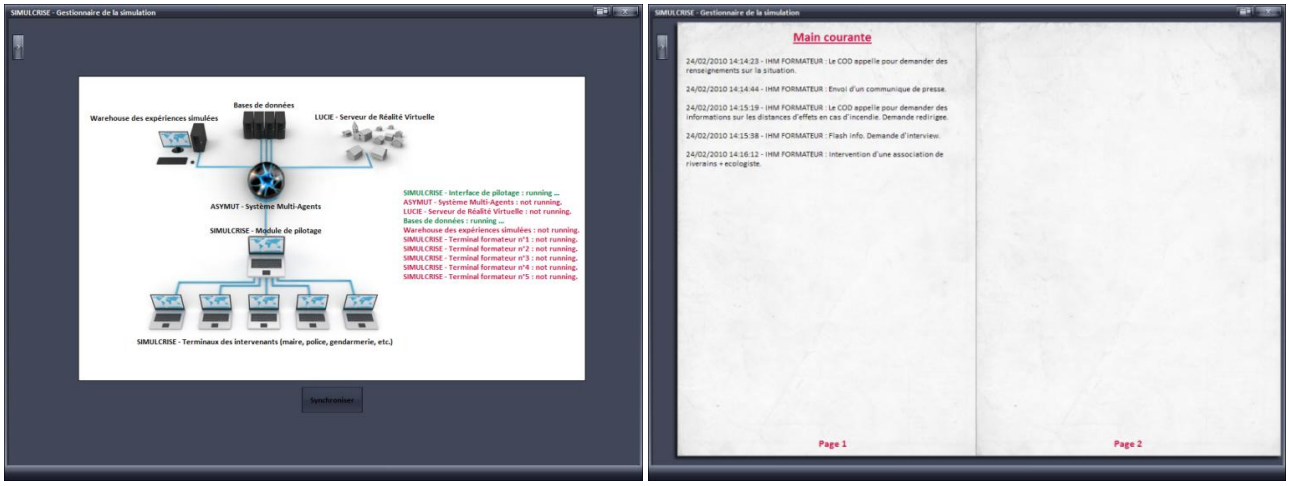


Figure 94 : suivi de connexion et main courante de la plateforme de supervision SimulCrise.

Un panneau de contrôle d'Asymut est enfin proposé afin de piloter de façon ergonomique le système multi-agents. A titre d'exemple, la figure qui suit matérialise l'existence du niveau stratégique relatif aux participants ainsi que l'émulation des niveaux tactique et opérationnel qui est réalisée par Asymut.

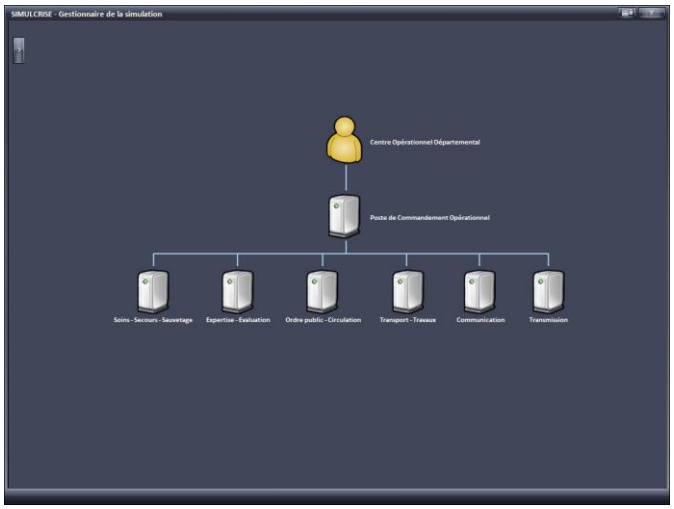


Figure 95 : console de configuration du système multi-agent.

[31] Au sens de stocker les renseignements nécessaires pour retrouver l'historique d'un évènement [Allegri, 2004].

11.4.4. Les outils d'animation d'un exercice de gestion de crise

L'écran présenté par la figure 96 donne la possibilité de choisir dans la liste des scénarios d'exercices disponibles celui qui doit être démarré. Le choix d'un type de crise affiche alors à l'utilisateur un bref descriptif décrivant la situation de départ et les principales contraintes fixées en début de session. Enfin, une arborescence des acteurs est récapitulée.

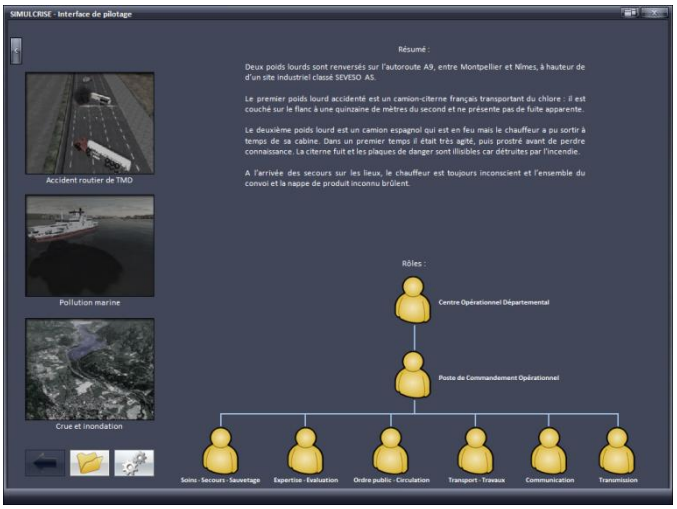


Figure 96 : interface de sélection et de configuration du scénario d'exercice.

Une fois le scénario configuré, l'outil SimulCrise propose aux formateurs une vue directe sur un plan de situation, comme l'illustre la figure 97 ci-après.

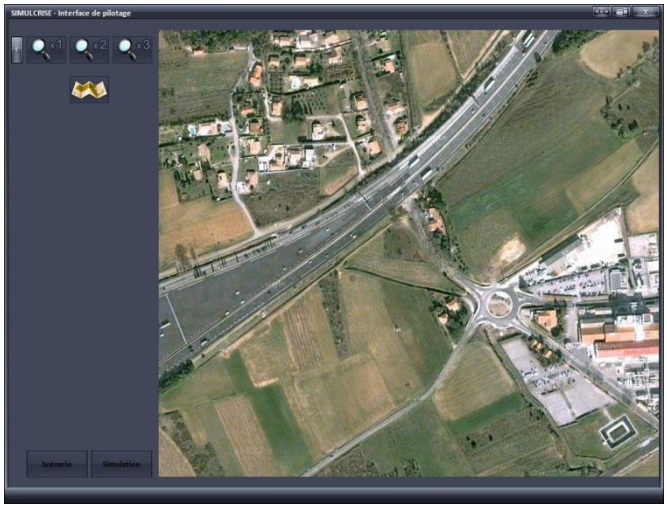


Figure 97 : plan de situation permettant de suivre l'évolution de la crise simulée.

Ce dernier a pour objectif de synthétiser les informations liées à la crise simulée. A ce titre, plusieurs vues sont offertes à l'utilisateur dont la principale est présentée dans la figure 97 précédente, laquelle repose sur

une orthophotographie du lieu de l'accident. Pour ce faire, des icônes dynamiques sont superposées à cette cartographie en fonction de l'occurence et de l'évolution des évènements qui sont simulés par Asymut. Cette cartographie des différents agents facilite la compréhension globale de la situation courante et donne la possibilité de suivre en temps réel l'évolution du scénario. Comme le montre la figure 98 ci-après, les formateurs ont en outre à disposition un terminal logiciel d'aide à la constitution et l'envoi de messages à destination des participants. En effet, les fonctionnalités de transmission de fac-similés ou de courriers électroniques sont directement embarquées au sein de l'interface principale.

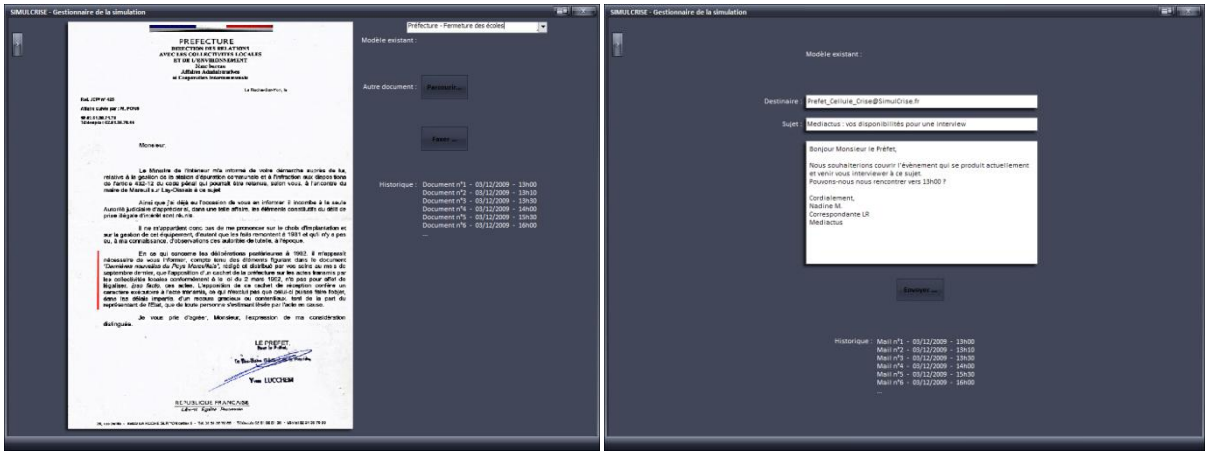


Figure 98 : interfaces d'envoi de fax (à gauche) et de mails (à droite) aux participants.

11.4.5. Les indicateurs statistiques et pédagogiques de suivi

Une partie importante de l'approche porte par ailleurs sur la capacité de la plateforme SimulCrise à proposer des indicateurs statistiques et pédagogiques relatifs à une session de formation. La figure qui suit donne un exemple illustrant le formalisme retenu pour fournir des indicateurs permettant d'évaluer la gestion de la crise simulée. Comme le montre la figure 99 suivante, une représentation sous forme de radars d'évaluation assure que l'évaluation intègre les objectifs pédagogiques, en vue du débriefing.

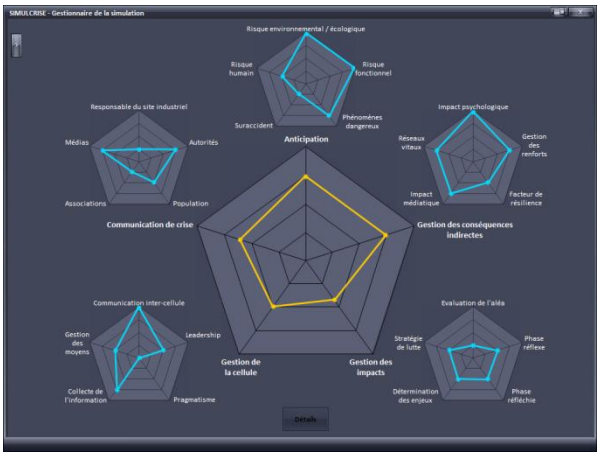


Figure 99 : indicateurs pédagogiques de suivi pour l'équipe d'animation.

11.4.6. Fiches de rôle pour les formateurs

Durant l'exercice, les formateurs assurent non seulement les rôles des acteurs extérieurs à la cellule de crise, mais aussi l'évolution du scénario. Pour ce faire, chaque support d'aide à l'animation se présente sous la forme d'une fiche qui se découpe en trois parties distinctes.

Dans la première est donné le nom de l'acteur concerné par la fiche. Dans la seconde, un encadré répertorie les missions de cet acteur et les moyens dont il dispose. La troisième partie contient enfin une succession de réponses types à des sollicitations pré-identifiées comme étant susceptibles d'être réalisées par les participants. Chaque question s'accompagne ainsi de réponses qui constituent des jalons, lesquels peuvent par exemple faciliter l'équipe de gestion de crise ou encore générer des perturbations scénariques (cf. tableau 8, p144).

La figure 100 de la page suivante présente avant toute informatisation un extrait de la fiche relative au rôle « Autoroute du Sud de la France » issue du scénario d'accident sur site industriel. Les trois zones précédemment explicitées y sont visibles et il peut être noté que le formateur en charge du rôle a le choix entre plusieurs types de réponses aux sollicitations des participants.

Selon que le profil de ces derniers est néophyte, initié ou expert, la réponse à une demande de renseignement sur le trafic actuel (cf. sollicitation n°1 sur la figure qui suit) peut être précise, non précise, ou nettement non coopérative. Les deux dernières réponses proposées correspondent à des perturbations relevant de l'incertitude et de problèmes de remontées d'informations du terrain (cf. tableau 8, p144), lesquelles influencent la détermination des enjeux impactés (gestion des impacts directs).

Autoroutes du Sud de la France (ASF)

Elle a pour mission de :

- Fermer une partie de l'autoroute selon les directives du COD
- Mettre en place des itinéraires de substitutions
- Baliser les zones fermées
- Informer les conducteurs
- Transmettre les informations concernant le trafic au COD

Pour cela elle dispose des moyens suivants :

- 1 Poste de Commandement qui relaye les informations
- Moyens matériels (véhicules patrouilleurs, véhicules d'entretien, remorques de panneaux de signalisation, remorques d'indications lumineuses à LED (FLR), cônes de signalisation, voitures)
- Cartographie du réseau routier du département
- Moyens humains dont l'équipe Viabilité – Sécurité

Pouvez-vous nous renseigner sur le trafic actuel entre la sortie 30 et l'échangeur avec l'A8 (indication : représente environ 16km) **dans les deux sens de circulation ?** ***(Gestion des impacts – Détermination des enjeux impactés)***

- ☐ Actuellement, il y a environ 500 véhicules sur cette portion. *(réponse précise)*
- ☐ Le trafic actuel est de densité moyenne sur le Sud de l'A7. *(Perturbation - réponse non précise)*
- ☐ Nous ne pouvons pas faire d'estimation du trafic à l'heure actuelle, nous avons d'autres priorités à gérer. *(Perturbation - réponse non coopérative)*

Quelles sont les prévisions de trafic pour les heures à venir ? ***(Vision à court, moyen ou long terme – Prévision)***

- ☐ Le trafic devrait s'intensifier, nous serons bientôt en heure de pointe. Nous prévoyons 3000 véhicules en moyenne sur cette portion. *(Perturbation - réponse pénalisante)*
- ☐ Le trafic devrait rester sensiblement le même, pas de changements notables à prévoir. *(réponse facilitante)*
- ☐ Nous n'avons pas encore établi les prévisions pour les prochaines heures. *(Perturbation - réponse non coopérative)*

Pouvez-vous fermer l'A7 dans les deux sens, à partir de la sortie 30 jusqu'à l'échangeur avec l'A8 ?
(Gestion des impacts – Préservation des enjeux menacés)

- ☐ Oui, nous allons mettre en place des hommes et une signalisation afin qu'il n'y ait plus de trafic sur cette portion. *(réponse immédiate)*
- ☐ Oui, mais nous ne sommes pas les seuls acteurs, après la sortie 28 en direction de Marseille, l'autoroute n'est pas concédée, c'est donc l'Etat qui en est responsable. Il faut donc que nous soyons en contact afin de coordonner nos actions. *(Perturbation - réponse différée)*

…

Figure 100 : extrait de la fiche de rôle « ASF » pour les formateurs.

Dans cet exemple, si les participants ont réalisé ces actions rapidement, les objectifs pédagogiques peuvent alors être considérés comme atteints. De plus, la correcte mobilisation de ces compétences peut être corrélée, lors de l'évaluation, avec les perturbations didactiques puisque tout élément est enregistré et marqué temporellement par Asymut.

Sur cette même fiche, il est aussi possible d'illustrer l'influence des interactions entre participants et formateurs sur le scénario. La dernière sollicitation qui apparaît sur l'extrait précédent porte sur une demande de fermeture de l'autoroute. L'une des réponses possible correspond à une réponse immédiatement favorable de l'acteur « ASF ». Si le formateur coche cet item, l'information est transmise au système multi-agents qui peut l'intégrer à la simulation du scénario. Ainsi, si les agents qui émulaient le comportement des automobilistes vont progressivement disparaître du SMA, à mesure que le trafic sur l'autoroute se résorbe.

Sur les quatre premiers scénarios d'exercice identifiés, trois premiers lots de fiches ont été constitués, et se répartissent de la manière suivante :

- 17 fiches pour le scénario de pollution marine,
- 10 fiches pour le scénario de TMD routier,
- 13 fiches pour le scénario d'accident sur site industriel.

De ce fait, sur une simple action ou décision des participants, l'évolution du scénario peut être actualisée (communication avec Asymut), le suivi pédagogique mis à jour (diagrammes radars), et l'évaluation de l'équipe de gestion de crise implémentée en vue du débriefing (blasons des compétences et des perturbations). L'ensemble de ces connexions n'étant pas automatisés, une phase ultérieure devra toutefois consister à mettre les composantes précédentes en correspondance.

Synthèse

La construction en 2011 de l'Institut des Sciences des Risques (ISR) de l'Ecole des Mines a notamment eu pour objectif de créer un complexe de formation à la gestion de crise. L'application du cahier des charges ainsi que des recommandations formulées pour la définition d'un environnement semi-virtuel relatif à cette problématique a permis non seulement de constituer une plateforme physique pour les exercices de formation, mais aussi de développer une suite logicielle d'aide aux formateurs. Sur la base d'une zone vierge de tout aménagement, quatre espaces attenants ont été répartis de manière à pouvoir animer deux exercices de gestion de crise concomitants. L'espace central d'animation permet une supervision visuelle complète et non intrusive des deux groupes de participants, au moyen de miroirs sans tain et de caméra dômes. Les cinq dispositifs d'immersion (globale, visuelle, sonore, participative et kinesthésique) ont pu être mis en place en tenant compte des contraintes de construction du bâtiment. Un espace technique regroupe enfin l'ensemble des matériels informatiques (logiciels, matériels multimédia, serveurs de simulations, etc.) nécessaires au fonctionnement complet du complexe de formation.

L'architecture multi-tiers distribuée, telle que proposée dans la phase de conception, a pu être déclinée en un système informatisable dont la topologie s'est avérée compatible et facile à déployer au sein de la plateforme physique. La suite « SimulCrise » a été spécifiquement développée afin d'accompagner le projet sur des aspects d'aide à l'animation, de suivi pédagogique, et de préparation de l'évaluation des participants. Un système multi-agents dédié, appelé Asymut, a été développé avec l'aide d'un framework open source existant (Jade). L'association d'un outil de supervision avec l'outil Asymut automatise et facilite la gestion des scénarios complexes. L'adjonction de la dernière couche applicative incluant notamment le serveur de simulation virtuelle 3D (développée par des prestataires extérieurs), doit favoriser l'immersion des participants dans un univers proche de réalité. Chacun de ces éléments s'accompagnent d'autant d'interfaces homme-machine (IHM) donnant accès aux fonctionnalités clefs nécessaires au bon déroulement d'une session de formation.

Une parenthèse peut être faite concernant le modèle proposé pour les fiches de rôles pour les formateurs, dont une structure est proposée afin d'en faciliter l'informatisation pour chaque scénario de crise. Un cas d'utilisation a néanmoins été présenté afin d'illustrer l'intérêt de tels supports afin d'intégrer les actions et les décisions des participants à l'évolution de la crise simulée par Asymut.

Discussion autour de la plateforme de formation à la gestion de crise de l'ISR

La validation du cahier des charges d'une plateforme physique et logicielle permettant la définition d'une infrastructure réelle de formation à la gestion de crise a revêtu deux volets. Le premier volet relève de la sphère physique et consiste en la transcription des recommandations formulées en termes d'immersion, de réalisme et de prérequis technico-pédagogiques, au sein d'un complexe de formation réel. Le deuxième volet, de nature informatique, prend la forme d'une suite logicielle appelée SimulCrise qui intègre les principales couches applicatives conçues et développées dans l'architecture multi-tiers distribuée.

11.4.7. Volet physique

L'ensemble des préconisations méthodologiques ayant été formulées avant le chantier de construction de l'Institut des Sciences des Risques, l'environnement semi-virtuel de formation à la gestion de crise mis en place a pu bénéficier de la majorité d'entre elles.

Toutefois, compte tenu de l'espace disponible, la mise en place d'un isoloir n'a pu être réalisée. Ainsi, il est à noter que l'environnement semi-virtuel ne reproduit pas entièrement l'environnement réel d'une équipe de gestion de crise dans la mesure où ce type d'espace déporté en est absent. L'utilisation d'une salle extérieure au complexe de formation est envisageable bien qu'il y ait alors un risque de créer une discontinuité des dispositifs d'immersion des participants. Une autre alternative consisterait à n'utiliser qu'une des deux salles pour l'animation d'un exercice – soumis à un seul groupe de participants donc – et d'utiliser l'autre comme isoloir. Il est toutefois noté qu'en l'absence d'un deuxième groupe, l'évaluation comparative ne peut être réalisée.

L'ensemble du matériel de simulation a ensuite été validé et semble constituer une base adaptée à l'initiation, au perfectionnement et à l'entraînement de participants (cf. annexe VII : tests de validation du matériel de simulation de l'ISR). En particulier, la plateforme de formation semble constituer un bon terrain d'expérimentation dans la mesure où l'Ecole des Mines d'Alès dispose d'élèves susceptibles de pouvoir être soumis à des exercices de gestion de crise. L'ouverture de l'environnement semi-virtuel de formation à ce type de participants doit permettre la validation de la montée en compétence de profils néophytes. L'objectif est non seulement d'évaluer l'adéquation du continuum d'apprentissage retenu avec la problématique étudiée, mais aussi de vérifier la présence d'une optimisation de l'apprentissage dans les phases d'initiation et de perfectionnement (en comparaison avec la phase d'entrainement, cf. figure 8, p75). Ceci doit identifier si la démarche initialement adoptée et consistant à élargir l'approche pédagogique à des publics autres que des gestionnaires effectifs (décideurs, etc.) est ou non pertinente.

Il est relevé que le dimensionnement de la salle d'animation et de supervision de l'exercice peut accueillir jusqu'à huit formateurs, un superviseur ainsi que quelques observateurs. Comme les dispositifs sonores (microphones) et visuels (cameras) ne sont pas encore couplés à des systèmes d'enregistrement et de stockage, la présence d'observateurs pour suivre en temps réels les comportements intergroupe est indispensable.

Il est en outre noté que l'aménagement de deux salles d'exercice permet de proposer le même scénario de crise à deux équipes de participants dont les stratégies vont donner lieu à des évolutions potentiellement différentes. Dans sa configuration actuelle, le complexe de formation offre néanmoins des variantes d'emploi, en particulier par l'activation de deux cellules complémentaires sur un seul scénario. Cette approche peut présenter un intérêt pédagogique, lié par exemple à la coopération entre une cellule siège et cellule délocalisée d'une organisation, ou encore entre une cellule de crise et une cellule d'experts (Météo France, Cedre, etc.). De ce fait, la plateforme donne la possibilité de soumettre un scénario d'exercice à :

- Deux équipes concurrentes, gérant un scénario dont le point de départ est identique mais dont l'évolution va différer en fonctions des stratégies respectivement adoptées,

- Deux équipes concomitantes, soumises au même scénario et dont les actions complémentaires vont influencer les évènements simulés,
- Une seule équipe, avec la limite qu'il est dès lors impossible de réaliser une phase d'évaluation comparative.

L'ensemble des éléments précédents nécessite cependant d'être relativisés, dans la mesure où aucune session réelle de formation n'a pu être organisée durant ce travail de recherche. Cette contrainte ne permet en effet pas d'avoir un recul suffisant sur la pertinence ou l'efficience des choix réalisés, notamment concernant les dispositifs d'immersion, la disposition et la répartition des acteurs impliqués (participants et formateurs). De ce fait, les méthodes d'évaluations (pédagogique, organisationnelle et comparative) n'ont pas pu faire l'objet d'une phase validation.

11.4.8. Volet informatique

L'architecture multi tiers distribuée conçue dans le cadre de ce travail de recherche a donné lieu à l'identification de sept services dédiés au fonctionnement de l'environnement semi-virtuel de formation. Pour rappel, il s'agit du moteur de scénario, de la supervision de l'exercice, de l'animation du scénario, de la simulation virtuelle 3D, des bases de données, de la gestion de crise par des participants, et des retours d'expériences simulées. A l'exception de ce dernier, tous les services ont été développés et intégrés dans une plateforme applicative appelée SimulCrise.

Le moteur de scénario est un système multi-agents – appelé Asymut, pour *Agents and SYnopsis Management UTility* – spécifiquement conçu puis implémenté dans la plateforme existante Jade, et calibré afin de réaliser des simulations de crises. Il est intéressant de noter qu'Asymut un composant de l'environnement semi-virtuel de formation, contrairement à d'autres approches qui ont abordé l'environnement de formation comme étant un système multi-agents [Querrec, 2002]. Cette différence provient essentiellement du fait que les agents conçus sont non-rationnels (dans un but de réalisme), et que le noyau de simulation Asymut est considéré comme un module d'aide à l'animation (et non un prérequis de l'ingénierie système).

Concernant le module de représentation 3D, et bien que l'interconnexion entre la simulation virtuelle et Asymut ait pu être validée dans sa dimension technique (cf. figure 119, p274), l'absence de tests en conditions réelles d'utilisation ne permet pas d'évaluer son adéquation avec les objectifs d'immersion préalablement identifiés. En effet, bien que les cellules de crise, dans leur configuration réelle, ne soient pas équipées de moyens de visualisation de la situation sur le terrain, il semble intéressant d'étudier la façon dont ce type de technologie peut y être introduit et les conséquences de son utilisation. Il est par ailleurs important de noter que pour disposer d'une simulation virtuelle 3D représentative il est nécessaire que le système multi-agents héberge chacun des éléments – objets comme avatars – requis. Il peut par exemple s'agir de moyens de secours, d'enjeux, comme de simples éléments visuels participant à la cohérence de l'environnement simulé. Cela pose naturellement la question de la stabilité du système multi-agents qui peut dès lors avoir à gérer un nombre considérable d'agents et de messages supplémentaires sur futurs scénarios. A titre d'exemple, si un scénario d'exercice portait sur la gestion d'un feu de forêt, la simulation virtuelle 3D

nécessiterait l'intégration de chacun des arbres constitutifs, et devrait administrer un nombre d'autant plus grands de messages unitairement échangés. Une autre limite inhérente à l'emploi d'un module de simulation virtuelle 3D vient du fait que l'utilisation d'une interface logicielle peut entraîner des écarts entre les utilisations désirées, programmées et effectives, et les finalités recherchées. Cette contrainte provient des différences existant entre les modèles mentaux des concepteurs et ceux des utilisateurs finaux (participants et formateurs). Ce constat appelle donc à ce que les outils SimulCrise, Asymut et de simulation virtuelle 3D soient validés auprès des utilisateurs finaux (participants comme formateurs).

Enfin, les orientations stratégiques à l'initiative des participants tout comme les inflexions pédagogiques des formateurs sont prises en compte par des outils SimulCrise dédiés. Les fiches de suivi et d'animation se destinent à suivre les évènements simulés par Asymut, et à y associer des compétences mobilisées par les participants. Il est à noter que ces supports d'animation sont préconfigurés en amont de l'exercice tout en laissant aux formateurs la possibilité d'y intégrer des interactions non prévues mais liées à la dimension proactive des participants. Cependant, la principale difficulté est alors l'association de chaque nouvelle interaction à l'une des compétences dont le suivi est réalisé. Néanmoins, la centralisation dans un journal d'évènements des informations clefs transitant au sein de la plateforme (cf. figure 94, p220) est voué à favoriser l'enrichissement de ces fiches de suivi et d'animation.

Chapitre 12 : Validation de la méthodologie de génération d'un scénario fictif de crise

« Au moment où l'on s'y attend le moins, un tremblement de terre fait surgir des montagnes, la foudre tue un arbre qui allait reverdir au printemps, un accident de chasse met fin à la vie d'un homme honnête. »

Paulo Coelho, *Le démon et mademoiselle Prym*, 2001.

12.1. Conception d'un scénario de catastrophe maritime

12.2. Description systémique

12.3. La trame principale du scénario d'exercice retenu

12.4. Caractérisation des acteurs impliqués : des agents aux formateurs

L'environnement semi-virtuel de formation conçu et développé dans le cadre de ce travail de recherche, a notamment pour objectif de générer un scénario fictif de crise, sur la base d'un point de départ imposé, mais dont l'évolution n'est pas préprogrammée. L'objectif est en effet que l'environnement permette de s'entrainer sur des situations nouvelles voire inconnues. Il s'agit ainsi de conforter l'approche pédagogique consistant non seulement à sensibiliser différents profils de participants à des problématiques qu'ils ne maitrisent pas, mais de mettre aussi en pratique les conduites et les automatismes acquis lors d'expériences passées. Pour ce faire, ce chapitre va traiter de la génération d'un scénario complexe, multipartite et d'étendue spatiale importante, à savoir une pollution marine.

12.1. Conception d'un scénario de catastrophe maritime

Les dernières catastrophes environnementales causées par le déversement accidentel de produits pétroliers et chimiques en mer, ont encouragé la France, ainsi que la Commission Européenne, à mettre en place une politique exigeante pour limiter ces risques. En effet, le littoral métropolitain a subi ces dernières années de nombreuses pollutions maritimes de grande ampleur (Amoco Cadiz, Erika, Prestige, Ievoli Sun, etc.). Des actions pour lutter contre ces pollutions ont été instaurées aussi bien au niveau de la prévention que de la mobilisation en cas d'accident. Malgré toutes les précautions prises en amont, différentes actions destinées à améliorer la lutte contre ce type de pollutions accidentelles sont mises en place et concernent aussi bien les domaines de la prévention que de la mobilisation effective des moyens. A ce titre, les plans ORSEC mer et terre font partie des ressources de mobilisation que la France a mis en place, et chaque département côtier doit posséder l'un de ces plans (cf. annexe I détaillant les plans ORSEC). Bien qu'un nombre régulier d'exercices soit proposé aux différents acteurs jouant un rôle dans la gestion d'une pollution maritime, ces dernières nécessitent un nombre important de moyens (aériens, d'intervention, etc.) rattachés à des structures différentes devant coopérer. De fait, ces moyens demeurent difficilement mobilisables hors situation accidentelles et les contraintes de mise à disposition de navires, de moyens de secours, ou encore de services de l'Etat, sont incompatibles avec une stratégie d'entrainement à la gestion de crise en cas de pollution. C'est pourquoi, dans l'optique de mettre en place une formation sans pour autant mobiliser tous les moyens terrains impactés en situation réelle, la plateforme dont l'architecture a été explicitée auparavant peut être utilisée[32]. Pour ce faire, la première étape consiste à caractériser l'ampleur de l'évènement de départ en fonction du profil de participants. Dans un deuxième temps, une analyse précise des retours d'expérience va être ensuite menée afin de déterminer non seulement tous les facteurs susceptibles d'intervenir lors d'un accident maritime (évènements, phénomènes dangereux, perturbations) mais aussi les acteurs pouvant être impliqués. Ce recueil doit permettre à la fois l'identification des agents devant être simulés par Asymut ainsi que la constitution de fiches de rôle pour l'aide à l'animation.

[32] Une base de données de tous les équipements de lutte antipollution des stocks Orsec est disponible à l'adresse suivante : http://www.cetmef.developpement-durable.gouv.fr/polmar/liste-de-stocks.html (lien consulté en 2010).

12.1.1. Détermination de l'ampleur de l'évènement de départ

Le tableau suivant [Bahe, 2008] présente une typologie des pollutions marines qui distinguent trois ampleurs de gravité croissante : faible, moyenne et exceptionnelle.

Tableau 12 : une typologie des pollutions marines en fonction de leur ampleur.

AMPLEUR DE LA POLLUTION	CAS DE FIGURE	RESPONSABILITÉ
POLLUTION DE FAIBLE AMPLEUR	Une ou plusieurs commune(s) atteinte(s) par une pollution maritime ne dépassant pas les moyens de la commune.	**Pas de déclenchement du plan POLMAR Terre** Les opérations de lutte incombent à la commune et sont dirigées par les maires dans le cadre de leurs attributions de police générale prévue par l'article L. 2212-2 du Code Général des Collectivités Territoriales. - Nettoyage réalisé par les employés communaux - Possibilité de faire appel à des moyens privés (entreprises spécialisées de dépollution) et de demander conseil et assistance technique aux services départementaux compétents (pompiers notamment), aux services déconcentrés de l'État, au Cedre ou à tout autre organisme compétent. - Les maires doivent rendre compte de leurs actions au sous-préfet.
POLLUTION DE MOYENNE AMPLEUR	Une ou plusieurs commune(s) atteinte(s) par une pollution maritime pouvant entraîner la saturation des moyens de la commune.	**Pas de déclenchement du plan POLMAR Terre** En cas de pollution plus importante et ne touchant qu'une seule commune, la responsabilité de la lutte reste au maire sur le territoire de sa commune. Il rend compte de ses actions au sous-préfet. Quand plusieurs communes sont atteintes par une pollution de moyenne ampleur, le préfet coordonne les opérations de lutte et attribue les renforts sans toutefois relever les maires de leur responsabilité. - Mêmes moyens qu'en faible ampleur *(Cf. Ci-dessus)* - Possibilité pour les maires d'accéder aux moyens matériels du centre interdépartemental de stockage POLMAR Terre à titre onéreux
POLLUTION D'AMPLEUR EXCEPTIONNELLE	Une ou plusieurs commune(s) atteinte(s) par une pollution maritime dépassant largement la capacité de réponse de la commune, voire du département.	**Déclenchement du plan POLMAR Terre** Lorsque le préfet de département déclenche le plan POLMAR Terre, il en informe immédiatement le Premier Ministre et les différents ministres concernés, le préfet de la zone de défense, le préfet maritime ou délégué du gouvernement concerné, ainsi que le Cedre, Météo-France et l'IFREMER dont les experts et les moyens sont immédiatement mis à sa disposition. Le préfet de département est responsable de la conduite de l'organisation de la lutte anti-pollution sur son département. Les maires touchés par la pollution sont alors subordonnés au préfet.

Il est à noter que l'Etat possède des matériels spécifiques pour la lutte anti-pollution à terre au sein de centres interdépartementaux de stockage de matériels POLMAR Terre qui sont au nombre de huit en France métropolitaine : Dunkerque, Le Havre, Brest, Saint Nazaire, Le Verdon, Sète, Marseille, Ajaccio [Bahe, 2008].

12.1.2. Les acteurs internationaux

Plusieurs dispositifs spécifiques existent afin de prévenir et gérer les catastrophes maritimes (cf. annexe XII : dispositifs réglementaires concernant la pollution marine). En particulier, l'Organisation Maritime Internationale (OMI) assure la sécurité en mer, la prévention de la pollution marine par les navires, la formation des marins et la prévention des collisions en mer. Néanmoins, lors d'une catastrophe et afin d'améliorer la coordination des opérations de lutte en mer avec les pays limitrophes, la France a élaboré avec ceux-ci des plans d'intervention communs :

- Le Manche plan avec le Royaume Unis,
- Le Biscaye plan avec l'Espagne pour la côte atlantique,
- Le Lion plan avec l'Espagne pour la côte méditerranéenne,
- Le plan RAMOGEPOL avec Monaco et l'Italie.

De plus, il est important de préciser que deux types d'acteurs de la prise de décision concernant une pollution de grande ampleur sont distinguables :

- Les acteurs de droit, relatifs à tous les niveaux de l'Etat (ministères, préfets, maires, etc.),
- Les acteurs non reconnus par la législation Orsec mais dont l'avis compte beaucoup comme par exemple l'Union Européenne, ou encore les acteurs du transport maritime.

12.1.3. Les acteurs français

Lutter contre une pollution maritime de grande ampleur implique généralement une action simultanée ou successive en mer et sur le littoral, et la réussite des opérations dépend de ce fait d'une coordination efficace entre ces actions. Cette dernière est indispensable pour la direction des opérations de lutte (autorités préfectorales, pays frontaliers) ainsi que la recherche de cohérence générale du dispositif terre/mer. Cette interface peut être limitée à [33] :

- La seule commune, si seules ses côtes sont touchées,
- Au préfet de département si l'impact de la pollution dépasse le territoire de la commune,
- Au préfet de zone si la pollution dépasse les limites d'un département.

La Direction des Affaires Maritimes (DAM) a tout d'abord pour mission principale de réguler les activités maritimes, professionnelles ou de plaisance. Elle anime également les centres régionaux (DRAM, celui concerné par le scénario est situé à Marseille) et départementaux (DDAM), les centres régionaux opérationnels de surveillance et de sauvetage (CROSS, dont deux sont situés Méditerranée et opèrent au plan international), les centres de sécurité des navires (CSN), et enfin les unités de police (patrouilles maritimes).

[33] Arrêté préfectoral n°2009/57 du 23 juillet 2009.

Sous l'autorité du Préfet, le CROSS prend en charge :

- La recherche et le sauvetage maritimes, de la réception des alertes radios et téléphoniques à la prise en charge des opérations, ils interviennent environ 8000 fois par an,
- La surveillance de la navigation maritime dans les zones à fort trafic,
- La surveillance des pollutions, grâce aux moyens aéronautiques et nautiques des Douanes et de la Marine Nationale Il est question de répertorier et exploiter des informations essentielles pour la préfecture en charge du plan Orsec Mer,
- La surveillance des pêches,
- La diffusion des renseignements de sécurité maritime (prévisions météorologiques).

Ces missions sont réalisées grâce aux moyens mis à disposition par l'Etat au travers des différents acteurs (Marine nationale, Douanes, etc.). Le service garde-côtes des Douanes de Méditerranée, basé à Marseille, a pour mission d'assurer la surveillance des côtes, la lutte contre les trafics illicites, ainsi que d'appuyer l'Action de l'Etat en Mer (AEM). La lutte contre les pollutions maritimes et la protection de l'environnement font aussi partie de ses missions. Il se décompose en unités maritimes et en unités aériennes (avion POLMAR).

La Gendarmerie Nationale, représentée par le groupement de la Méditerranée à Toulon, assure l'application de la législation et de la réglementation sur le littoral et en mer. Elle opère de Nice à Port-Vendres, ainsi qu'en Corse. La Marine Nationale a un rôle d'assistance aux personnes mais aussi de lutte contre les pollutions. Elle dispose de plusieurs bâtiments de soutien et d'assistance à la dépollution (BSAD). La Sécurité Civile, qui regroupe des sapeurs-pompiers, des militaires et des unités d'instruction et d'intervention, des pilotes d'avions et d'hélicoptères ainsi que des démineurs. Leurs missions portent sur la sauvegarde des personnes et des biens. Leurs moyens sont principalement concentrés sur la base d'aviation de Marignane.

Comme l'illustre la figure ci-après[34], la Société Nationale de Sauvetage en Mer (SNSM) est association française qui a pour mission de sauver les personnes en mer. Avec le soutien de la vedette *La Bonne Mère de Marseille*, elle travaille en étroite collaboration avec les différents corps d'intervention (militaires de la Marine Nationale, bataillon de marins pompiers de Marseille). Les interventions sont coordonnées par le CROSS. Le CEDRE (Centre de Documentation, de Recherche et d'Expérimentations sur les pollutions accidentelles des eaux) est un organisme qui a pour but d'aider à la préparation des moyens d'intervention et de renforcer la lutte contre la pollution maritime. Le siège est basé à Brest et possède une délégation pour la Méditerranée qui est située sur la base d'IFREMER Méditerranée à Toulon.

[34] Information disponible sur premar-mediterranee.gouv.fr. Site consulté en décembre 2011.

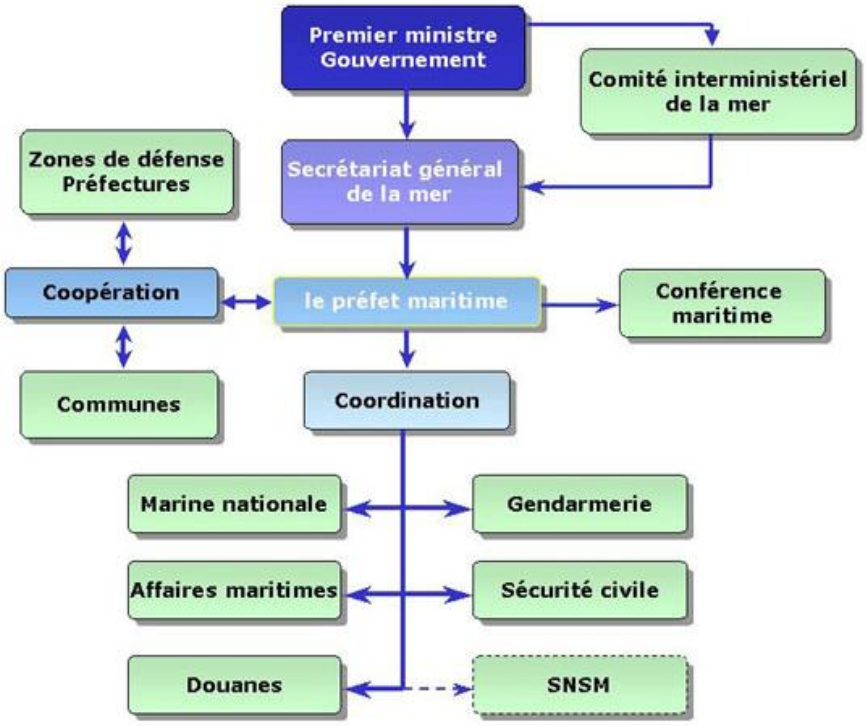


Figure 101 : organisation de l'action de l'Etat en mer.

La figure 102 suivante détaille d'autre part le système d'échange entre les différentes cellules de crise :

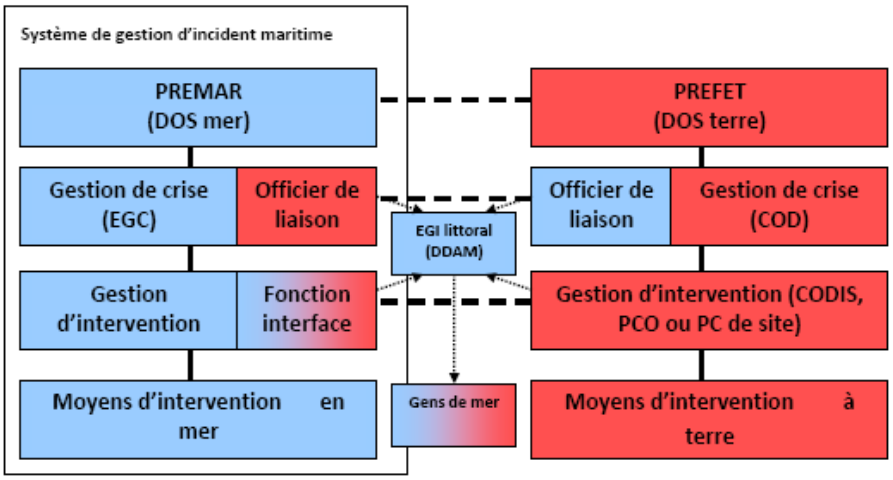


Figure 102 : schéma de l'interface entre les cellules de crise en mer et sur terre.

La cellule de crise doit ainsi informer le plus précisément possible les autorités de lutte à terre du ou des lieux d'arrivage de la pollution afin d'assurer au mieux la protection des sites sensibles (zones à forte densité de population, parcs naturels, zone d'intérêt économique, etc.).

Par ailleurs, afin de prévoir les mesures à adopter, les autorités terrestres et maritimes doivent échanger :

- Des informations destinées aux autorités : les préfets concernés (préfet maritime, de département et de zone) doivent se tenir mutuellement informés des observations et des actions réalisées, autant que de besoin, et au moins une fois par jour,
- Des informations destinées aux services de l'Etat : les préfets concernés (maritime, département et zone) créent un dossier dans le portail ORSEC et peuvent émettre un communiqué relatant leurs actions de lutte contre la pollution dans leur domaine de compétences,
- Des informations destinées aux collectivités territoriales : le préfet de département a la charge d'informer les collectivités territoriales de l'évolution de la menace de pollution. Le préfet maritime transmet quant à lui les informations pouvant intéresser les collectivités territoriales,
- Des informations des associations de protection de l'environnement : si la pollution ou la menace de pollution risque d'occasionner des dommages à la faune ou la flore marine, le préfet maritime prévient les associations de protection. Ces organismes peuvent être destinataires des communiqués de presse ou recevoir des comptes-rendus particuliers.

Il est à noter qu'un comité d'experts extérieurs peuvent être sollicités par la cellule de crise afin d'évaluer le comportement, le vieillissement d'une substance rejetée en mer ainsi que d'anticiper la dérive d'une nappe ou la dispersion d'un nuage lorsque le produit est hautement volatil. En cas de dérive l'équipe de gestion de crise peut en effet rassembler un comité d'experts animé par le CEDRE et étant constitué de Météo France, l'Ifremer, et le Service Hydrographique et Océanographique de la Marine (SHOM). De plus, si l'Etat engage des moyens d'intervention d'autorité aux frais et risques de l'armateur, un représentant de celui-ci (assureur spécialisé) peut être intégré au sein de ce comité. Par ailleurs, le directeur d'intervention concerné (commandant du COM ou directeur du CROSS) ou son représentant peut épisodiquement rejoindre la cellule de crise pour réaliser des points de situation[35].

12.2. Description systémique

Conformément aux recommandations formulées précédemment, cette description repose sur la définition de sous-systèmes (causes-conséquences) tels que proposés dans la méthodologie MOSAR.

12.2.1. Démarche globale

L'objectif est de modéliser le système et les flux y transitant. Doivent notamment être distingués les évènements perturbateurs provenant du système source et ceux générés par les effets sur les systèmes cibles. Pour garantir la dimension pédagogique de l'exercice de gestion de crise, les évènements perturbateurs vont

[35] Source : plan Orsec mer Atlantique.

correspondre aux dysfonctionnements susceptibles de provoquer des effets indésirables sur des enjeux variés d'un point de vue :

- Humain, avec plusieurs acteurs opérationnels concernés, des équipages menacés, des populations littorales proches,
- Environnemental, car mettant en jeu un écosystème vulnérable, un environnement marin économiquement sensible, une ou plusieurs réserves naturelles proches des côtes,
- Matériel, de par la proximité d'installations industrielles, la présence de réseaux vitaux (distribution d'énergie, etc.).

L'objectif est ainsi de modéliser une catastrophe maritime impliquant au minimum un navire transportant une cargaison d'au moins un produit chimique, et ce près du littoral français. Naturellement, pour chaque évènement perturbateur correspondent également plusieurs variables amenant chacune à une évolution possiblement différente de la crise, et demandant ainsi l'adoption de stratégies spécifiques par la cellule de crise. Ces mêmes décisions peuvent également conduire à une évolution différente de la crise et ainsi à un nouvel univers de possibles. C'est pourquoi, devant la multitude d'éléments susceptibles d'être impliqués par un scénario de catastrophe maritime, il est nécessaire de décomposer le système global en sous-systèmes.

12.2.2. Caractérisation des sous-systèmes d'une catastrophe maritime simulée

Les évènements perturbateurs sont les dysfonctionnements susceptibles de provoquer des effets indésirables sur : les individus (équipage du navire, équipe de secours et/ou de pompage), la population (navire à proximité des côtes), l'écosystème (environnement marin/réserve naturelle proches des cotes), les installations (présence d'une centrale nucléaire puisant dans l'eau de mer, ICPE, etc.). Neuf principaux sous-systèmes ont été définis afin de traduire les implications précédentes, dont la modélisation figure en annexe XIII :

- Le facteur humain, à l'origine d'erreurs, de négligences et de comportements dangereux,
- Le navire et ses équipements, dont peuvent découler des évènements accidentels et des phénomènes dangereux relatifs à l'éventuelle substance transportée,
- La dispersion de produit, qui peut être atmosphérique (formation d'un nuage ou d'un panache) ou aquatique (formation d'une nappe en surface, remontée de gouttes d'une épave, etc.),
- Les opérations aériennes, notamment mobilisées pour effectuer des suivis et faire du sauvetage de personnes,
- Les opérations en mer, menées pour assister les navires et gérer les risques de pollution,
- Les opérations à terre, relatives à la gestion et à la coordination des moyens, l'accueil et le traitement des déchets,
- L'environnement marin et côtier, qui regroupe essentiellement les enjeux humains et environnementaux impliqués directement ou indirectement par la catastrophe,
- La cellule de crise, dont les choix stratégiques, l'organisation, et les temps de réponse influent directement sur l'évolution de la crise,

- Les médias, qui demandent une prise en compte particulière afin de tendre à la pleine connaissance et à la maîtrise de l'information diffusée.

Il est possible de noter que certains éléments participatifs n'ont pas été retenus comme devant être représentés en tant que sous-systèmes. Il peut s'agir d'une part d'éléments implicitement caractérisés dans d'autres sous-systèmes (les conditions météo sont par exemple des données d'entrée clairement identifiées pour modéliser la dispersion d'un produit). Cela peut d'autre part être justifié par le niveau de détail donné à la modélisation du système pour laquelle une précision élevée n'est pas pertinente (une analyse fine au niveau individuel n'est à ce titre pas menée). Enfin, un sous-système peut être ignoré s'il ne fait pas partie de la phase aigüe de la crise (les difficultés de traitement des déchets ne sont par exemple pas intégrées à la modélisation globale du système). Il faut par ailleurs distinguer deux catégories d'évènements perturbateurs : ceux provenant du système source et ceux générés par les effets sur les systèmes cibles. Comme l'illustre la figure suivante, un navire (système source) transportant une cargaison de produits inflammables et volatils peut être victime d'un incendie (évènement non-souhaité). Une des conséquences possibles est alors la naissance d'une fuite enflammée qui, si l'endommagement du navire qu'elle entraine est important, peut conduire au naufrage de celui-ci (scénario d'autodestruction).

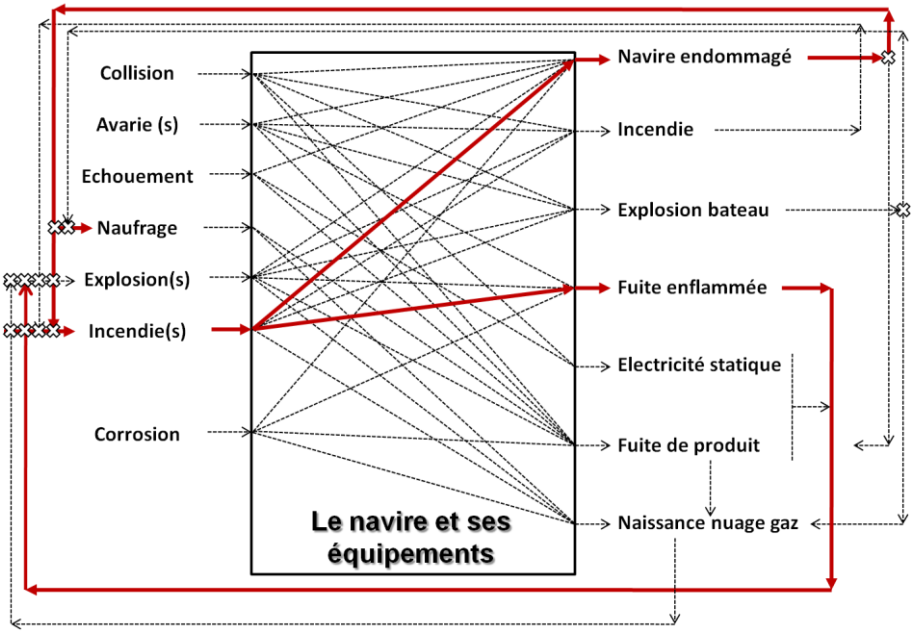


Figure 103 : le sous-système « Le navire et ses équipements ».

Pour modéliser le navire et les dangers associés, il suffit de relier (par un arc orienté) les sources de danger à celles susceptibles d'être affectées au niveau de la cible du danger. L'ensemble de ces flux représente les évènements perturbateurs possibles susceptibles d'influencer le système global, et de déterminer d'autres sources de danger. Les principales liaisons concernent des flux sont les suivants : des matières (rejet d'une substance, etc.), de l'énergie (flux thermiques d'un incendie), de l'information (incertitudes, problèmes de communication, etc.). A titre d'exemple, la figure située à la page suivante illustre l'interconnexion de trois sous-systèmes modélisant l'initiation d'une pollution marine et ses conséquences sur l'environnement côtier.

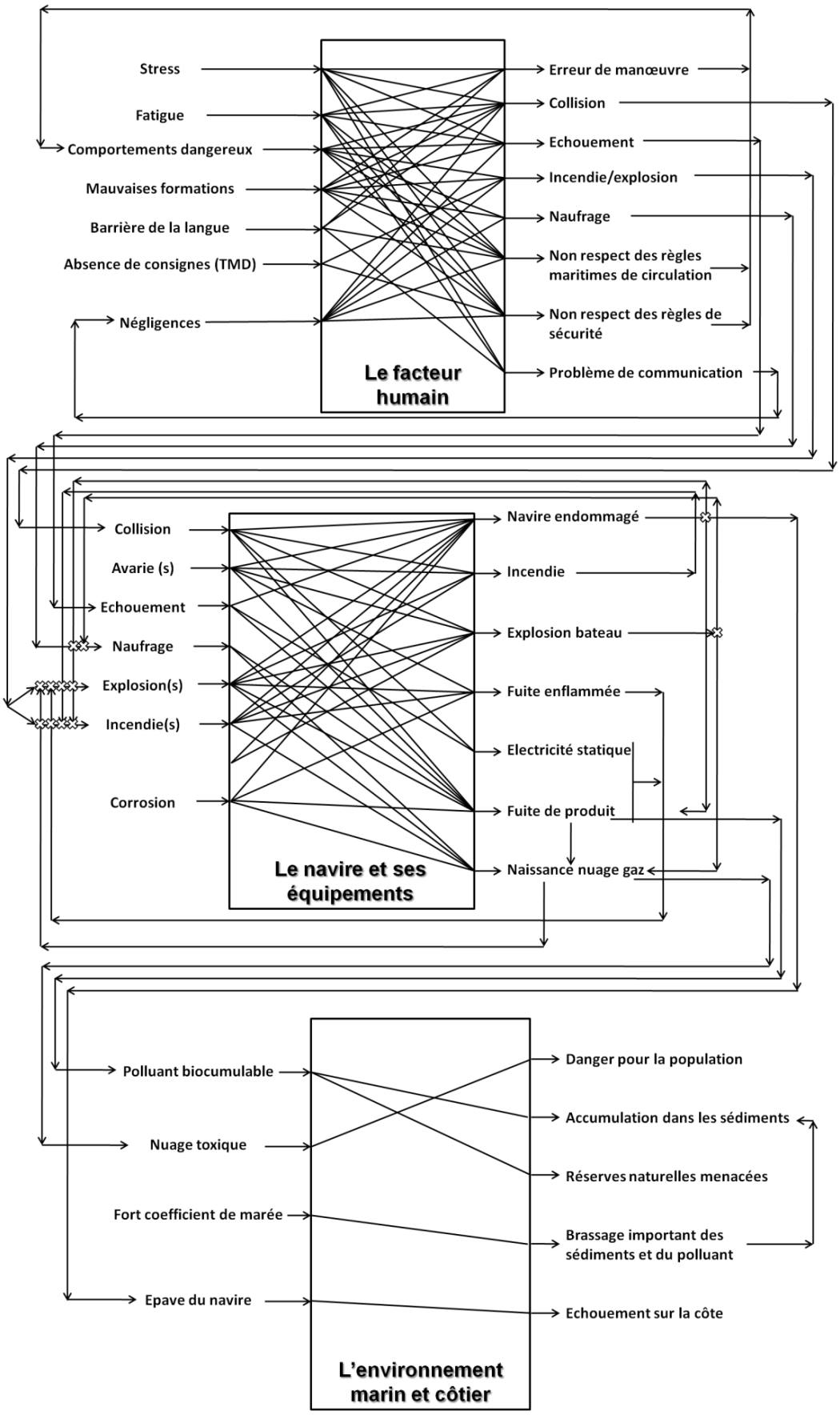


Figure 104 : exemples d'interactions entre plusieurs sous-systèmes d'une catastrophe maritime.

Le premier constat issu de la modélisation MOSAR permet de noter que cette approche n'est pas adaptée en vue de représenter l'ensemble des scénarios d'évolution possibles d'un système complexe. En effet, modéliser les composantes principales ainsi que toutes les combinaisons d'interactions – dans comme hors des sous-systèmes – liées à une catastrophe maritime simulée n'offre pas une lecture claire et facile du scénario d'exercice. En revanche, l'utilisation de MOSAR dans ce contexte permet de représenter graphiquement l'impact d'un nouvel évènement sur le scénario. Il est ainsi possible d'anticiper les conséquences liées à l'ajout d'une perturbation scénarique comme de comprendre dans quelle mesure les choix des participants sont adaptés à la crise simulée. Cette approche permet en outre de représenter l'état du scénario en temps réel, en dressant une cartographie des évènements majeurs qui ont déjà eu lieu, ou sont susceptibles d'intervenir. La figure suivante donne un exemple de représentation d'un scénario de crise simulée centrée sur le sous-système relatif aux opérations en mer. Dans la figure suivante, les flèches pleines indiquent l'état courant, à savoir qu'une opération de pompage des cuves d'un navire transportant un produit acide a provoqué une fuite de celui-ci dans la mer.

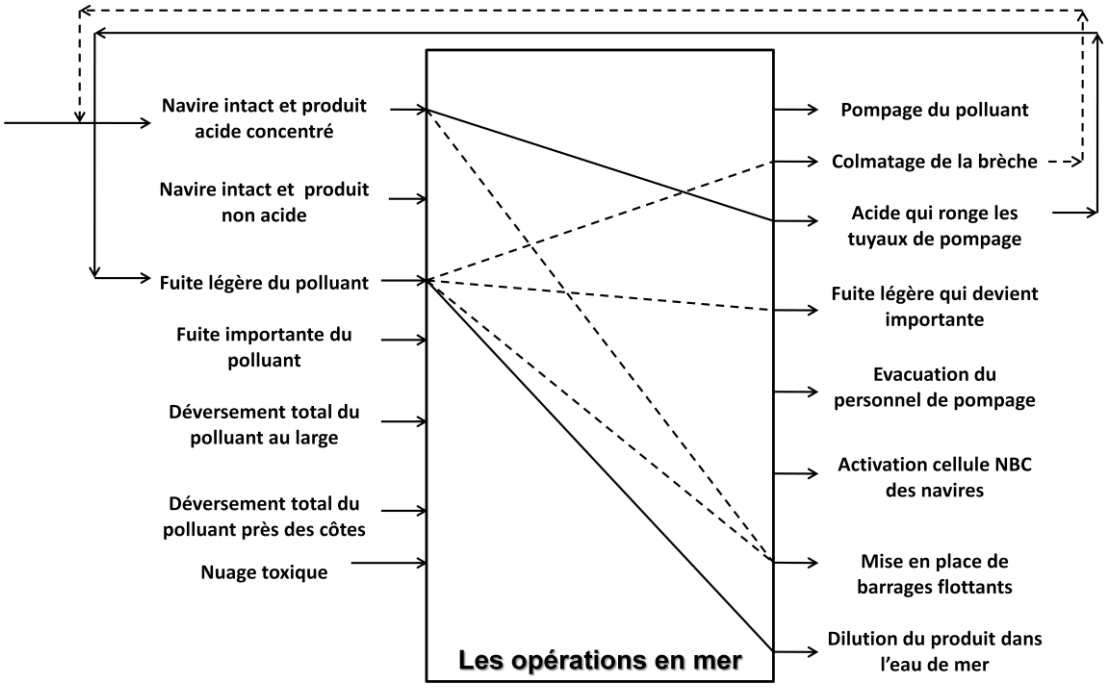


Figure 105 : le sous-système « Les opérations en mer ».

Les évolutions possibles à partir de cet état sont représentées par des flèches pointillées. Dans ce même exemple, le scénario peut d'une part évoluer différemment selon que les participants tardent à prendre une décision (la dispersion aquatique se poursuit), s'attachent à revenir à un niveau d'intégrité acceptable du navire (les opérations en mer essayent de colmater la brèche), ou tentent des stratégies de limitation de la pollution (mise en place de barrages flottants). D'autre part, l'influence pédagogique des formateurs peut quant à elle faire naître de nouveaux évènements, comme l'intensification de la fuite de polluant.

12.2.3. Détermination de l'évènement de départ au moyen de REX

Dans un souci de réalisme, une étude des accidents maritimes, d'origine chimique ou non, recensés par le CEDRE a eu pour objectif de mettre en lumière les causes, les conséquences et les stratégies adoptées par les autorités compétentes lorsque ces dernières étaient documentées. La carte suivante[36] présente un extrait (cf. annexe XIV pour consulter l'ensemble) de cette analyse qui identifie notamment la localisation des pollutions maritimes entre 1960 et 2007 à proximité du littoral français.

Figure 106 : localisation des pollutions maritimes à proximité des côtes françaises (1960 – 2007).

Une typologie de catastrophes maritimes représentative des données du CEDRE[37] a été constituée (la liste des catastrophes retenues est disponible en annexe XIV). Celle-ci a permis de caractériser 34 accidents types dont la synthèse est présentée dans le tableau 13.

Tableau 13 : une répartition des causes d'accident en fonction du type de transporteur maritime.

Navire	Avarie	Echouement	Intempérie	Collision	Incendie
Cargos	5	2	3	1	3
Vraquiers	1	0	1	0	0
Chimiquiers	4	0	0	5	2
Navires citernes	2	0	0	0	0
Porte-conteneurs	2	1	1	1	0

[36] Source : logiciel de simulation CLARA – Calculs Liés Aux Rejets Accidentels en mer (développé à l'Ecole des Mines d'Alès, LGEI).
[37] Synthèse réalisée sur la base des informations accessibles en mars 2010.

Comme la répartition précédente en témoigne, les chimiquiers et les cargos sont les navires de transports de produits chimiques ayant rencontré le plus d'évènements initiateurs d'accidents. Pour les chimiquiers, la principale cause est la collision avec un autre navire, et souvent avec des porte-conteneurs. Quant aux cargos, les avaries, la météo et les incendies, sont les principales causes de naufrage de par le monde. Le tableau 14 présente les 10 substances chimiques qui ont le plus souvent participé à une pollution marine, ainsi que les quantités cumulées mises en jeu.

Tableau 14 : les principaux produits chimiques déversés accidentellement dans le monde.

Substance	Quantité cumulée [T]
Acide sulfurique	27960
Phosphate	25894
Acide phosphorique	17600
Nitrate ammonium	9757
Concentré de plomb	4870
Styrène monomère	3500
1,2 dichloroéthane	3013
Monomère acétate de vinyle	1800
Chlorure de vinyle monomère	1300
Acrylonitrile	1096

Parmi ces substances, le styrène monomère semble constituer un bon choix pédagogique. Le styrène est un composé aromatique volatil très utilisé pour fabriquer des polymères et des copolymères tels que le polystyrène ou le caoutchouc synthétique. Il s'agit d'une substance incolore notée FE (Flottant – Evaporant) dans la classification SEBC (cf. annexe III), et classée comme toxique, nocive et irritante pour les yeux et la peau[38]. Sous forme liquide et à température ambiante, le styrène ne peut pas être transporté sans un additif inhibiteur pour éviter sa polymérisation. En effet, lorsque celle-ci est non contrôlée, son caractère exothermique représente un fort danger d'explosion. De plus, il faut noter que le styrène est inflammable, fortement cancérigène, bio-cumulable (dans une moindre mesure) et présente à ce titre des dangers pour les équipes d'intervention et de secours et demande une prise en compte de l'environnement marin et côtier menacé. C'est pourquoi, l'implication de cette substance implique des stratégies de réponse variées, qui dépendent non seulement de son état (évaporé, liquide ou solide) et doit susciter des réflexions allant des techniques de récupération au traitement des éventuels déchets, en passant par les mesures de protection des enjeux humains et environnementaux.

[38] Source : MARPOL (MARine POLlution - Programme de Nations Unis pour la Pollution Marine).

12.3. La trame principale du scénario d'exercice retenu

12.3.1. La localisation géographique

La localisation de la catastrophe a été choisie de manière à pouvoir impacter des enjeux possiblement variés. Il a notamment été question de privilégier la proximité :

- D'agglomérations côtières regroupant des enjeux humains importants,
- D'installations utilisant l'eau de mer, par exemple dans un circuit de refroidissement d'une centrale nucléaire,
- D'enjeux économiques forts (tourisme, conchyliculture, pêche, etc.),
- D'impacts médiatiques susceptibles d'être importants (festivals, etc.),
- De rails de circulation maritime dense (perturbation du trafic, risque de suraccidents, etc.),
- D'enjeux environnementaux sensibles (réserve naturelle, marais salant, estuaire, etc.).

Ainsi, la crise simulée va concerner une pollution marine en Méditerranée, au large de Marseille. Sur la base de la répartition annuelle de l'état de la mer au large des côtes de France métropolitaine et de la classification de l'état de la mer (cf. annexe XV), il a pu être remarqué que la mer y est principalement de type 3-4 (mer peu agitée à agitée). Les simulations réalisées au moyen du logiciel CLARA montrent qu'avec un vent de force 5 sur l'échelle de Beaufort (environ 40km/h), et des conditions hydrodynamiques d'un mois de décembre, une nappe de styrène arriverait sur la côte entre Marseille et Toulon en une dizaine d'heures[39].

12.3.2. Les éléments de briefing

Aujourd'hui même, le chimiquier Keysar, en provenance de Russie et à destination de Singapour (passage prévu par le canal de Suez), se trouve en avarie de machine et passe un premier message d'alerte sans respecter le protocole de communication. Le pétrolier français FR Elesias qui regagnait le port autonome de Marse (Fos sur Mer) ne tient pas compte de ce message et aborde le Keysar quelques minutes plus tard (contact en 42.81, 5.15). Le contact a eu lieu à 03h30 UMT à une vingtaine de kilomètres des côtes marseillaises provoquant une brèche immédiate dans la double coque du Keysar ce qui a entraîné dès les premières minutes un début de voie d'eau et une fuite de produit en surface. L'abordage a eu lieu au niveau du flanc bâbord du Keysar et au niveau tribord avant du FR Elesias qui a passé un premier message d'alerte à 03h35 UMT. Dans les premières heures, il fait nuit, la mer est forte et il pleut : il est impossible d'évaluer l'ampleur du déversement (Météo de départ : mer 4-5, agitée à forte, vent SW virant SSW de 40km/h). La cellule de crise est opérationnelle à 5h00[40] avec une arrivée éventuellement progressive des participants. La prévision de dérive donne les éléments suivants : nappes sur le littoral entre Marseille et Toulon en moins de

[39] Voir l'annexe XVI intitulée « simulation de la pollution marine avec le logiciel CLARA ».

[40] Simulation en temps fictif accéléré : 1 h temps réel = 2 h temps exercice.

48h. Les premières informations concernant le Keysar font été d'une cargaison de 3200 tonnes de Phenylethylene (nom évoqué par le capitaine et/ou l'affréteur) qui est l'autre nom du styrène.

S'agissant d'une pollution (de type *Erika, Prestige,* etc.) pouvant durer plusieurs jours, le Directeur des Opération de Secours sera le Préfet, et le Centre Opérationnel Départemental aura un rôle de direction du Poste de Commandement Opérationnel (cf. l'organisation du commandement en fonction de l'ampleur de la crise, p31).

12.3.3. Les évènements et les perturbations scénariques

Afin de produire des situations didactiques qui demandent aux participants de mobiliser les compétences clefs d'une gestion stratégique de la crise, une série d'évènements est suggérée aux formateurs. L'occurrence de ces évènements peut être ordonnancée à l'avance comme adaptée à tout moment par l'équipe d'animation et de supervision de l'exercice. Comme l'illustre le tableau ci-après, il n'est pas impératif qu'un couple situation-tâches complexifie l'exercice. Il peut être ajouté pour conduire les participants vers des situations didactiques destinées à faciliter la compréhension comme la gestion globale de la crise simulée.

Tableau 15 : exemple d'évènements suggérés pour le scénario de pollution marine.

Occurrence	Evènement	Description
Automatique	Couple situation-tâches (Communication de crise : autorités)	A 5h10, les autorités terrestres demandent à être tenues informées de la situation (T0+5min).
Automatique	Perturbation (Anticipation : scénarios d'évolution)	A 5h30 (T0+15min), le commandant du *Keysar* informe d'une perte de 1 000 m^3 de produit.
Automatique	Couple situation-tâches (Impacts : évaluation de l'aléa)	Un compte-rendu de survol effectué à 06h00 (T0+30min) (si la météo le permet) estime que la quantité de polluant perdue est supérieure à 1 000 m^3.
Manuelle	Perturbation (Impacts : évaluation de l'aléa)	Les passagers de l'hélicoptère ainsi que le pilote décèlent une odeur forte de produit chimique dans la cabine et rentrent immédiatement sans faire de survol de la zone.
Manuelle	Couple situation-tâches (Impacts : évaluation de l'aléa)	Le commandant du *Keysar* révise sa première estimation : finalement, il aurait perdu 2 000 m^3.
Automatique	Couple situation-tâches (Impacts : détermination des enjeux impactés)	A 6h00 (T0+30min), le *FR Elesias* passe un message d'urgence indiquant quelques cas de malaises avec nausées à bord. L'un d'eux est inconscient.
Manuelle	Perturbation (Impacts : évaluation de l'aléa)	Le *FR Elesias* passe un second message signalant un début d'incendie à bord.
Automatique	Couple situation-tâches (Impacts : préservation des enjeux menacés)	Un compte-rendu de survol effectué à 07h00 (T0+1h) (si la météo le permet) estime que la quantité de polluant perdue est ne dépasse pas 3000 m^3.
Automatique	Perturbation (Communication de crise : public)	Dès 8h00 (T0+1h30), une forte pression des associations, des pêcheurs, et des plaisanciers se fait sentir.
Manuelle	Perturbation (Gestion de la réponse : gestion des renforts)	Si l'armateur *Axu Shipping* est mis en demeure de prendre en charge le *Keysar*, alors il affrète le *Venusta* pour remorquage. Le *Venusta* n'est pas assez puissant. Il est prévu sur zone à 10h00 (T0+2h30).
Manuelle	Couple situation-tâches (Anticipation : scénarios d'évolution)	Grâce à une légère mise à la gîte du *Keysar* et à un transfert de cuve à cuve, le déversement est stoppé, sans garantie pour les heures à venir.
Manuelle	Perturbation (Equipe de gestion de crise : analyse de la situation)	Les soutes du *Keysar* et/ou *FR Elesias* fuient et une partie du diesel est rejeté (cela n'a aucun impact significatif si ce n'est de produire une information parasite).
Manuelle	Couple situation-tâches (Anticipation : scénarios d'évolution)	Mer plus calme, météo plus clémente.
Manuelle	Perturbation (Gestion de la réponse : gestion des renforts)	Les Italiens réagissent spontanément en proposant assistance (épandage de dispersant).
Manuelle	Couple situation-tâches (Gestion de la réponse : gestion des renforts)	La raffinerie Total de Fos propose spontanément son aide en déclenchant son dispositif FOST de mise à disposition de moyen de dépollution.
Manuelle	Perturbation (Gestion de la réponse : retour à la normale)	La voie d'eau s'amplifie entrainant le naufrage du Keysar (la dispersion de polluant se poursuit avec une remontée en surface.
Automatique	Couple situation-tâches (Communication de crise : public)	Festival de Cannes si scénario joué au mois de Mai.
Manuelle	Perturbation (Equipe de gestion de crise : moyens matériels)	Les points d'entrée téléphoniques sont saturés.

La figure suivante donne un exemple de l'état initial de trois des neuf sous-systèmes au début du scénario de crise simulée.

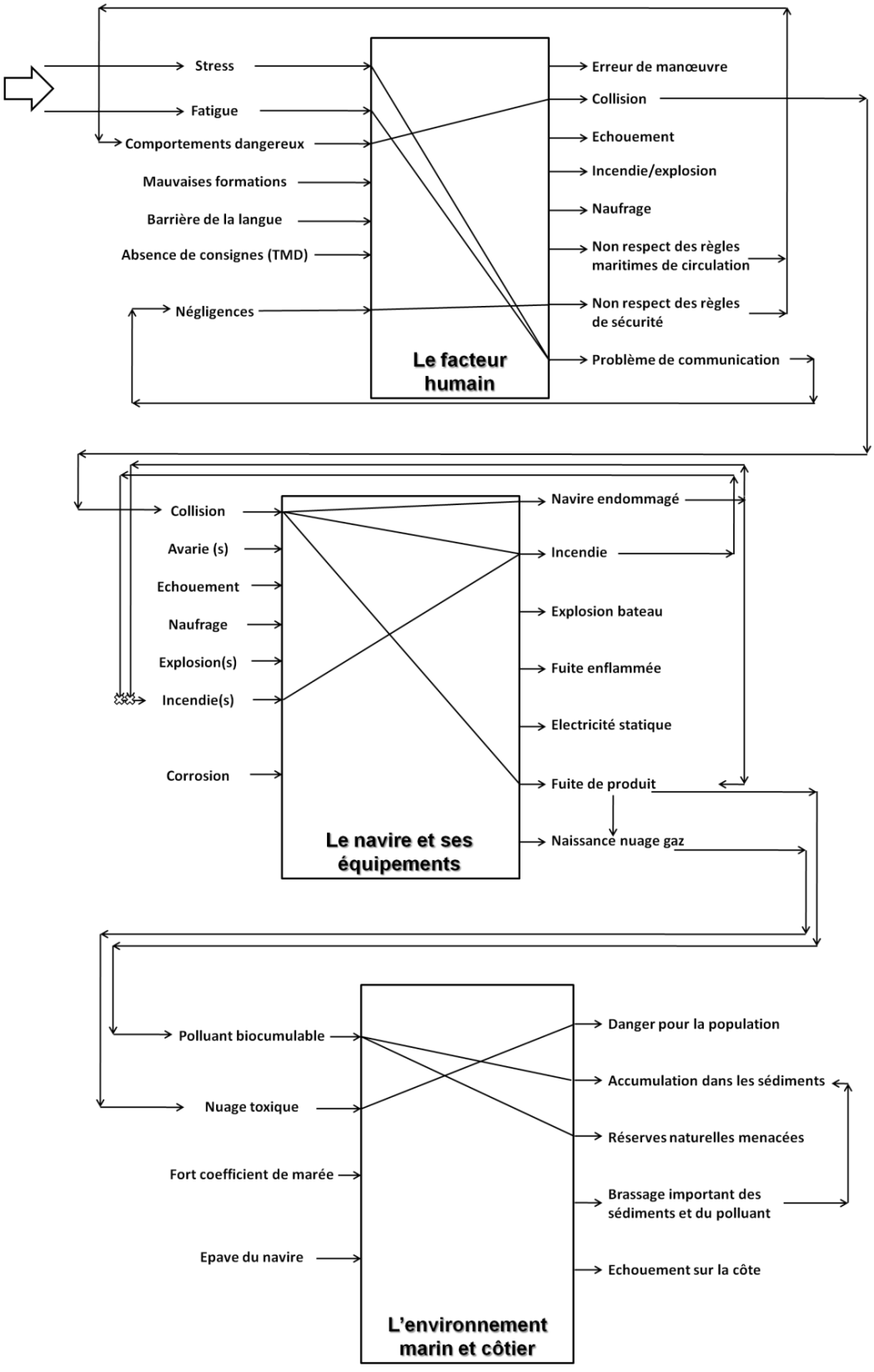


Figure 107 : exemple d'états de trois sous-systèmes liés à une catastrophe maritime simulée.

12.3.4. Principales stratégies attendues des participants

Compte tenu des premiers évènements jalonnant le scénario de base, il est attendu des participants les actions minimales suivantes :

- Prendre conscience du fait que le Venusta ne fait pas l'affaire et faire relayer très vite par un remorqueur français idoine.
- Procéder à l'épandage de dispersant avec les capacités aériennes des Italiens, seuls capables d'être sur zone rapidement, puis avec moyens nautiques de Marseille voire de Total (dispositif FOST).
- Préparer les moyens de récupération pour ce qui ne sera pas dispersé.
- Trouver un port d'accueil ou une zone d'accueil (port de Canne pas possible cause trop faible tirant d'eau). Restent rade de Toulon ou port de Marseille.
- Anticiper sur les jours à venir : risques de nouveau déversements en zone refuge, devenir du produit (styrène polymérisé) échoué sur les plages (cf. annexe XVI : simulation de la pollution marine avec le logiciel CLARA).
- Tenir informées les autorités terrestres, voire échanger avec les officiers de liaison.
- Faire des communiqués de presse, voire organiser une interview (la cellule d'animation joue la presse).

Le synoptique de la figure suivante est une indication de la convergence souhaitée du scénario vers une sortie maitrisée de la phase aigüe de la crise simulée. Ce schéma intègre ainsi les évènements majeurs rythmant le scénario de base.

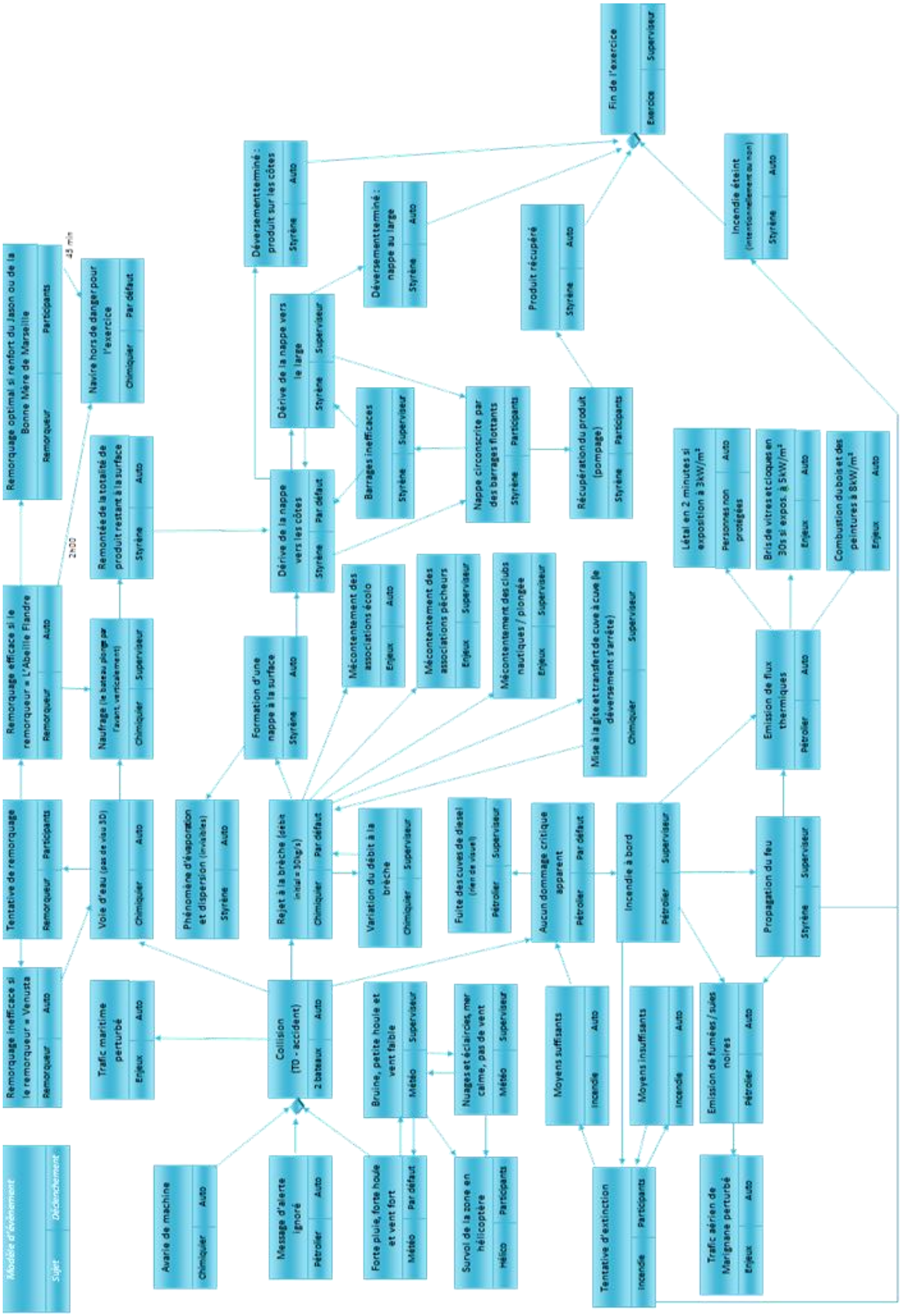


Figure 108 : le synoptique de base du scénario de pollution marine retenu.

12.4. Caractérisation des acteurs impliqués : des agents aux formateurs

12.4.1. Les agents

La méthode utilisée pour représenter informatiquement les agents s'apparente à un diagramme de classe destiné à répertorier l'ensemble des agents intervenant dans le scénario, chaque agent étant caractérisé par sa classe. Chacune de ces dernières inclut des propriétés, des missions et des moyens. Les interactions entre les agents sont identifiables au moyen de mots-clés (soulignés dans chacune des classes). Plusieurs héritages entre agents ont été définis afin de créer des classes dérivées partageant les mêmes missions et moyens que les classes parents. Sont notamment concernés des équipages, les remorqueurs, les enjeux démographiques, écologiques et économiques. En ce qui concerne certains matériels d'intervention (les barrages flottants par exemple) ou certains éléments équivalents entre eux (hélicoptères, ports maritimes, etc.) pour lesquels seules certaines propriétés diffèrent, l'emploi de bases de données a été privilégié. La liste des types d'agents implémentée est la suivante :

- Pétrolier,
- Chimiquier,
- Dispersant,
- Bateau Pompe,
- Styrène et Styrène polymérisé,
- Nappe de polluant,
- Nuage (évaporation ou dispersion),
- Capitaine,
- Conditions hydrodynamiques et météorologiques,
- Diesel,
- Incendie,
- Lieu de refuge, dont les ports font partie (cf. base de données),
- Déchets,
- Population,
- Avion Douane / Polmar,
- Hélicoptère (cf. base de données),
- Patrouilleur,
- Remorqueur, distinguant principalement l'Abeille Flandre, le Venusta, le Jason, et la Bonne Mère de Marseille,.
- Equipage, en distinguant le pétrolier, le chimiquier, les remorqueurs et les bateaux pompes du fait des différences de missions et de comportements attendus de chacun d'eux.
- Enjeu humain regroupant les habitants des villes côtières, les usagers des voies de communication et les résidents des établissements de tourisme (camping, etc.).
- Enjeu matériel d'intérêt économique (activités de pêche et de tourisme principalement)
- Enjeu environnemental d'intérêt écologique, concernant principalement les zones protégées, les plages, et les forêts littorales.

- Barrage flottant dont le déploiement peut avoir un effet de mitigation.

Il est possible de se rendre compte qu'un niveau de détail intermédiaire a été privilégié afin de simuler chaque acteur clef sans pour autant descendre à au niveau individuel opérationnel. Plusieurs agents vont être présentés et situés au sein du périmètre dressé par le synoptique du scénario de pollution marine (cf. annexe XVII pour en consulter la liste exhaustive). La figure de la page suivante montre les deux premiers agents initiateurs de la catastrophe simulée : le pétrolier et le chimiquier. Les principaux comportements préprogrammés ont été mis en place afin de garantir que la collision ait lieu à chaque fois que le scénario de crise est entamé. Cet évènement premier génère par la suite une série d'interactions avec les autres agents (mots clefs soulignés). Certains comportements sont implémentés dans ces agents sans pour autant être chronologiquement ordonnancés : leur activation dépend des actions menées ou non par les participants, et des influences pédagogiques des formateurs. La liste des interactions identifiées entre les agents dédiés à la simulation de ce scénario figure en annexes (cf. annexe XVIII).

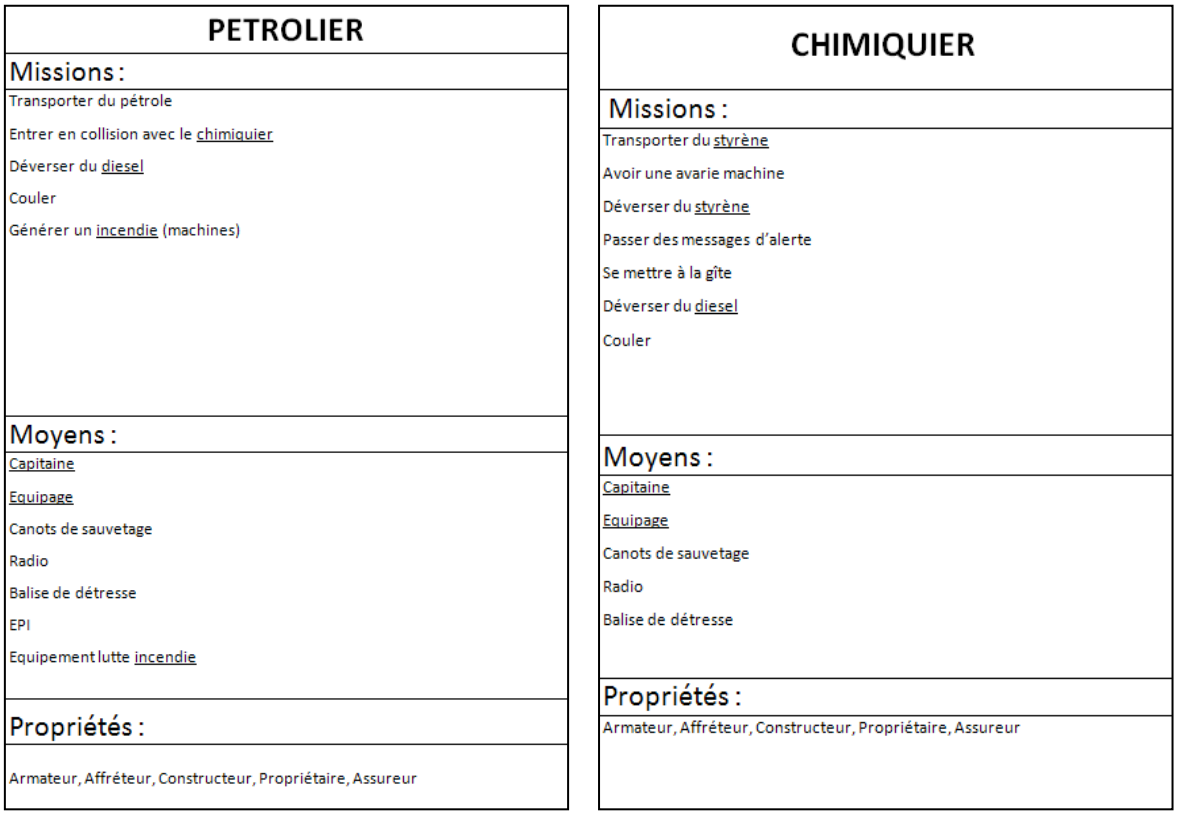


Figure 109 : les agents chimiquier et pétrolier impliqués dans la pollution marine.

Le prochain exemple concerne l'avion Polmar de la Douane et les déchets participant à la pollution. Ces agents peuvent être considérés comme intermédiaires car ils ne sont pas impératifs au déroulement du scénario dans sa trame de base. En revanche, leur présence participe à la crédibilité du scénario comme au réalisme de la simulation virtuelle : les déchets contribuent à la pollution maritime et côtière dès lors que les stratégies adoptées ne sont pas adéquates.

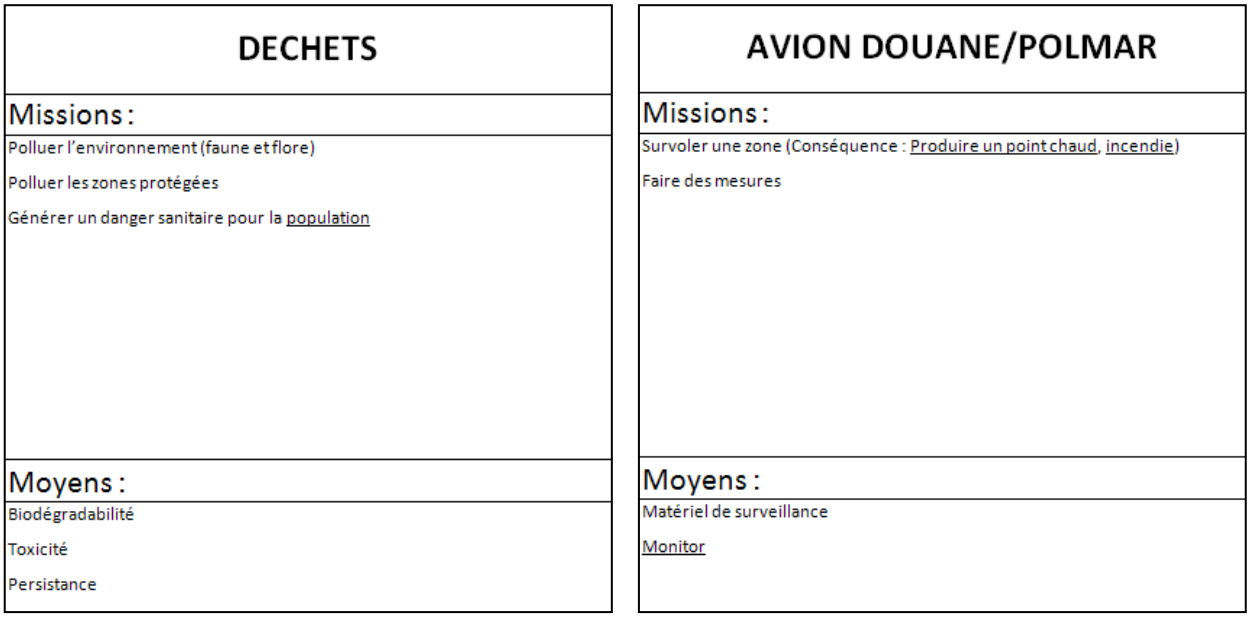


Figure 110 : les agents avion de la douane et déchets.

Une attention particulière est enfin portée sur la généricité des agents, comme en témoigne l'agent incendie de la figure ci-dessous. Utilisé pour simuler un feu de nappe, il a pour vocation d'être facilement réutilisable (sous couvert d'un modèle approprié) pour simuler un tout autre type d'incendie, comme un feu de citerne par exemple (cf. chapitre suivant).

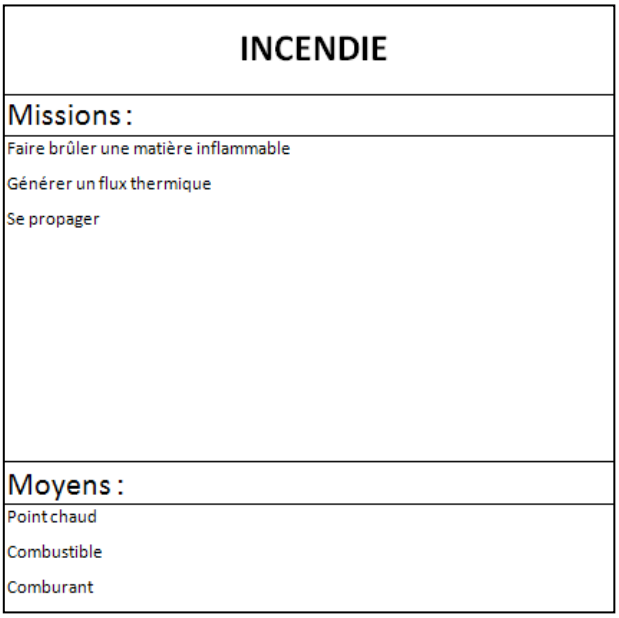


Figure 111 : l'agent incendie.

12.4.2. Fiches formateurs

Il est nécessaire de rappeler que les décisions prises par la cellule de crise – et donc la manière dont la crise sera gérée – dépendent directement de la nature des interactions qu'elle aura avec l'extérieur, et que de ces décisions découlent l'évolution du scénario.

Dix-sept fiches d'animation ont été créées puis informatisées dans SimulCrise. Elles correspondent à tous les acteurs susceptibles de participer à la crise simulée, et sont destinées aux formateurs assurant le rôle de ces acteurs[41]. Pour chaque rôle, des avatars sont par ailleurs implémentés sous forme d'agents[42] afin de permettre les interactions[43] entre les formateurs et le système multi-agents Asymut Les rôles implémentés sont les suivants :

- L'armateur Axu Shipping (entité fictive),
- Le CEM, pour Collectif des Ecologistes Militants (entité fictive),
- La Direction Départementale des Territoires et de la Mer,
- Les Douanes,
- Les responsables du dispositif FOST (Fast Oil Spill Team),
- La gendarmerie maritime,
- Le groupement des plaisanciers du dimanche (entité fictive),
- La Guardia Costiera,
- La pêche marseillaise (entité fictive),
- La Marine Nationale,
- Les marins-pompiers,
- L'organisme d'information Médiactu (entité fictive),
- Météo France,
- Les ports,
- Le Service Départemental d'Incendie et de Secours,
- La Sécurité Civile,
- La Société Nationale de Sauvetage en Mer.

Des principaux modèles d'interaction entre les formateurs et las participants ont ensuite été identifiés et intégrés dans les fiches. Comme la figure suivante en témoigne, Météo France peut à tout moment être contactée au sujet des dernières prévisions météorologiques.

[41] Cf. annexe XIX : exemples de fiches informatisées d'aide à l'animation.
[42] Cf. annexe XX : avatars des formateurs dans le scénario de pollution marine.
[43] Cf. annexe XVIII : principales interactions des agents pour la pollution marine.

METEO FRANCE
Missions :
Surveiller et prévoir la météo Suivre l'évolution du nuage toxique Informer la cellule de crise
Moyens :
Instruments de météorologie Images satellites Modèles mathématiques
Propriétés :
Localisation : Aix en Provence

Pouvez-vous nous donner des informations sur la météo ?

- Oui, je vous envoie le bulletin de ce matin et les prévisionnelles. (*réponse très coopérative*)

  ENVOYER : Bulletin Météo

- Oui, mais attention, l'un indice de confiance n'est que de 1, sur une échelle allant de 1 à 5 (5 étant le plus fort). Je ne peux donc pas vous assurez que les prévisions que je vais vous communiquer soient vraiment pertinentes et que vous puissiez vous baser dessus pour votre problème. (*réponse coopérative*)

  ENVOYER : Bulletin Météo

  Non, nous ne sommes pas en mesure de vous répondre. (*réponse non coopérative*)

Pouvez-vous nous donner les indications sur l'évolution du nuage toxique ?

- Oui, je vous envoie l'image satellite avec les coordonnées et les prévisions. (*réponse complète*)

  ENVOYER : Image satellite/coordonnées/prévisions

- Oui, nos modèles de prévision sont en cours. Nous vous envoyons les images satellites dès que possible. Rappelez dans une petite heure. *(Réponse en différée)*

  ENVOYER : Image satellite/coordonnées/prévisions

- Vous êtes au service courrier, je n'ai pas cette information. Je vais vous passez l'accueil…elle pourra peut être vous aider… *(On supposera que l'Accueil sonne dans le vide…plusieurs appels sont nécessaires pour la joindre).*

Figure 112 : avatar et extrait de la fiche Météo France dans le scénario de pollution marine.

Certains choix des participants vont ainsi être transmis à Asymut, et peuvent entraîner la création de nouveaux évènements qui sont alors rendus automatiquement perceptibles à l'équipe de gestion de crise : il peut s'agit d'une simple donnée comme d'une information plus complexe (cf. annexe XXI : cartographies, leaflets et articles de presse simulés). Pour ce faire, une première base documentaire (dont un extrait est présenté dans la figure qui suit) a été constituée afin de contribuer au réalisme de la simulation.

Figure 113 : exemples d'articles internet fictifs dépendant des décisions des participants.

Afin de mettre les élèves face à des situations qui ne sont pas prédéfinies du début à la fin de l'exercice, différentes possibilités de réponses à ces questions ont été également imaginées. Celles-ci permettent aux

formateurs d'être plus ou moins coopératifs avec la cellule de crise. En effet, dans les situations réelles, les informations n'arrivent pas toutes dès que la cellule les demande, et cette dernière doit parfois se passer de l'aide de certains organismes, ou encore d'information qui pourrait lui être précieuse.

L'utilisation de ces différents degrés de coopération permet donc à la fois de se rapprocher un peu plus de la réalité, de faciliter ou au contraire de compliquer la tâche des membres de la cellule de crise, et enfin de permettre à l'exercice de ne pas être tout tracé et de pouvoir réellement évoluer en fonction de la cellule de crise.

Figure 114 : fiche d'un formateur jouant le rôle de conseil Météo France.

La localisation des moyens engageables par chaque rôle est spécifiée dans chacune des fiches. Lorsqu'aucune cardinalité n'est pas indiquée dans les moyens matériels ou humains listés au sein de ces fiches, il est considéré que ceux-ci sont illimités. Le nombre de moyens mis à disposition est à la charge du formateur assurant le rôle concerné et il est postulé qu'en cas de doute lié au réalisme de ces choix, le formateur peut demander l'aval du superviseur.

Synthèse

La méthode de génération de scénario pour la simulation de crises a permis de construire une première base en vue de réaliser un exercice de gestion de crise portant sur une catastrophe maritime, en intégrant l'analyse de retours d'expérience.

La conception du scénario de catastrophe maritime est passée par la détermination préalable de l'évènement de départ – spécifiquement choisi d'ampleur exceptionnelle – et les acteurs mobilisés lors de ce type de crises ont été dès lors identifiés.

Ces premiers éléments ont initiés une modélisation MOSAR de neuf sous-systèmes intégrant par ailleurs les composantes suivantes : les enjeux (humains, matériels et environnementaux), les moyens de secours et d'intervention, les facteurs contextuels (météorologiques, temporels, etc.) et les phénomènes dangereux identifiés.

Une analyse de plusieurs retours d'expérience a non seulement permis de formuler des conditions initiales (une localisation en Méditerranée) et un évènement déclencheur plausibles (une collision entre un chimiquier et un pétrolier), mais a aussi donné la possibilité d'identifier quelques jalons de scénario. Ces derniers ont pour objectif de garantir que la trame générale permettre que les objectifs pédagogiques puissent être évalués par la suite (ex: des conditions hydrodynamique propice à l'arrivée de la pollution sur les côtes). Des évènements ainsi que quelques perturbations scénariques sont à ce titre proposées et les principales stratégies attendues des participants sont identifiées et intégrées au sein d'un synoptiques synthétiques.

23 types d'agents sont listés et les propriétés et les méthodes principales ont été spécifiées. De la même manière, 17 fiches d'aide aux formateurs ont été établies ainsi que leurs avatars dans le système multi-agents. Les premiers éléments informationnels d'aide à l'animation ont en outre été constitués en vue de proposer une première base d'exercice compatible avec l'environnement semi-virtuel de formation mis en place.

Discussion autour de la génération d'un scénario fictif de grande ampleur

La validation de la méthodologie proposée en vue de concevoir, caractériser et animer de façon semi-automatique un scénario de crise a été réalisée au moyen d'un cas d'application portant sur une catastrophe maritime fictive. L'identification des acteurs, des enjeux et des phénomènes susceptibles d'être impliqués a permis la constitution d'un ensemble de sous-systèmes MOSAR. Chacun d'entre eux a été décrit d'un point de vue des interactions entretenues avec les autres sous-systèmes afin de structurer les règles nécessaires au réalisme des simulations. L'étude de retours d'expérience a mis en lumière des risques, des dangers et des difficultés rencontrées sur des évènements antérieurs, et a ainsi permis d'identifier une première liste d'évènements didactiques (phénomènes, couples situation-tâches et perturbations). Sur la base de ces éléments, un point de départ a été proposé et une trame synoptique globale a été suggérée aux formateurs. Les supports d'animation (fiches et documents relatifs au scénario), et les éléments de briefing ont ainsi été constitués.

Cette mise en pratique des recommandations méthodologiques formulées auparavant a mis en évidence l'intérêt pédagogique de considérer les perturbations comme contribuant au travail en conditions dégradées. De plus, il est noté que la présence de couples situation-tâches facilitant la gestion stratégique de la crise simulée peut être bénéfique bien que ne participant pas à l'approche CTT (*Critical Thinking Training*). En effet, dans la mesure où ces évènements mobilisent les compétences évaluées lors de la session de formation, ils ont alors toute leur place dans la stratégie d'apprentissage établie.

L'emploi de l'approche MOSAR permet une modélisation du système à simuler en identifiant les différentes orientations – l'ensemble des possibles – que peut prendre un scénario dont le point de départ est préalablement spécifié. De plus, cette méthode peut servir de guide pour l'implémentation des agents et constitue à ce titre un garant pertinent de qualité logicielle. Les modélisations systémiques réalisées peuvent en outre être utilisées comme support pour visualiser, à tout moment du scénario, les évènements ayant eu lieu ainsi que ceux susceptibles de se produire. Cette piste s'inscrit comme une possibilité d'aide supplémentaire à l'animation d'un exercice en permettant aux formateurs d'anticiper les évènements potentiellement simulables par Asymut.

Néanmoins, deux principales difficultés de mise en œuvre ont pu être identifiées. La première d'entre elles concerne l'affichage (grâce à MOSAR) de l'ensemble des évolutions possibles, lequel s'avère difficilement interprétable du fait du grand nombre d'évènements reliant les neuf sous-systèmes caractérisés pour le scénario de pollution marine. La seconde est liée à l'impossibilité physique de proposer à la fois une vue d'ensemble de tous les sous-systèmes (afin d'évaluer l'occurrence des futurs évènements) et une vue locale permettant de proposer une lisibilité claire et immédiate. Il en est déduit que MOSAR remplit entièrement les fonctions de modélisation d'un système à simuler mais ne fournit pas, en l'état de l'utilisation qui en a été faite, de supports visuels pérennes d'aide à l'animation d'un scénario.

Chapitre 13 : Validation de la méthodologie de simulation au moyen d'un cas de référence

« La vision du monde que chacun d'entre nous s'est constitué n'est rien d'autre qu'un modèle subjectif de connaissance, qui détermine toutes nos décisions. »

Jay W. Forrester, *Urban Dynamics*, 1969.

13.1. Présentation du cas d'étude

13.2. Définition des agents Asymut

13.3. Simulation de l'accident

13.4. Présentation et analyse des résultats

Le cas fictif qui vient d'être utilisé a permis de valider la méthode de génération semi-automatique d'un scénario à simuler par le système multi-agents. Il convient maintenant de valider la méthodologie proposée an termes de simulation multi-agents d'évènements didactiques plausibles et réalistes. Pour cela, la démarche employée va procéder à une comparaison entre un cas d'étude réel et un scénario simulé. Le cas d'étude – appelé à partir de maintenant scénario de référence – va être décrit au moyen d'un retour d'expérience permettant de décomposer l'accident en évènements clefs. Le scénario simulé va quant à lui intégrer ces évènements comme des jalons voués à valider la méthodologie dont est issu du système multi-agents (Asymut).

L'idée est alors de comparer l'évolution de la crise simulée par Asymut avec la crise réelle, et de contrôler en particulier que la simulation aboutisse à un état final analogue au cas d'étude (notamment d'un point de vue temporel). Il est à noter que l'évènement réel qui va être utilisé a été choisi pour son aspect localisé et ses conséquences limitées, afin de maitriser les interactions mises en jeu.

13.1. Présentation du cas d'étude

13.1.1. Accident de Transport de Matières Dangereuses sur l'A9 - Avril 2001

Vers 21h00 sur l'A9, un camion-citerne espagnol transportant du glycol (substance peu toxique, peu inflammable et peu explosive) quitte la chaussée[44] pour une raison indéterminée. Cet accident de la route se produit dans le sens Montpellier-Nîmes, non loin de l'usine Syngenta et dans une zone urbanisée. L'établissement Syngenta d'Aigues-Vives est une usine de formulation de produits phytosanitaires et de conditionnement d'herbicides, fongicides et insecticides sous forme liquide. Il s'agit d'un site industriel classé SEVESO AS[45]. Dans l'accident, le camion-citerne se renverse et prend feu, rendant impossible la lecture de la plaque d'identification de la matière dangereuse transportée. Bien que le feu soit maitrisé puis éteint vers 23h00, une fuite est identifiée en direction du cours d'eau (affluent du Vistre). La source Perrier se situe à une dizaine de kilomètres en aval (Vergèze). Plusieurs protections sont mises en place (barrages) et l'opération est stabilisée vers minuit. Une analyse des eaux du cours d'eau est réalisée et le dépotage de la citerne a lieu au petit matin.

D'un point de vue des conséquences, aucune perte humaine n'a été à déplorer, et les analyses réalisées n'ont pas mis en évidence de risques sanitaires particuliers de l'affluent. Les modélisations réalisées a posteriori ont permis de mettre en évidence qu'en l'absence de toute action de lutte contre l'incendie, ce dernier ce serait spontanément éteint en un peu plus de 4 heures[46], soit vers 1h00 du matin, faute de combustible. L'incendie ayant été éteint en 2 heures, il peut être postulé que les moyens d'intervention engagés ont permis une gestion du sinistre dans de bonnes conditions.

[44] Sur une zone de travaux, dans la partie de circulation alternée.
[45] Soumise à autorisation avec servitude d'utilité publique.
[46] Calculs réalisés au moyen du logiciel OSIRIS (Outil de SImulation des RISques – Ecole des Mines d'Alès).

13.1.2. Formulation des contraintes de la simulation multi-agents

Sur la base du retour d'expérience de cet accident ainsi que d'une enquête réalisée auprès des intervenants mobilisés dans la gestion de cet évènement [Blanchard, 2007], une reconstitution des actions tactiques et opérationnelles réellement menées sur le sinistre a pu être réalisée. Un détail de ces opérations est présenté en annexes (cf. annexe VIII : actions tactiques et opérationnelles de l'accident TMD-A9). Il est relevé que les différents acteurs impliqués dans la gestion de l'évènement ont contribué à guider le COD vers des réflexions sur les thématiques permettant d'élaborer la stratégie générale d'intervention et sa mise en œuvre à travers la détermination des objectifs tactiques. Il a notamment été question de missions portant sur :

- Le recueil et le traitement de l'information,
- L'aide à la décision (évaluation des risques, des effets, modélisations physiques, etc.),
- La coordination des opérations de secours,
- La diffusion des ordres et la réception des comptes-rendus,
- L'émission de synthèse à destination des autorités zonales et gouvernementales,
- L'information des élus, la communication à destination des médias et du public.

En termes de simulation par le système multi-agents, il s'agit principalement de messages appelant à la protection des populations, à l'analyse des risques encourus, à l'évaluation des effets avérés et potentiels, à l'évaluation du risque de pollution, à la diffusion de l'information ainsi qu'à l'établissement de contre-mesures de lutte contre le sinistre.

D'un point de vue de la répartition des acteurs (participants, formateurs, agents), l'évènement déclencheur désigne une organisation précise au sein de l'environnement semi-virtuel de formation. En effet, s'agissant d'un accident localisé de transport routier de matières dangereuses, le Directeur des Opération de Secours est le Préfet, et la posture du Centre Opérationnel Départemental vient en appui du Poste de Commandement Opérationnel (cf. tableau 17, p272). Les participants auraient ainsi à assurer les rôles des acteurs stratégiques de la gestion de crise, à savoir : le Préfet (le DOS) et son outil d'aide à la décision (le COD).

Dans sa mission, le COD collaborerait avec des acteurs détachés tels que des bureaux d'expertise ou bureaux d'études, qui seraient aussi joués par les participants (cf. annexe IX sur les rôles des participants dans l'exercice TMD sur l'A9). L'objectif serait ainsi d'élaborer la stratégie générale d'intervention et sa mise en œuvre à travers la détermination des objectifs tactiques. Une équipe d'animation aurait en charge de transmettre les tactiques définies au système multi-agents, ainsi que d'effectuer les remontées d'informations relatives à l'évolution de la situation, à l'avancement de la réalisation des missions, aux conséquences des décisions prises (cf. annexe X : rôles des formateurs dans l'exercice TMD sur l'A9). Pour ce faire, les formateurs possèderaient leurs propres avatars au sein du système multi-agents qui regrouperait en outre l'ensemble des acteurs terrain.

Il convient de ce fait de se concentrer sur les agents devant être implémentés dans Asymut ainsi que sur les interactions qui vont être entretenues par ceux-ci. A ce sujet, une parenthèse peut être faite sur les délais d'entrée des agents dans le système (arrivée des renforts par exemple) lesquels n'ont pas pu être recueillis. Pour ce faire, des temps d'arrivée théoriques vont être utilisés pour des moyens en provenance des Centres

de Secours (CS) ou des Centres de Secours Principaux (CSP) situés aux alentours, ainsi que rallongés de 20% pour tenir compte de la difficulté d'approche tant que la zone est embouteillée :

- CSP Nîmes (25min théoriques, 30min si embouteillage),
- CS Marguerittes (23min théoriques, 28min si embouteillage),
- CS Vergèze (10min théoriques, 12min si embouteillage),
- CS Sommières (20min théoriques, 24min si embouteillage),
- CS Saint Geniès-de-Malgoires (36min théoriques, 43min si embouteillage).

Il convient ensuite de rappeler que le comportement des agents informatiques décrit leur capacité à échanger des messages qui décrivent la transmission des ordres dans la chaine de commandement, leur interprétation en termes de méthode de raisonnement tactique (MRT), leurs conséquences sur le système et la remontée d'information vers la cellule de crise stratégique. Les moyens de secours sont organisés selon une structure hiérarchique dont le sommet correspond au Commandant des Opérations de Secours (COS) dont les subordonnés sont les chefs de chaque secteur d'intervention.

Afin de limiter le nombre de types d'agents à implémenter, une sectorisation fonctionnelle des moyens engagés est réalisée (cf. annexe VIII : actions tactiques et opérationnelles de l'accident TMD-A9). Une sectorisation géographique reviendrait en effet à dupliquer les agents définis et à leur affecter des missions ayant une portée géographique précise. A titre d'exemple, les fonctions retenues pour la conception du modèle des intervenants appartenant au SDIS sont liées aux réponses opérationnelles déployées lors de ce type d'intervention, à savoir : la gestion de l'incendie, le secours à victimes, le risque chimique, et de la dépollution de l'affluent du Vistre principalement. Pour chaque secteur d'intervention, l'organisation est structurée en colonnes, puis en groupes d'engins de secours, selon l'effectif déclenché par le CODIS. Les agrès dont le personnel peut effectuer des missions distinctes sont détaillés à l'échelle du binôme. En d'autres termes, un agrès est composé d'un chef d'agrès et de binômes d'intervention ; un groupe est composé de deux à quatre agrès, et une colonne est composée de deux à quatre groupes. Les chefs de groupe et les chefs de colonne ont quant à eux comme principales missions d'agir ou de réagir, et de rendre compte (le raisonnement tactique se traduit par un ordre initial aux subordonnés et un compte-rendu rapide au supérieur hiérarchique immédiat).

Après analyse des enjeux, des acteurs et des phénomènes impliqués, il est postulé que certains agents peuvent être émulés de manière strictement réactive (cf. §13.2.2, p264). Par ailleurs, certaines missions clefs étant assurées par des actions collectives, il est choisi de globaliser certains groupes d'intervention au sein d'agents unitaires.

Par exemple, le niveau de détail retenu a pour objectif de caractériser les véhicules de secours dès lors considérés comme assurant les missions des personnels transportés : les missions d'un binôme d'extinction vont à ce titre être implicitement émulées par le Fourgon Pompe Tonne (FPT) auquel ils sont affectés. De la même manière, le rôle d'Officier de Garde Départemental (ODG) est intégré dans l'agent Poste de Commandement Opérationnel (PCO) en intimant que ces approximations ne vont pas induire de biais significatifs dans la simulation.

Enfin, après étude des actions tactiques et opérationnelles menées lors de l'accident TMD-A9 (cf. annexe VIII), il est retenu de ne pas tenir compte de quatre moyens (humains ou matériels) réellement déployés :

- Le Véhicule Poste de Commandement (VPC). Compte tenu du fait qu'il a pour principale mission d'assurer la liaison entre les véhicules intervenants et la base de commandement, son rôle dans Asymut tiendrait uniquement de l'échange et de la transmission d'informations opérationnelles. L'intégrer ne ferait ainsi qu'augmenter le volume des messages échangés entre les agents sans pour autant apporter une plus-value à la simulation globale du scénario.
- Le Chef De Groupe (CDG). Il s'agit d'un responsable de l'engagement d'engins chargés d'effectuer une action opérationnelle. Il est intimé que la fonction de coordination qu'il assure peut être déléguée aux agents simulant le comportement des engins, lesquels vont ainsi s'auto-organiser sans pour autant induire d'écarts significatifs.
- Le Véhicule Radio-Médicalisé (VRM). Il est là-encore postulé, que les fonctions de communication assurées peuvent être déportées au sein même de chaque agent ayant besoin d'échanger des informations.
- Le Fourgon de Secours Routier (FSR), qui est essentiellement intervenu pour le balisage de la zone. Cet agent potentiel est toutefois écarté du fait de l'absence d'interactions directes entretenues avec les enjeux, les acteurs ou les phénomènes impliqués.

Avant de définir les éléments réactifs et archétypiques nécessaires afin de procéder à la validation de la méthodologie proposée, il convient en premier lieu de caractériser les agents généraux permettant de calibrer les paramètres de simulation d'Asymut.

13.2. Définition des agents Asymut

13.2.1. Caractérisation des agents généraux

La première étape de spécification des agents en charge du bon fonctionnement global du système multi-agents consiste en l'implémentation de la hiérarchie d'agents précédemment proposée (cf. figure 39, p157). Il convient en outre de mettre en place un contrôleur dédié au réglage de la vitesse de simulation. Puis, deux liaisons informatiques doivent être anticipées, permettant pour la première de rendre accessibles les agents d'Asymut aux interfaces SimulCrise d'aide à l'animation.

La seconde est quant à elle affectée au pilotage de la simulation virtuelle 3D. Il est à noter que cette dernière n'est pas impérative pour valider la méthode de simulation multi-agents bien qu'elle permette de traduire visuellement les comportements adoptés par les entités émulées. Un agent relatif au déroulement du scénario est ensuite indispensable afin de tracer les évènements clefs qui vont être simulés par Asymut puis comparés avec le retour d'expérience de l'accident réel. Enfin, une dernière classe d'agent va être implémentée afin de visualiser ces mêmes évènements en temps réel, sous la forme de fenêtres éphémères (*pop-up* en anglais).

Les huit classes requises afin de procéder à la première étape de validation sont ainsi les suivantes, et concernent respectivement :

- Les agents abstraits (A_Abstract_Agent.java). Cette classe permet à tout agent qui en dérive de créer un autre agent si besoin. Par exemple, un agent « incendie » peut ainsi faire naître un nouvel agent « fumées » (cf. figure 31, p142). Cette classe implémente par ailleurs des comportements dédiés à la réception comme à l'émission de messages exprimés dans un format d'échange unifié (XML).
- Les agents géolocalisés (A_Spatial_Agent.java). Ces derniers intègrent un positionnement spatial (x, y, z) ainsi qu'une gestion des distances, des temps de parcours, et des déplacements.
- Les agents archétypiques (A_ArchetypicAgent.java). Il s'agit dans un premier temps d'implémenter les désirs des agents, c'est-à-dire les buts recherchés et les missions à assurer. Il est ensuite nécessaire de structurer les croyances des agents, en présumant de l'adéquation des actions réalisées avec leurs désirs. Puis, il fut inclure les intentions, par une priorisation des comportements qui sont activés. Enfin, les agents archétypiques intègrent des caractéristiques ainsi que des aptitudes qui vont définir la réussite ou l'échec de chaque tentative d'action.
- Un gestionnaire de temps pour la simulation (A_Horloge.java). Destiné à caler la vitesse de simulation sur une vitesse réaliste, la vocation de cet élément est par ailleurs de procéder si besoin a des accélérations (Fast Time Simulation) comme à des ralentissements (Slow Time Simulation).
- Une liaison informatique entre Asymut et les outils SimulCrise d'aide à l'animation (A_ConnexionSimulCrise.java). Cet agent a pour objet de contenir une connexion par socket[47] pour rendre possible le pilotage du système multi-agents par l'équipe d'animation et de supervision.
- Une liaison informatique entre Asymut et la simulation virtuelle (A_ConnexionSimu3D). Reposant sur la même technique que la liaison précédente, il est ici question qu'Asymut puisse gérer le rendu 3D proposé ainsi que son actualisation.
- Un gestionnaire de scénario de crise (A_Scenario.java). Il est proposé que cet agent soit pourvu de fonctions permettant l'initialisation, la gestion et la sauvegarde du scénario de crise.
- Un système de remontée d'informations tactiques à la cellule de crise (A_PopUp.java).

Une parenthèse peut être faite concernant le système de communication dont plusieurs langages spécialisés ont vu le jour (KQML, etc.). Le standard FIPA-ACL repose en particulier sur la théorie des actes de langage – les performatives – qui vont être utilisés afin de prioriser les comportements des agents à implémenter.

13.2.2. Définition des agents réactifs du scénario

Il convient de rappeler que les agents réactifs ne disposent que de comportements liés à leurs accointances et n'effectuent à ce titre aucun raisonnement. L'ensemble de ces agents forment l'environnement physique et

[47] Un socket est un objet de communication par lequel une application envoie ou reçoit des paquets des données à travers un réseau.

leurs interactions décrivent par exemple le comportement des enjeux, la dynamique des phénomènes dangereux, comme l'impact des paramètres météorologiques.

Les facteurs qui les distinguent sont essentiellement liés à leurs capacités de mobilité et à leur sensibilité face aux phénomènes dangereux qui vont entrainer l'émission de fumées et de flux thermiques (incendie) et un risque de pollution de l'affluent du Vistre (fuite de glycol et écoulement des eaux d'extinction). Après analyse des éléments ayant participé à l'évènement de référence, les 10 types d'agents réactifs suivants sont caractérisés :

- Personne en attente de secours (A_Victime.java). Dans le scénario, ce type d'enjeux humains caractérise le chauffeur inconscient du TMD ainsi qu'un automobiliste légèrement blessé (cf. annexe VIII).
- Conditions météorologiques (A_Meteo.java). Sa mission est de propager au sein d'Asymut des messages réguliers relatifs au temps, au moment de la journée ou de la nuit, à la température, au vent, etc.
- A9 (A_Autoroute9.java), permet de gérer le débit de véhicules sur l'autoroute, en particulier sur la voie non-impactée par l'accident de TMD.
- Camion-citerne accidenté (A_Citerne.java). Il s'agit du poids-lourd TMD immobilisé en travers de l'autoroute. Considéré comme un stockage de produit, il est susceptible de faire naître tout phénomène compatible avec les caractéristiques de ce dernier.
- Fuite de glycol (A_Nappe.java). Phénomène dont l'évolution dépend de modèles (cf. figure 31 pour consulter la hiérarchie proposée pour les phénomènes, p142). Ce type d'agent est en lien avec une base de données permettant de connaître les propriétés physico-chimiques et toxicologiques du produit mis en jeu.
- Cours d'eau menacé de pollution (A_PollutionAquatique.java). Il est ici question de modéliser la dispersion (cf. figure 31, p142) du glycol rejeté ainsi que des eaux d'extinction dans le cours d'eau (affluent du Vistre).
- Incendie (A_Incendie.java). Cette classe a pour vocation de créer deux agents de ce type. Le premier est relatif à l'incendie de la citerne, tandis que le second doit simuler le feu de la nappe de glycol (cf. figure 31, p142). Il s'agit en outre d'un agent susceptible d'être fortement sollicité par les agents archétypiques ayant pour mission de le combattre.
- Emission de fumées (A_Fumees.java). Type de dispersion atmosphérique prenant la forme d'un panache (cf. phénomène appelé « nuage » sur la figure 31, p142).
- Poste de Commandement Gendarmerie (A_PCGendarmerie.java). Chargé de faire des remontées d'informations du terrain à intervalles réguliers ou lorsque l'évolution de la situation le nécessite, ce type d'agent a essentiellement pour but de coordonner les forces de l'ordre dépêchées sur les lieux de l'accident.
- Poste de Commandement Pompier (A_PCPompier.java). Chargé d'identifier les problèmes ou les besoins rencontrés et d'en informer le PCO (agent archétypique détaillé ci-après), ce type d'agent est aussi responsable de l'application des ordres et consignes en provenance de l'échelon tactique.

L'implémentation des agents réactifs précédents passe par la transcription en code source des machines à états finis relatives à leurs comportements.

Comme l'illustre la figure 115, cette transcription correspond à la création d'un graphe dont les sommets caractérisent les différents états possibles de l'agent, et dont les arcs matérialisent des passages transitionnels.

```
registerFirstState(new Demande_Information(),"Demande_Information");
registerState(new TraiterReponse(),"TraiterReponse");
registerState(new Consumation(),"Consumation");
registerState(new Extinction(),"Extinction");
registerLastState(new fin(),"fin");
registerTransition("Demande_Information","TraiterReponse",1);
registerDefaultTransition("Consumation","TraiterReponse");
registerDefaultTransition("Extinction","TraiterReponse");
registerTransition("TraiterReponse","Consumation",1);
registerTransition("TraiterReponse","Extinction",2);
registerTransition("Consumation","TraiterReponse",1);
registerTransition("Consumation","fin",2);
registerTransition("Extinction","TraiterReponse",1);
registerTransition("Extinction","fin",2);
```

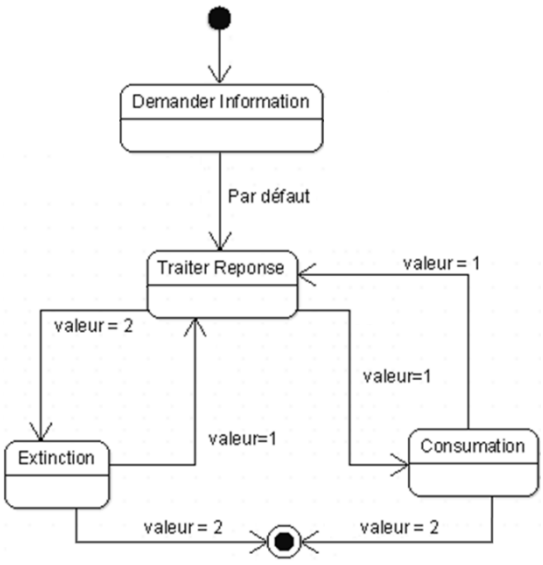


Figure 115 : machine à états finis de tout agent « Incendie ».

13.2.3. Définition des agents archétypiques du scénario

Les agents archétypiques disposent de comportements réactifs – indispensables pour s'immerger dans l'environnement physique – ainsi que de comportements cognitifs et sociaux. Le comportement cognitif d'un agent tient ici dans sa capacité à choisir les actions qu'il effectue en fonction de ses buts, de l'état perçu de l'environnement et de son contexte organisationnel. Son comportement social décrit la manière dont il interagit avec les autres membres de l'organisation pour résoudre des problèmes qu'il ne sait résoudre seul. Au sens des systèmes multi-agents, les interactions se matérialisent par l'échange de messages permettant l'actualisation des connaissances des agents et par l'affectation de missions, qui sont elles-mêmes constituées de combinaison d'éléments de comportement. De plus, toute tentative comportementale d'un agent archétypique – qu'il s'agisse d'une interaction ou d'une action – est opposable à un seuil de difficulté, pour lequel un score d'aptitude suffisant est nécessaire. Pour rappel, ce score est construit par agrégation :

- Du seuil de difficulté de l'action ou de l'interaction initiée ; laquelle est pré-calibrée à 10 dans Asymut (l'intervalle théorique de valeurs étant [0, 40]).
- Du niveau de la caractéristique sollicitée (observation, précision, constitution ou cognition), fixé à 12 d'un point de vue méthodologique, elle doit appartenir à [0, 20].
- D'un modificateur de contingence tenant compte du passif de l'agent. Initialisé à 10 en début de simulation, il peut varier entre 8 et 12 en fonction de la propension de l'agent à réussir ou échouer ses tentatives.
- D'un modificateur anthropique (cf. figure 47, p166).

Le score d'aptitude intègre ainsi la situation individuelle de l'agent (métier, grade, position sociale, etc.) détermine la façon dont les autres agents vont le percevoir (actif-passif, positif-négatif, sympathique-antipathique, etc.) et par voie de conséquence sa position au sein du groupe (intégré-isolé, décideur-dévoué, etc.). Ainsi, sur la base des éléments ayant caractérisé l'évènement de référence, les huit types d'agents archétypiques suivants sont identifiés :

- Véhicules bloqués entre le péage et l'accident (A_Embouteillage.java),
- Gendarmerie Nationale (A_BrigadeMobile.java),
- Camion-Citerne Grande Capacité (A_CCGC.java),
- Cellule Mobile d'Intervention pour les risques Chimiques (A_CMIC.java),
- Personnel de la Direction Départementale des Territoires (A_DDT.java),
- Fourgon Pompe Tonne (A_FPT.java),
- Véhicule de Secours et d'Assistance aux Victimes (A_VSAV.java),
- Poste de Commandement Opérationnel (A_PCO.java).

Le tableau 16 suivant liste les aptitudes retenues pour chacun de ces huit types d'agents.

Tableau 16 : aptitudes des agents archétypiques du scénario TMD-A9.

Agents archétypiques	Aptitudes	Description dans TMD-A9
Véhicules embouteillés (A_Embouteillage.java).	Alerte (Précision)	Capacité à prévenir les secours.
Gendarmerie Nationale (A_BrigadeMobile.java)	Rétablissement de l'ordre (Cognition)	Capacité à déterminer un point d'évacuation pertinent des automobilistes (embouteillage).
	Maintien de l'ordre (Constitution)	Capacité à orienter le flux routier sur un itinéraire bis.
Camion-Citerne Grande Capacité (A_CCGC.java)	Evaluation des besoins en eau (Précision)	Capacité à évaluer quel FPT va avoir le plus besoin d'eau à courte échéance.
	Alimentation (Constitution)	Capacité à alimenter un FPT sans encombre.
	Ravitaillement (Constitution)	Capacité à remplir sa cuve dans des délais les plus brefs possibles.
Cellule Mobile d'Intervention pour les risques Chimiques (A_CMIC.java)	Reconnaissance (Observation)	Capacité à réaliser un diagnostic exhaustif de la zone sinistrée.
	Anticipation des risques et des dangers (Cognition)	Capacité à anticiper les risques localisés (de suraccidents, d'effets domino, de pollution, etc.) et d'en informer les autres.
	Mesure (Précision)	Capacité à mesurer des concentrations atmosphériques ou aquatiques, des flux thermiques, etc.
	Résistance aux phénomènes dangereux (Constitution)	Capacité à utiliser des équipements de protection (ARI, combinaisons, etc.) permettant de s'approcher des sources de danger.
Personnel de la Direction Départementale des Territoires (A_DDT.java)	Création d'une voie routière de dégagement (Constitution)	Capacité à découper une glissière de sécurité.
	Création d'itinéraires de substitution (Cognition)	Capacité à baliser des déviations.
	Sécurité routière (Précision)	Evaluation de l'adéquation entre le réseau routier et son trafic.
Fourgons Pompe Tonne (A_FPT.java)	Approche de l'incendie (Observation)	Capacité à déterminer une approche et une stratégie adéquates d'attaque du feu.
	Arrosage et extinction (Constitution)	Capacité à lutter efficacement et durablement contre un incendie.
	Demande de ravitaillement (Précision)	Capacité à anticiper un besoin en eau à plus ou moins long terme.
Véhicule de Secours et d'Assistance aux Victimes (A_VSAV.java)	Localisation des victimes (Observation)	Capacité à localiser des personnes blessées, inconscientes ou simplement en danger.
	Secours aux personnes (Cognition)	Capacité à réaliser un bilan médical, de mettre en sécurité les personnes et d'apporter les premiers secours aux victimes.
Poste de Commandement Opérationnel (A_PCO.java)	Récolter des informations tactiques (Observation)	Se tient, par exemple, en contact permanent avec la DDT par l'intermédiaire de la Préfecture.
	Affecter des moyens existants (Cognition)	Déclenche l'intervention des moyens de secours appropriés (cellule CMIC par exemple).
	Produire des remontées d'informations (Précision)	Chargé de compulser informations récoltées à intervalles réguliers ou lorsque l'évolution de la situation le nécessite.
	Formuler des demandes de renforts (Observation)	Si la réaffectation de moyens humains ou matériels disponibles n'est pas suffisante, l'agent transmet une demande de renforts.

Comme l'illustre le tableau 16 précédent, il est considéré que l'activation par le PCO de Postes de Commandement (un PC pompier par exemple) ne fait pas l'objet d'une compétence spécifique mais fait plutôt appel à la capacité de tout agent de pouvoir créer un nouvel agent dans Asymut. Autrement dit, il est postulé que cette action ne présente pas de difficulté majeure et ne peut à ce titre pas être ratée par le PCO. Conformément à la méthodologie proposée dans le cadre de ce travail, la prise de décision des agents résulte de plusieurs boucles réactives tenant compte de différents niveaux de priorité. Le fonctionnement repose de la même façon sur une approche multitâche de traitement d'une file d'attente. Chaque tâche est alors traitée par des automates fonctionnant comme des graphes d'états (cf. annexe XI portant sur la description UML des macro-comportements du scénario TMD-A9). La figure 116 illustre le comportement global d'un Camion-Citerne Grande Capacité (CCGC) composé d'états internes et de transitions priorisées lorsque cela est nécessaire. Il est possible de noter dans cet exemple que la priorité la plus élevée (valeur = 2) conduit à l'extinction de l'agent. L'idée est ici qu'un évènement interne (une panne grave, etc.) ou un phénomène externe (une onde de souffle, etc.) susceptible de nuire significativement ou totalement au fonctionnement de l'agent, devienne préemptif sur tout état en cours.

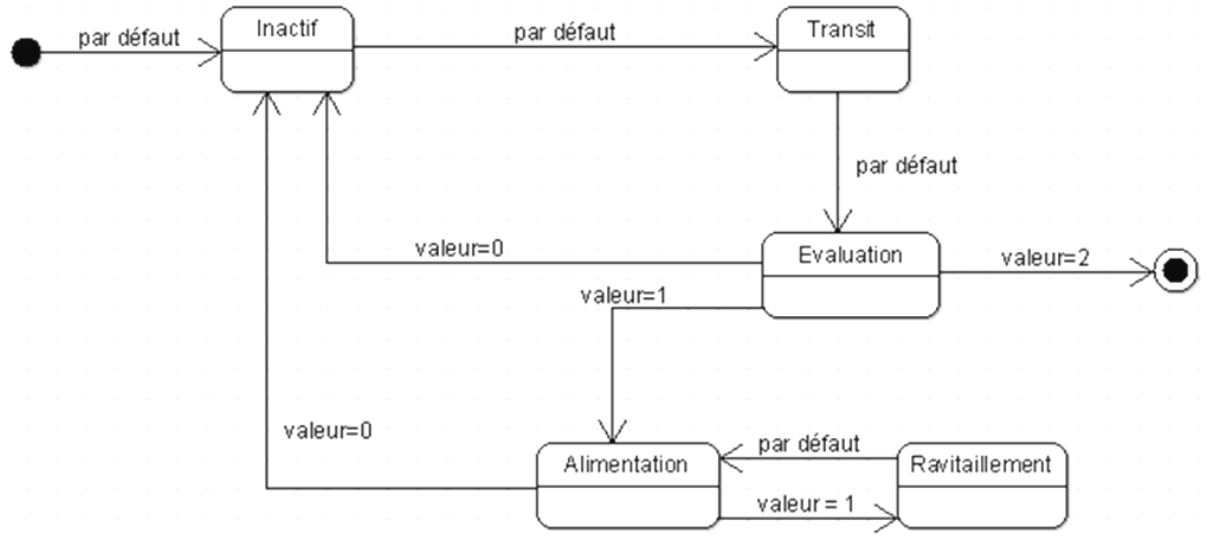


Figure 116 : machine à états finis des agents « CCGC » pour le scénario TMD-A9.

A ce stade, l'ensemble des agents généraux, réactifs et archétypiques nécessaires à la simulation du scénario d'accident de référence sont caractérisés.

13.3. Simulation de l'accident

13.3.1. Conditions de simulation

Les étapes d'identification et de caractérisation précédentes ont conduit au développement informatique des agents relatifs au scénario TMD-A9. Comme l'illustre la figure 117 suivante, Asymut est ainsi doté des premiers agents dédiés à la simulation de crise. Bien que l'entrée des agents dans le scénario soit calée sur

l'accident de référence, ce panneau de commandes permet l'ajout de manuel de tout agent implémenté dans Asymut ainsi que l'ajustement de la vitesse de simulation.

Figure 117 : première bibliothèque d'agents Asymut.

La méthodologie proposée dans le cadre de ce travail va être validée sur la base de jeux de simulation successifs. Sur la base d'un nombre significatif de simulations (1000 est une première valeur pressentie), l'objectif est de collecter un ensemble d'évènements simulables pour en mesurer les écarts temporels avec l'accident de référence. Trois critères sont retenus : le délai moyen d'occurrence de chaque évènement simulé, et les deux écarts maximum à la moyenne. Pour chaque simulation le même nombre d'agents va être mis en jeu et l'activation de ces derniers va dépendre du moment où ils sont sollicités et des temps physiques nécessaires pour qu'ils arrivent par exemple sur les lieux.

Conformément aux cardinalités issues de l'analyse des actions tactiques et opérationnelles de l'accident TMD-A9 (cf. annexe VIII), 29 agents réactifs et archétypiques vont être créés au moyen des 18 types d'agents définis. Deux agents généraux sont par ailleurs instanciés pour ordonnancer les évènements (l'horloge), et visualiser l'évolution des scénarios (la liaison entre Asymut et la simulation virtuelle 3D).

13.3.2. Calibration du système multi-agents

Afin de réaliser les jeux de simulation attendus, il convient d'identifier les évènements de référence que le système multi-agents doit reproduire. Conformément à la problématique étudiée dans le cadre de ce travail, seule la phase aigüe de la crise est considérée, c'est-à-dire les situations qui suivent immédiatement l'évènement déclencheur. Les divers ajustements qui ont été réalisés après l'extinction de l'incendie sont ainsi ignorés (relevage du poids-lourd, vidange de la citerne, etc.). Par ailleurs, tout évènement interne à la cellule de crise ou assuré par un rôle des formateurs (le message indiquant que le maire est injoignable par exemple) n'est pas intégré à la simulation multi-agents. Enfin, les divers messages de relance d'un message antérieur ne sont conservés qu'une seule fois, au moment de leur première occurrence.

De ce fait, 19 évènements uniques sont conservés sur les 34 collectés (cf. annexe VIII : actions tactiques et opérationnelles de l'accident TMD-A9), dont la majorité concerne des états d'avancement des opérations menées sur le terrain. La liste des évènements dont la simulation va être réalisée est la suivante :

1. Accident de TMD sur l'A9 (point de départ du scénario),
2. Demande de secours (alerte CTA CODIS),
3. Arrivée des premiers moyens d'intervention sur les lieux,
4. Message flash ODG,
5. Message complémentaire SAV ODG,
6. Message complémentaire eval RCH ODG,
7. Message complémentaire INC ODG,
8. Message complémentaire 2 INC ODG,
9. Message complémentaire 2 eval RCH ODG,
10. Message complémentaire POL ODG,
11. Message complémentaire 3 INC ODG,
12. Message complémentaire 2 POL ODG,
13. Message complémentaire 3 eval RCH ODG,
14. Message demande conduite à tenir maison de retraite Aigues-Vives,
15. Message FDS glycol exploitant,
16. Message complémentaire 4 eval RCH ODG,
17. Message information bilan CMIC (pollution de l'affluent du Vistre),
18. Message complémentaire 5 eval RCH ODG,
19. Message incendie éteint.

L'ensemble de ces évènements constituent des jalons obligatoires devant être réalisés dans l'ordre. Par exemple, tant que le Centre de Traitement de l'Alerte n'est pas prévenu de l'accident (cf. évènement n°2 dans la liste précédente et dans le tableau ci-après), les moyens d'intervention ne peuvent pas être dépêchés sur les lieux. Le seul jalon chronologiquement fixé dans Asymut est l'évènement déclencheur du scénario (évènement n°1).

Tableau 17 : synopsis Asymut du scénario TMD-A9.

Evènement n°1 : accident de TMD sur l'A9 (point de départ du scénario)
Le camion-citerne se couche en travers de la chaussée et le chauffeur tombe inconscient. Création d'un agent pour chacun des types suivants : A_Meteo, A_Autoroute9, A_Citerne, A_Nappe, A_Embouteillage, A_Incendie, A_Fumees. Création de 2 agents A_Victime (chauffeur du TMD et automobiliste légèrement blessé). L'autoroute alimente l'embouteillage tant que ce dernier n'est pas traité. Le débit de fuite de la citerne alimente la nappe. L'incendie interagit avec la citerne et émet des messages de type « flux thermiques » : différents seuils sont propagés en directions des agents en présence. La météo gère des conditions fixées à 3m/s de vitesse de vent et 20°C pour la température de l'air (avec une amplitude de 1 au maximum pour les deux). Un vent de secteur nord est initialisé (en direction d'une commune). Les fumées subissent une dispersion et une diffusion liées au vent. Au minimum trois automobilistes de l'embouteillage doivent passer un appel d'urgence et confirmer l'accident (Alerte – Précision) ce qui permet de passer à l'évènement suivant.
Evènement n°2 : demande de secours (alerte CTA CODIS)
Création de 2 A_VSAV, 2 A_FPT, 1 A_CCGC, 1 A_CMIC. Ces moyens partent depuis Vergèze (temps d'arrivée de 12 minutes, difficultés d'approche dues à la zone embouteillée).
Evènement n°3 : arrivée des premiers moyens d'intervention sur les lieux
Création d'1 agent A_PCO et 1 agent A_PCPompier. Les FPT doivent réussir une seule fois l'approche de l'incendie (Observation), tenter un arrosage et extinction (Constitution) à chaque possibilité d'action (cf. agent horloge) et réussir une demande de ravitaillement (Précision) dès que leurs cuves sont vides au 2/3. Les CCGC doivent réaliser une évaluation régulière des besoins en eau (Précision) afin de déterminer si un (ou plusieurs) FPT nécessite une alimentation (Constitution). Dès qu'un CCGC est vide, celui-ci part en mission de ravitaillement (Constitution). Dès que l'une des 2 victimes est atteinte par un VSAV (Localisation des victimes – Observation), ce dernier peut tenter un dégagement d'urgence (Secours aux personnes – Cognition). La CMIC doit partir en reconnaissance (Observation) pour passer à l'évènement suivant.
Evènement n°4 : message flash ODG
Création d'1 agent A_DDT d'1 agent A_PCGendarmerie ainsi que de 3 agents A_BrigadeMobile. Les trois brigades mobiles doivent identifier conjointement un point d'extraction des automobilistes (Rétablissement de l'ordre – Cognition) puis l'agent A_DDT doit découper la glissière de sécurité centrale (Création d'une voie routière de dégagement – Constitution). Le PCO formule une demande de renforts (Observation) pour 2 FPT et 1 CCGC supplémentaires. Ces moyens partent depuis Nîmes (25min théoriques, 30min si embouteillage).
Evènement n°5 : message complémentaire SAV ODG
Les deux victimes ont été évacuées par les deux VSAV (Secours aux personnes – Cognition). Les brigades mobiles doivent maintenir un effort constant pour évacuer rapidement les automobilistes (Rétablissement de l'ordre – Cognition). Pour ce faire, ils doivent effectuer des tentatives à chaque tour d'action (cf. agent horloge).
Evènement n°6 : message complémentaire eval RCH ODG
La CMIC doit réaliser d'une traite l'enchainement suivant : Anticipation des risques et des dangers (Cognition), Mesure (Précision) et Résistance aux phénomènes dangereux (Constitution). Tout échec implique une nouvelle tentative de l'enchainement. L'action prend au minimum 5 minutes.
Evènement n°7 : message complémentaire INC ODG
A_DDT doit baliser les déviations en sortie de péage (Création d'itinéraires de substitution – Cognition). L'action prend au minimum 10 minutes.
Evènement n°8 : message complémentaire 2 INC ODG
Le PCO est sollicité pour des idées de manœuvres. L'agent doit réussir l'enchainement suivant : Récolter des informations tactiques (Observation), Affecter des moyens existants (Cognition), Produire des remontées d'informations (Précision). Tout échec implique de recommencer l'enchainement.
Evènement n° 9 : message complémentaire 2 eval RCH ODG
La CMIC doit réaliser d'une traite l'enchainement suivant : Anticipation des risques et des dangers (Cognition), Mesure (Précision) et Résistance aux phénomènes dangereux (Constitution). Tout échec implique une nouvelle tentative de l'enchainement. L'action prend au minimum 5 minutes.
Evènement n°10 : message complémentaire POL ODG
A_DDT doit contrôler avec les brigades mobiles l'adéquation des itinéraires bis avec le flux de véhicules (Sécurité routière – Précision) pour pouvoir réajuster si besoin (aucun réajustement n'est nécessaire dans le scénario).

Evènement n°11 : message complémentaire 3 INC ODG
Création de 2 A_FPT et d'1 A_CCGC tels qu'appelés en renforts. Les FPT doivent réussir une seule fois l'approche de l'incendie (Observation), tenter un arrosage et extinction (Constitution) à chaque possibilité d'action (cf. agent horloge) et réussir une demande de ravitaillement (Précision) dès que leurs cuves sont vides au 2/3. Les CCGC doivent réaliser une évaluation régulière des besoins en eau (Précision) afin de déterminer si un (ou plusieurs) FPT nécessite une alimentation (Constitution). Dès qu'un CCGC est vide, celui-ci part en mission de ravitaillement (Constitution).
Evènement n°12 : message complémentaire 2 POL ODG
Le PCO est sollicité pour des idées de manœuvres. L'agent doit réussir l'enchainement suivant : Récolter des informations tactiques (Observation), Affecter des moyens existants (Cognition), Produire des remontées d'informations (Précision). Tout échec implique de recommencer l'enchainement. L'action prend au minimum 5 minutes.
Evènement n°13 : message complémentaire 3 eval RCH ODG
La CMIC doit réaliser d'une traite l'enchainement suivant : Anticipation des risques et des dangers (Cognition), Mesure (Précision) et Résistance aux phénomènes dangereux (Constitution). Tout échec implique une nouvelle tentative de l'enchainement. L'action prend au minimum 10 minutes.
Evènement n°14 : message demande conduite à tenir maison de retraite Aigues-Vives
Les brigades mobiles doivent finir l'évacuation des automobilistes (Rétablissement de l'ordre – Cognition) et encadrer le flux routier dévié (Maintien de l'ordre – Constitution) pour passer à l'évènement suivant.
Evènement n°15 : message FDS glycol exploitant
Pour intégrer l'identification du produit mis en jeu (le polyol, comme indiqué par le chauffeur), le PCO doit : Récolter les informations tactiques – Observation, et Produire des remontées d'informations – Précision. La CMIC doit quant à elle anticiper les évolutions possibles (Anticipation des risques et des dangers – Cognition). Le PCO et la CMIC travaillent conjointement pendant au minimum 10 minutes.
Evènement n°16 : message complémentaire 4 eval RCH ODG
Pour identifier précisément la substance (le glycol), l'agent de type A_CMIC doit réussir l'enchainement suivant : Résistance aux phénomènes dangereux (Constitution), Mesure (Précision) et Anticipation des risques et des dangers (Cognition). L'action prend au minimum 5 minutes.
Evènement n°17 : message information bilan CMIC (pollution de l'affluent du Vistre)
Création d'un agent de type A_PollutionAquatique dès que la nappe atteint le cours d'eau.
Evènement n°18 : Message complémentaire 5 eval RCH ODG
Les agents A_FPT doivent simultanément réussir l'action Arrosage et extinction (Constitution) pour éteindre l'incendie. Ceci sous-tend que les CCGC assurent le soutien nécessaires à ces opérations.
Evènement n°19 : message incendie éteint

Il est à noter que le système multi-agents possède une vitesse de simulation qui dépend de la puissance de calcul – principalement du microprocesseur – lié au matériel qui l'héberge. La calibration d'une horloge de simulation est alors nécessaire afin de pouvoir ordonnancer les évènements de manière à ce que l'heure simulée de fin du scénario simulé corresponde à l'heure de fin de l'accident de référence. Comme l'illustre la figure 118, cet étalonnage nécessite d'utiliser une horloge interne à Asymut, permettant de cadencer la simulation multi-agents à une vitesse appropriée à l'environnement physique reproduit.

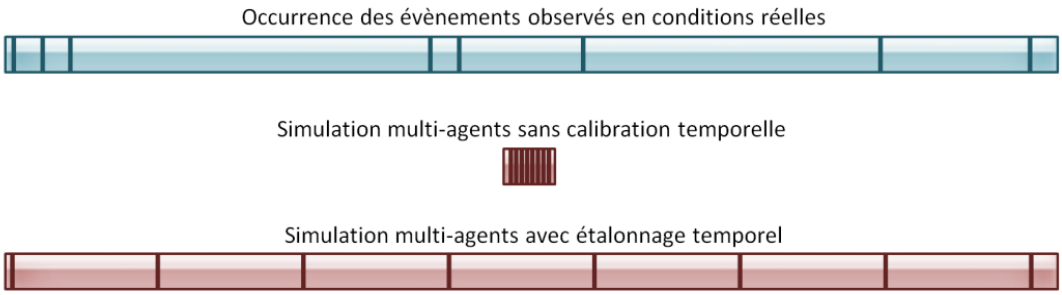


Figure 118 : méthode d'étalonnage retenu pour Asymut.

Les premiers essais réalisés ont permis de fixer empiriquement une valeur de 60 000 ms pour le cadencement de l'horloge afin de reproduire la dynamique du scénario simulé. Ces essais ont été réalisés en simulant uniquement les agents réactifs relatifs à la citerne, à l'incendie et aux conditions météorologiques. Compte tenu des paramètres fixés, et en l'absence de tout moyen d'intervention simulé, l'agent incendie s'éteint spontanément et systématiquement en environ 4 heures. Ceci met en cohérence la simulation Asymut avec les modélisations réalisées de l'incendie réel (cf. paragraphe 13.1.1. Accident de Transport de Matières Dangereuses sur l'A9 - Avril 2001, p260).

13.4. Présentation et analyse des résultats

La figure 119 présente un extrait de l'une des 1000 simulations réalisées.

[…]
22h41 : A_Nappe_A_Citerne_1 -> A_PollutionAquatique_7 : augmenterPollution
22h41 : A_PollutionAquatique_7 -> A_Media_10 : augmenterPollution
22h41 : A_Incendie_12_Fumee_Etat -> A_Incendie_12_Fumee : envoyerEtat
22h41 : A_Incendie_12 -> A_Nappe_A_Citerne_1 : bruler
22h41 : A_Incendie_12Incendie_Etat -> A_Incendie_12 : envoyerEtat
22h41 : A_FPT_2_Arroser -> A_FPT_2 : arroserIncendie
22h41 : A_FPT_2 -> A_FPT_2_Arroser : terminerArrosage
22h42 : A_Incendie_12_Fumee_Etat -> A_Incendie_12_Fumee : envoyerEtat
22h42 : A_FPT_2_ChercherRavitaillement -> A_FPT_2 : demanderRavitaillement
22h42 : A_FPT_2 -> A_FPT_2_ChercherRavitaillement : terminerRecherche
22h42 : A_FPT_2 -> A_CCGC_3 : demanderRavitaillement
22h42 : A_Citerne_1_Breche -> A_Citerne_1 : deverserProduit
[…]

Figure 119 : extrait du journal d'évènements Asymut sur une simulation TMD-A9.

Les messages indiqués sont pris entre l'évènement n°17 (message information bilan CMIC – pollution) et l'évènement n°18 (message complémentaire 5 eval RCH ODG) peu après la création de l'agent A_PollutionAquatique. A ce stade, la nappe de produit alimente une pollution de l'affluent du Vistre, l'incendie brule toujours la citerne ainsi qu'une partie de la nappe, des fumées sont émises, et les moyens d'intervention déployés (FPT, CCGC) luttent toujours contre l'incendie.

Sur la base des 1000 journaux d'évènements générés, une première analyse statistique des 19 éléments de référence a pu être réalisée. La synthèse du traitement effectué par cet estimateur est présentée dans le tableau 18 ci-après. Pour chaque évènement séquentiellement attendu, les indicateurs retenus sont la fréquence moyenne d'occurrence ainsi que les écarts de part et d'autre de cette moyenne. L'écart moyen a quant à lui pour objectif de mesurer la différence entre la fréquence moyenne et l'occurrence observée des évènements de référence.

Tableau 18 : synthèse des résultats issus des simulations TMD-A9.

Evènements clefs	Occurrence réelle	Occurrence simulée			
		Au plus tôt	En moyenne	Au plus tard	Ecart moyen
1) Accident de TMD sur l'A9 (point de départ du scénario)	21h00	21h00	21h00	21h00	0min
2) Demande de secours (alerte CTA CODIS)	21h03	21h02	21h02	21h11	1min
3) Arrivée des premiers moyens d'intervention sur les lieux	21h18	21h17	21h18	21h26	0min
4) Message flash ODG	21h23	21h18	21h20	21h30	3min
5) Message complémentaire SAV ODG	21h28	21h19	21h23	21h40	5min
6) Message complémentaire eval RCH ODG	21h32	21h20	21h27	21h43	5min
7) Message complémentaire INC ODG	21h33	21h26	21h33	21h50	0min
8) Message complémentaire 2 INC ODG	21h43	21h37	21h45	22h01	2min
9) Message complémentaire 2 eval RCH ODG	21h48	21h38	21h46	22h07	2min
10) Message complémentaire POL ODG	21h50	21h44	21h53	22h14	3min
11) Message complémentaire 3 INC ODG	21h53	21h46	21h56	22h20	3min
12) Message complémentaire 2 POL ODG	22h08	21h49	21h56	22h21	12min
13) Message complémentaire 3 eval RCH ODG	22h11	21h55	22h03	22h27	8min
14) Message conduite à tenir maison de retraite Aigues-Vives	22h20	22h06	22h15	22h40	5min
15) Message FDS glycol exploitant	22h32	22h13	22h23	22h52	9min
16) Message complémentaire 4 eval RCH ODG	22h33	22h25	22h36	23h07	3min
17) Message information bilan CMIC (pollution du cours d'eau)	22h37	22h31	22h43	23h15	6min
18) Message complémentaire 5 eval RCH ODG	22h46	22h42	22h53	23h25	7min
19) Message incendie éteint	22h52	22h44	22h56	23h32	4min

D'un point de vue statistique, un écart moyen d'un peu moins de 4 minutes est obtenu sur les évènements simulés en comparaison de ceux identifiés dans le scénario de référence. Ainsi, il est noté que les simulations divergent en moyenne de 3,3% par rapport à la réalité. Cependant, les écarts à la moyenne peuvent être importants. Par exemple, au moins une simulation a donné lieu à une extinction de l'incendie près de 40 minutes après le délai observé, soit une différence d'environ 36% avec la réalité due à un effet boule de neige.

Comme l'illustre la figure qui suit, la méthodologie proposée tend donc à reproduire le comportement des acteurs tactiques et opérationnels mobilisés sur l'accident TMD-A9. La courbe pointillée représente la survenue réelle des évènements de l'accident de référence. Les points rouges indiquent l'occurrence moyenne simulée de chacun d'eux tandis que les barres horizontales marquent la répartition des écarts types par rapport aux occurrences moyennes. L'enveloppe globale de ces écarts maximum montre ainsi l'intervalle des variations produites par Asymut.

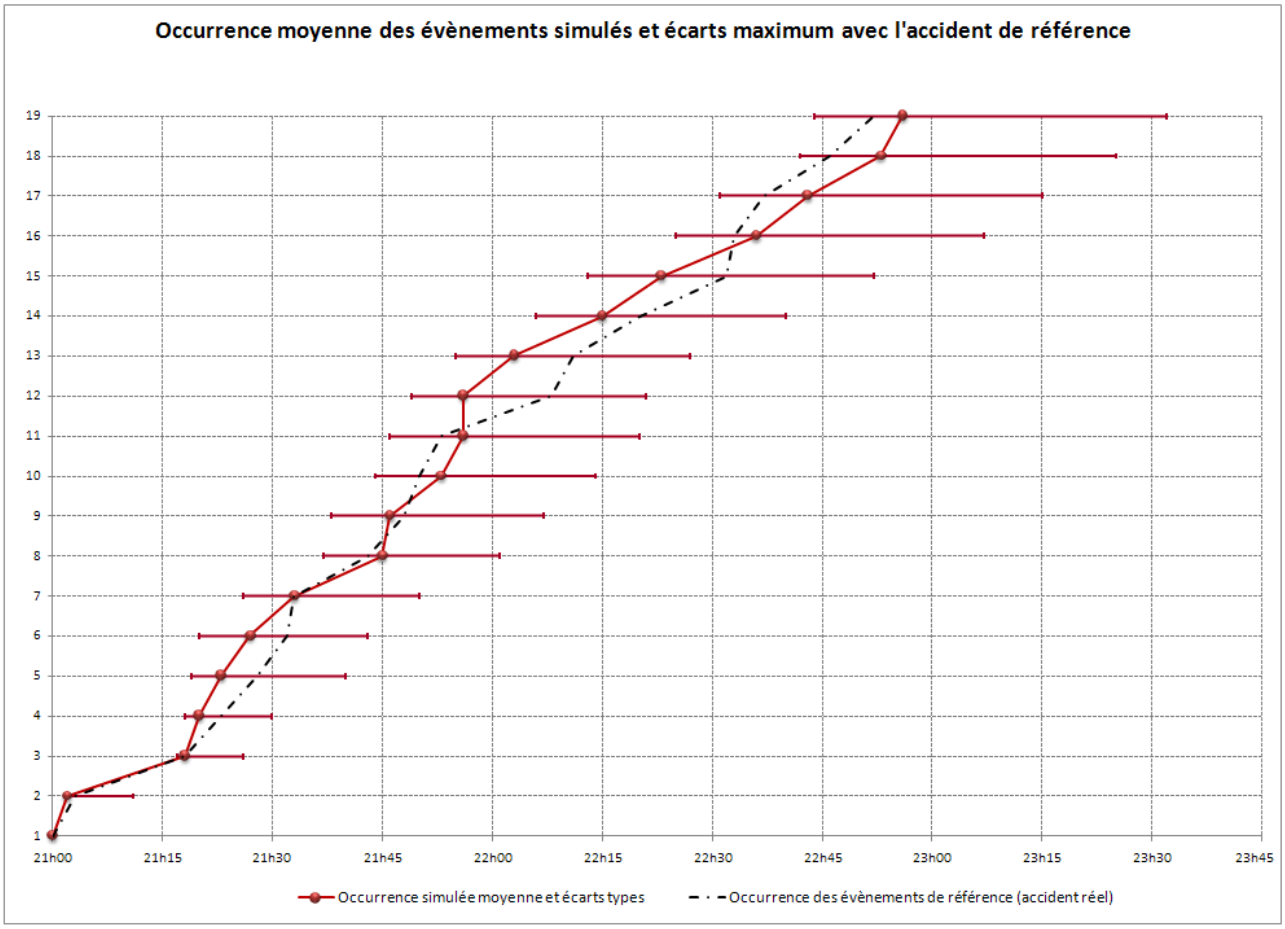


Figure 120 : moyenne des évènements simulés et écarts maximum avec l'accident de référence.

Il est à noter que dans le pire des cas, les agents archétypiques parviennent tout de même à maitriser l'incendie avant son extinction spontanée faute de combustible. Afin d'estimer, par exemple, l'importance des renforts demandés lors de l'accident réel, un deuxième jeu de 1000 simulations a été réalisé en modifiant la trame de référence comme suit :

- La demande du PCO formulant une demande de renforts (Observation) pour 2 FPT et 1 CCGC supplémentaires, est supprimée de l'évènement n°4 (message flash ODG),
- L'évènement n°11 (message complémentaire 3 INC ODG) concernant l'arrivée des susdits renforts est retiré (ce jalon ne pouvant jamais être atteint).

La figure suivante montre l'impact de ce changement qui met en évidence une inadéquation des premiers moyens déployés sur le terrain avec le phénomène impliqué. Sans influencer les missions des autres agents (l'occurrence des évènements est sensiblement identique au premier jeu de simulations), il est noté s'éteint bien plus tard et de façon spontanée (il ne reste plus de combustible). L'un des intérêts issus de l'emploi d'un système multi-agents est ici clairement mesurable. Bien que tous les agents cherchent à converger vers la meilleure gestion du sinistre possible, leur efficacité dépend directement d'appuis stratégiques et tactiques

dont les participants à l'exercice de crise simulée font partie. En l'absence d'implication de l'équipe de gestion de crise, Asymut intègre ainsi des dynamiques différentes dans l'évolution des scénarios simulés.

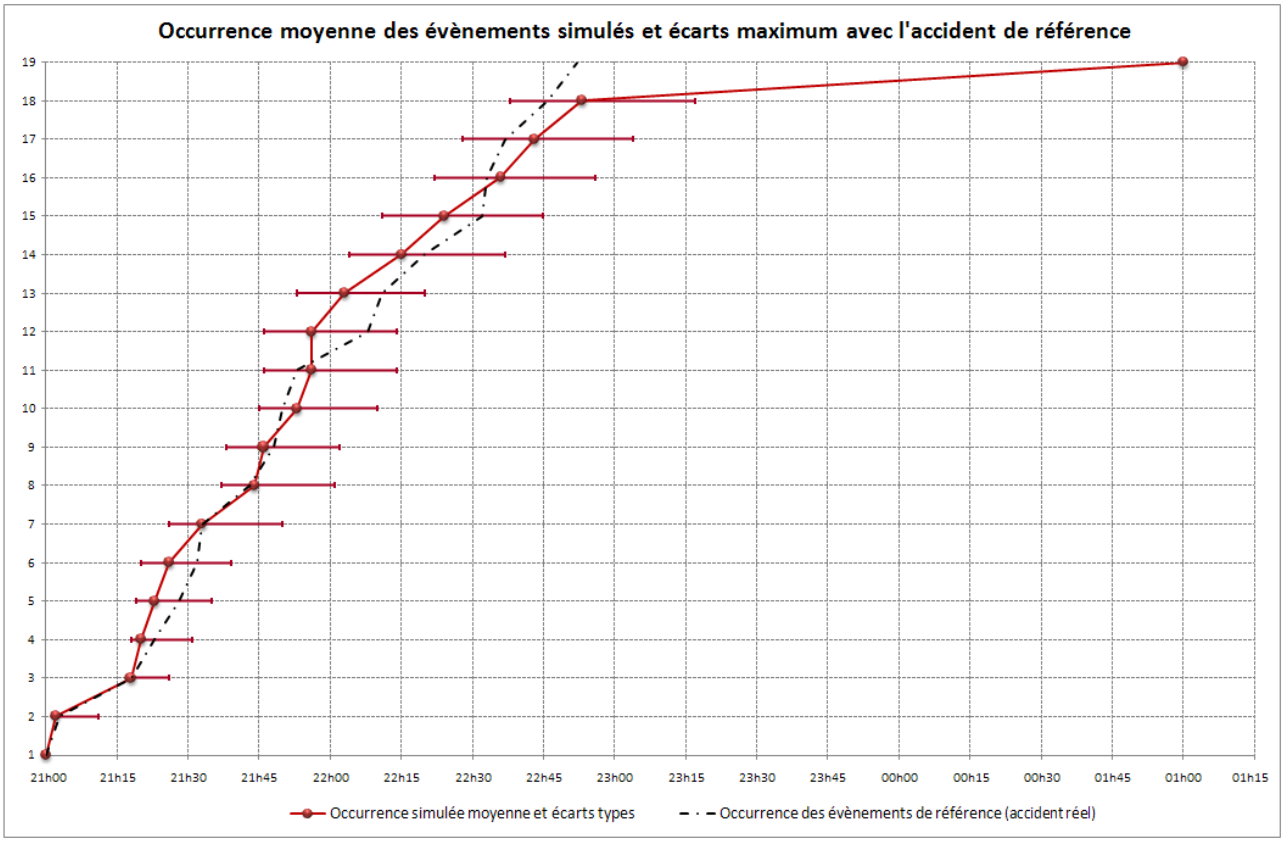


Figure 121 : variante de simulation avec deux fois moins de moyens de lutte contre l'incendie.

Par ailleurs, il est observé qu'Asymut émule parfois un grand nombre de difficultés supplémentaires lors de la gestion tactique et opérationnelle de la crise simulée, et rallonge ainsi mécaniquement la durée de l'exercice de plus d'un tiers. Dans ce cas-là, la cellule stratégique de gestion de crise devrait fournir un effort d'autant plus important que les moyens déployés sur le terrain rencontrent des difficultés. C'est pourquoi, il est impératif que l'outil SimulCrise d'aide à l'animation intègre ces contraintes afin :

- De permettre aux formateurs de diminuer les seuils de difficulté de la simulation afin de rééquilibrer le scénario d'exercice si besoin,
- De prendre en considération ces difficultés dans le processus d'évaluation des participants.

Comme l'illustre la figure suivante, différentes zones provoquant des écarts entre avec l'accident de référence peuvent être remarquées. Trois plages sont impliquées au travers des évènements 4 à 6, 12 à 15 et 16 à 19. Les écarts relatifs à la première plage (4 à 6) semblent montrer que la gestion de l'évacuation simulée des automobilistes embouteillés en amont de l'accident ne tient pas compte des difficultés

opérationnelles auxquelles les forces de gendarmerie ont été confrontées. Il semble ici que le seuil de réussite initialisé à 10 (difficulté moyenne) pour toutes les actions réalisables dans le système multi-agents gagnerait à être augmenté à 15 (opération délicate). La deuxième plage (12 à 15) correspond à une interaction entre le PCO et le COD portant sur des idées de manœuvres. En l'absence de participants réels, une émulation de ces communications a été mise en place en sous estimant manifestement les temps de réflexions et d'échanges. Enfin, la dernière plage semble nécessiter une adaptation des actions simulées lors de l'évènement n°16 (notamment l'identification du glycol) et dont la difficulté à en revanche été légèrement surestimée dans le cadre des simulations réalisées.

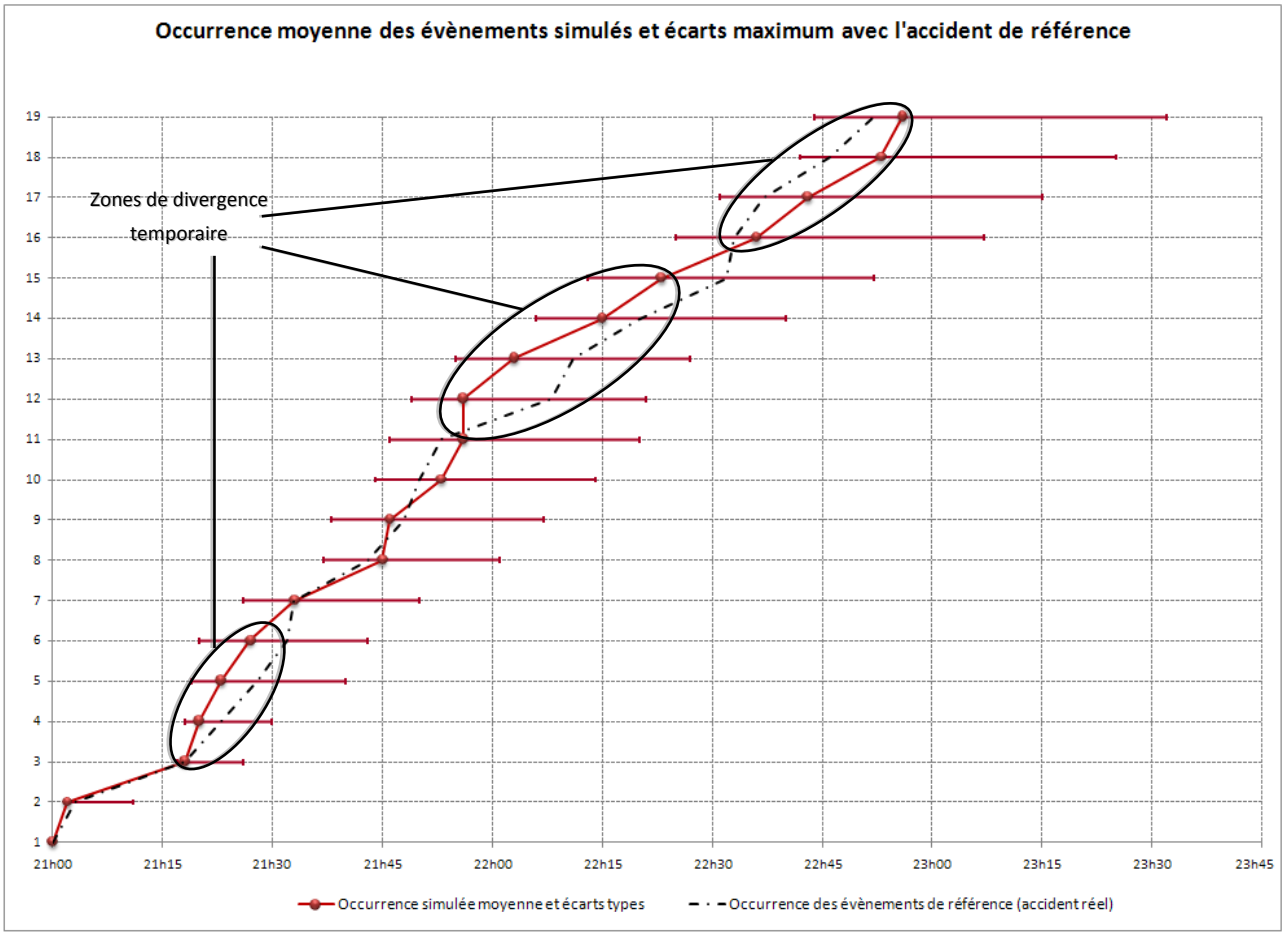


Figure 122 : zones de divergence du scénario TMD-A9 simulé.

Néanmoins, les essais réalisés avec Asymut ainsi que les paramètres explicités dans la méthodologie montrent qu'il est possible de réaliser une simulation de crise dont l'évolution est comparativement analogue à la réalité observable. Le système multi-agents converge ainsi vers une fin connue par avance, en empruntant toutefois un cheminement dont la prédictibilité temporelle est difficilement réalisable avec précision.

Il est malgré tout postulé que les écarts relevés par rapport à l'accident TMD-A9 de référence ne sont pas problématiques dans la mesure où l'environnement semi-virtuel de formation s'attache à une simulation de scénarios permettant une prise de décision stratégique pour laquelle une absence d'approximations au niveau du terrain opérationnel n'est pas requise. Cependant, dans l'éventualité où l'exercice de formation reposait sur un scénario réel ayant pour but de confronter les participants aux mêmes situations et aux mêmes difficultés que celles qu'ils ont pu rencontrer, le système multi-agents nécessiterait alors d'intégrer des jalons chronologiquement préprogrammés. A la différence d'un scénario-canevas, Asymut serait dans ce cas utilisé comme simple exécuteur séquentiel d'actions ordonnancées (scénarios-programmés).

Plus largement, les modèles physico-chimiques et les comportements archétypiques ont imposé un calibrage particulier pour le scénario étudié. Il semble à ce titre pertinent de rappeler que le paramétrage du gestionnaire de temps pour la simulation (A_Horloge.java), destiné à rendre cohérente la vitesse de simulation, nécessite une validation sur d'autres scénarios. L'idée serait alors de déterminer si une valeur généralisable peut être identifiée ou si, au contraire, tout scénario doit préalablement être calibré au moyen d'une valeur d'ordonnancement spécifique aux phénomènes et aux comportements simulés par Asymut.

Synthèse

La validation de la méthodologie de génération semi-automatique d'un scénario de crise a consisté en la comparaison d'un cas d'étude avec son homologue simulé. Le scénario de référence utilisé est l'accident de Transport de Matières Dangereuses sur l'A9 (avril 2001). Sur la base du retour d'expérience de cet accident ainsi que d'une enquête réalisée auprès des intervenants mobilisés dans la gestion de cet évènement une reconstitution des actions tactiques et opérationnelles réellement menées sur le sinistre a pu être réalisée. Cette dernière a permis de mettre en lumière les enjeux, les phénomènes et les acteurs impliqués, ainsi que les interactions tactiques et opérationnelles entretenues par les moyens déployés sur le terrain.

Après analyse de ces éléments, 19 éléments clefs ont été identifiés afin de constituer des jalons de référence. De plus, le système multi-agents (Asymut) a non seulement été doté d'agents généraux dédiés au calibrage des paramètres de simulation, mais a aussi été constitué d'agents réactifs et archétypiques. Dans le détail, 26 classes ont été programmées puis instanciées en 31 agents (tous types confondus).

Un jeu de 1000 simulations a été réalisé afin de mettre en évidence le degré de convergence du système de simulation. Les critères de comparaison établis portent sur les écarts temporels observés entre les évènements réel et ceux reproduits par Asymut. Il a été démontré qu'Asymut a simulé les 19 jalons scénariques avec une précision temporelle de 3,3%. Il a en outre été noté que des écarts significatifs sont mesurables et traduisent de la nécessité de les intégrer à la stratégie d'évaluation des participants.

Discussion autour de la simulation d'un scénario accidentel réel

La stratégie de validation de la méthodologie de simulation multi-agents repose sur un cas de référence, à savoir l'accident de transport de matières dangereuses sur l'A9 (avril 2001). La description de cet évènement a permis la définition des agents impliqués ainsi que leur implémentation dans Asymut afin de simuler l'accident. Il est à ce titre constaté que la représentation des comportements sous la forme de graphes permet leurs transcriptions directes en schémas descriptifs UML. Plus précisément, l'emploi de diagrammes états-transitions présente l'avantage de favoriser la programmation sous Jade, puisque cette plateforme intègre nativement des comportements de type *Final State Machine*. Il peut donc être recommandé de généraliser cette approche pour l'ajout de tout agent dans Asymut.

Trois types d'agents ont été implémentés : abstraits, géolocalisés et archétypiques. Les agents abstraits recouvrent essentiellement les éléments généraux garantissant le bon fonctionnement de la plateforme (horloge interne, etc.). Les agents réactifs comprennent les entités soient passives (des enjeux matériels, environnementaux, etc.) soient dépendantes de modèles (physiques, mathématiques, etc.). Les agents archétypiques dotent quant à eux le système de processus stochastiques[48] qui ont pour objectif d'émuler des comportements humains.

[48] Au sens de comportements qui relèvent de variables aléatoires et du calcul de probabilités.

Il est d'une part important de noter que l'horloge ayant en charge de régler la vitesse de simulation constitue le paramètre essentiellement utilisé afin d'obtenir un étalonnage des évènements proche de la réalité. La question se pose ainsi de savoir si le système semble correctement calibré parce qu'il suffit d'ajuster le temps de simulation, ou bien s'il faut envisager de corréler le réglage du temps avec un paramétrage avancé de la méthode archétypique. En effet, la caractérisation des archétypes d'agents a été réalisée de manière empirique, et l'une des limites de cette approche est de ne pas tenir compte des multiples combinaisons susceptibles de produire le même résultat. Il apparaît dès lors nécessaire de réaliser plusieurs tests sur des scénarios possédant des cinétiques différentes afin de proposer une méthode de calibration générique du système de simulation Asymut. D'autre part, il est noté que l'aspect délibératif de l'architecture BDI des agents n'a été exploité qu'en partie. En effet, des scores de caractéristiques et d'aptitudes sont utilisés comme fonctions de révision des croyances (senseurs) et comme fonction de transformation des intentions en actions perceptibles (actuateurs). La notion de désirs est quant à elle réduite à un automate réactif qu'il conviendrait de modifier afin de bénéficier des avantages de l'approche BDI. C'est pourquoi, en l'absence de base de connaissances tout comme de moteur d'inférences, Asymut ne peut pas être considéré comme un système expert. L'ajout d'une aptitude « Mise à jour des désirs (Cognition) » constituerait une voie d'amélioration permettant d'enrichir les agents archétypiques de fonctions de génération des options possibles (une sélection des comportements idoines) afin d'accomplir de façon plus rapide leurs désirs. De la même manière un modèle inférentiel gagnerait à être adjoint aux agents archétypiques au moyen d'une aptitude d'« Evaluation des résultats (Cognition) ».

Par ailleurs, une nuance peut être formulée concernant la stratégie de validation qui a été appliquée au moyen d'un évènement d'ordre accidentel, impliquant ainsi peu de paramètres. Or, un grand nombre d'éléments perturbent et participent à la gestion stratégique d'un évènement catastrophique engendrant une crise. C'est pourquoi, des tests supplémentaires doivent être menés afin de valider qu'Asymut peut tenir compte d'un nombre plus conséquent de paramètres à simuler. Une parenthèse peut être faite au sujet de la simulation d'un évènement réel, laquelle implique impérativement de disposer de tous les jalons à reproduire, ainsi que des informations précises concernant leur occurrence. Ainsi, une des limites de cette approche consiste en l'impossibilité de recréer un évènement si les retours d'expérience – et notamment les actions tactiques et opérationnelles – ne sont pas décrits de manière exhaustive. Il est néanmoins relevé que la méthodologie formulée tend à diminuer les coûts et les efforts de développement de nouveaux scénarios, à la condition que certains agents soient identiques ou voisins d'agents déjà implémentés. Dans Asymut, un feu de nappe[49] peut ainsi être créé sur terre (cf. scénario TMD-A9) comme sur mer (cf. scénario de pollution marine).

De façon plus générale, les partis pris en matière de globalisation des entités tactiques et opérationnelles au sein d'agents unitaires posent la question des biais possiblement créés. Pour mémoire, le niveau de détail retenu a pour objectif de considérer certains agents (les véhicules et les postes de commandement principalement) comme assurant les missions des individus constitutifs (soit transportés, soit regroupés). Bien qu'il n'ait pas été observé de comportements aberrants de la part des agents simulés, il peut néanmoins

[49] Considéré comme un incendie gravitaire engendrant un impact thermique essentiellement radiatif, de durée correspondant à la quantité de matière combustible.

être recommandé qu'une évaluation soit réalisée concernant l'impact de ce facteur d'échelle sur le réalisme des simulations.

Conclusion

Les trois chapitres précédents ont porté sur la validation de trois des quatre axes thématiques définis pour constituer un environnement semi-virtuel de formation (cf. figure ci-dessous). La méthodologie de conception d'une plateforme appliquée à la gestion stratégique de crise a été employée lors de la construction du complexe de formation de l'Institut des Sciences des Risques, à l'Ecole des Mines d'Alès (cf. quart A). Puis, la modélisation d'un exercice de gestion de crise a été testée dans sa dimension la plus complexe, c'est-à-dire au moyen d'un scénario catastrophique fictif de pollution marine (cf. quart B). Enfin, la méthode de simulation dynamique d'un scénario de crise a été validée par comparaison avec un cas de référence (accident de TMD routier) à la fois simple et suffisamment documenté, non seulement afin d'implémenter une première version du système multi-agents, mais aussi pour mettre en avant la capacité du système à reproduire un évènement réel (cf. quart C). Il convient dès lors de s'attacher à évaluer l'adéquation des éléments mis en évidence lors de ces trois phases de validation, avec les objectifs initialement identifiés dans la méthodologie.

Concernant la validation des méthodologies proposées

En termes de validation, la méthodologie de conception d'une plateforme appliquée à la gestion stratégique de crise a été employée lors de la création du complexe de formation de l'Institut des Sciences des Risques (Ecole des Mines d'Alès). Puis, la modélisation d'un exercice de gestion de crise a été testée dans sa dimension la plus complexe, c'est-à-dire au moyen d'un scénario catastrophique fictif de pollution marine. La méthode de simulation dynamique d'un scénario de crise a ensuite été validée par comparaison avec un cas de référence (accident de TMD routier). L'analyse de ces résultats donne lieu à plusieurs constats. L'architecture multi-tiers distribuée conçue dans le cadre de ce travail de recherche a donné lieu à l'identification de sept services relatifs au fonctionnement de l'environnement semi-virtuel de formation, ainsi qu'à une suite logicielle dédiée (SimulCrise) contenant le système multi-agents (Asymut). Une première bibliothèque de 45 types d'agents a été constituée afin de simuler l'accident de transport routier de matières dangereuses, ainsi que le scénario de pollution marine de grande ampleur. Il a été montré que l'approche multi-agents autorise une généricité des entités programmées favorisant leur réutilisation (un incendie, une nappe de produit liquide, une pollution aquatique, etc.). De plus, la liaison directe entre Asymut et des bases de données liées au scénario à simuler (produits dangereux, moyens matériels de secours ou d'intervention, etc.) confère à l'ensemble un degré supplémentaire de crédibilité.

A ce titre, l'étalonnage du système ainsi que le paramétrage des modèles archétypiques constituent des réglages critiques à la fois susceptible de garantir le réalisme des crises simulées, comme de ralentir significativement la convergence du système. Cette contrainte, précisément issue du besoin d'émuler des comportements plausibles dans le système multi-agents demande toutefois des efforts de compensation aux participants tout comme une attention accrue des formateurs à ce sujet. La présence d'un superviseur tient alors toute sa justification en tant que garant de l'adéquation entre la stratégie pédagogique initiale et les situations didactiques produites en cours d'exercice. Une perspective de ce travail pourrait consister à

compléter l'approche archétypique au moyen d'une base de cas et d'un moteur d'inférences permettant par ailleurs d'attribuer à Asymut un rôle de système expert.

La méthodologie d'aide à l'animation a permis la constitution d'un premier lot de 40 fiches de rôle pour les formateurs, lesquelles entretiennent à la fois des liens avec Asymut afin que l'évolution du scénario de crise intègre les décisions stratégiques des participants, et pour suivre en temps réel les compétences mobilisées par la cellule de crise (recueil des données servant à l'évaluation et au débriefing). Il est par ailleurs important de noter que le système multi-agents implémenté afin de réaliser les simulations de crise constitue de fait une aide à l'animation d'un scénario pédagogique.

D'un point de vue pédagogique, l'approche hybride EBAT-CTT développée permet d'intégrer la problématique de la prise de décision en conditions dégradées ainsi que la nécessité de prévoir l'occurrence d'évènements, d'incertitudes et d'imprévus, pour reproduire fidèlement le contexte lié aux crises de grande ampleur. Une première bibliothèque de 42 perturbations scénariques a été constituée et une typologie comprenant trois familles de phénomènes (incendie, explosion et dispersion) a été structurée. Ces éléments ont servi à la caractérisation des évènements du scénario de pollution marine. L'exploitation réalisée de ces éléments met en évidence la nécessité de poursuivre leur définition et leur enrichissement. Il est en outre rappelé que le suivi des couples situation-tâches nécessite d'avoir constitué de manière la plus exhaustive possible les fiches utilisées par les formateurs. Bien que des interactions non prévues puissent être ajoutées et intégrées en temps réel par les formateurs, il est malgré tout souligné que cet aspect demande un important travail préalable d'anticipation des sollicitations qui pourraient être réalisées par les participants.

Plus largement, il est important de noter que la méthode de génération d'un scénario a pu être étendue à la conception et au développement d'un troisième scénario – en cours d'élaboration – et portant ainsi à trois le nombre de crises susceptibles d'être simulées par Asymut : une catastrophe maritime, un accident routier de transport de matières dangereuses, une problématique d'accident sur site industriel, et un scénario de crues et inondations.

Il est noté que l'absence de tests en conditions réelles ne permet pas une évaluation des partis pris en termes de simulation virtuelle 3D, de convergence d'Asymut, ni de validité de la méthode de simulation sur des scénarios fictifs (le scénario de pollution marine par exemple). De la même manière, les méthodes d'évaluation proposées doivent gagner à être éprouvées lors de sessions d'exercices réels. Quelques premières recommandations sont cependant évoquées afin d'organiser des exercices réels de formation à la gestion stratégique de crise. Il est notamment suggéré d'éprouver l'ensemble lors d'exercices d'initiation puis de perfectionnement, avant de soumettre les exercices simulés à des décideurs ou à des groupes réels de gestionnaires.

Concernant la préparation d'exercices de gestion de crise

Les trois phases de validation évoquées précédemment permettent d'ores et déjà de formuler quelques préconisations, en vue d'organiser des exercices réels de formation à la gestion stratégique de crise.

L'objectif est ainsi de favoriser une validation ultérieure de la méthodologie proposée pour le suivi et l'évaluation des participants.

Dans un souci de réalisme, il est tout d'abord suggéré que les participants arrivent progressivement dans la cellule de crise afin de reproduire l'arrivée différée des intervenants mobilisés. Dans le détail, il est proposé que le participant assurant le rôle de Directeur des Opération de Secours (DOS) identifie les fonctions dont il estime avoir besoin, réquisitionne les rôles associés et définisse une première répartition des tâches. En termes d'aménagement et d'équipements supplémentaires, il est préconisé de prévoir, si possible, une salle aveugle et déportée afin de disposer d'une zone faisant office d'isoloir. Des systèmes d'informations géographiques (SIG) doivent par ailleurs être mis à la disposition des participants afin qu'ils puissent étudier les enjeux susceptibles d'être menacés. Décider d'impacter un territoire plutôt qu'un autre en fonction des enjeux en présence peut s'avérer être un excellent cas d'étude (cf. figure 108, p249).

Il est important de rappeler que les deux modes de suivi des compétences mobilisées par l'équipe de gestion de crise sont : l'observation ou l'écoute des participants, et l'implémentation des interactions entretenues avec les formateurs. Il est recommandé que l'équipe d'animation soit constituée de formateurs (dont le nombre dépend des acteurs extérieurs identifiés) ainsi que d'un superviseur. En effet, il a été identifié que 11 des 16 compétences spécifiques peuvent être suivies au moyen de fiches informatisées d'aide à l'animation, à savoir : l'évaluation de l'aléa, la détermination des enjeux, la préservation des enjeux menacés, le choix des stratégies de retour à la normale, la gestion des renforts, l'analyse de la situation, la gestion des moyens, la communication de crise (médias, autorités et public), et les fonctions de veille et de prévision. En revanche, 5 des 16 compétences spécifiques ne peuvent être évaluées qu'au moyen d'une observation et d'une écoute directe du groupe de participants. Il s'agit de la direction stratégique, de l'arbitrage, de la communication interne, de la gestion humaine d'une cellule de crise, de l'anticipation des évolutions possibles. Bien que les fiches d'aide à l'animation contribuent majoritairement à l'implémentation des méthodes d'évaluation des participants, il est alors noté que la présence d'observateurs est capitale afin d'évaluer correctement 5 des 16 compétences dont la mobilisation est attendue. Pour pallier la nécessité de solliciter un nombre conséquent d'observateurs, une piste consisterait à mettre en place un système d'aide à l'observation dont le rôle serait d'enregistrer via les moyens d'acquisition déjà déployés (microphones, caméras) puis d'analyser automatiquement les comportements individuels et collectifs afin d'effectuer un suivi d'indicateurs clefs (stress, coopération, etc.).

Selon le scénario, les formateurs doivent par ailleurs assurer des rôles liés aux comités d'experts voués à venir en aide, si besoin, à la cellule de crise. En effet, certains points ne peuvent être connus des participants (nature du produit, moyens de récupération, traitement des déchets, etc.) et ces experts vont devoir, tout comme dans la réalité, venir en support du DOS pour apporter un soutien technique. De plus, il est préconisé de faire intervenir des médias fictifs – quelque soit le scénario de crise simulé – tant ces derniers occupent un rôle important lors d'une gestion de crise.

Une parenthèse doit être faite concernant les personnes endossant la responsabilité d'animateurs au sein de l'environnement semi-virtuel de formation à la gestion de crise. Il apparaît indispensable que ceux-ci aient, sinon une réelle expérience des acteurs dont ils vont assurer les rôles, au moins une maitrise des interactions qu'ils vont entretenir avec l'équipe de gestion de crise. Cet aspect inclut notamment la dimension

d'improvisation inhérente à l'implication de participants dont des attitudes proactives vont être suscitées par les évènements du scénario. Afin de conférer un degré de réalisme accru, il peut être souhaitable que certains rôles extérieurs à la cellule de crise soient ponctuellement assurés par des acteurs réellement mobilisés dans des situations analogues à la crise simulée.

Néanmoins, les risques liés au « *syndrome de l'instructeur* » [McKinney, 1997] nécessitent de formuler une mise en garde. Ce syndrome intervient lorsqu'un professionnel est plus souvent impliqué dans des actions de formation que dans l'accomplissement de tâches réellement issues de son métier. Un phénomène d'habitude à l'environnement simulé est alors naturellement développé, ce qui entraine des biais dans les distances sémantique, articulatoire et opératoire de l'instructeur. Cet aspect est d'ailleurs d'autant plus important que l'immersion dans l'environnement simulé est forte. Deux conséquences néfastes peuvent alors être constatées. La première témoigne d'une diminution de l'efficacité de l'apprentissage dispensé, dans la mesure où les avantages initialement recherchés (en termes de montée en compétence) sont dès lors dégradés. La seconde a un effet réciproque sur l'activité professionnelle de l'acteur-formateur, lequel peut involontairement transposer en situation réelle, des éléments vécus lors d'une simulation, avec tous les risques que cela entraine.

L'ensemble des éléments précédents permettent de formuler une recommandation identique concernant les participants ayant un profil « expert ». La phase d'entrainement du continuum d'apprentissage, vouée à favoriser l'apprentissage d'automatismes pose ainsi la question des mauvais réflexes susceptibles d'être acquis. L'évaluation d'un ratio « exercice simulé – expérience réelle » constitue ainsi une piste suggérée pour l'amélioration de la stratégie d'apprentissage socioconstructiviste. Il est à noter que les risques qui viennent d'être explicités semblent avoir un impact plus faible sur les phases d'initiation et de perfectionnement (profils néophytes ou initiés) dans la mesure où les simulations réalisées revêtent une dimension plus didactique que réaliste.

Il est important de noter à ce sujet qu'en plus des observateurs et du superviseur entre 10 et 17 rôles extérieurs ont été caractérisés selon l'ampleur de la crise simulée. Bien que certains rôles ne nécessitent pas une incarnation permanente (une association d'écologistes par exemple) il est noté qu'une répartition des supports d'aide à l'animation doit être effectuée. Huit formateurs peuvent par exemple être accueillis dans le complexe de formation de l'ISR, ce qui entraine une répartition moyenne d'une à deux fiches par personne. Mathématiquement, si l'indisponibilité de certains formateurs réduisait leur nombre à trois lors d'un exercice, chacun d'eux aurait à tenir entre 3 et 6 rôles environ. Il semble alors impératif d'étudier en amont une répartition des fiches informatisées d'aide à l'animation en fonction du nombre de formateurs, de l'importance de chaque acteurs simulé, et des congestions que peuvent créer la tenue simultanée par le même formateur de rôles ayant besoin d'être sollicité en même temps. Il apparaît ainsi que des biais pédagogiques non-souhaités peuvent être induit par l'indisponibilité irréaliste de certains acteurs simulés par les formateurs. Ce risque est d'autant plus grand que la supervision de deux équipes de gestion de crise va entrainer d'interactions entre les participants et les formateurs. Outre la validation en conditions réelles d'exercice de l'environnement semi-virtuel de formation, une variante de la stratégie pédagogique peut être suggérée si des dysfonctionnements étaient constatés. Celle-ci pourrait consister à déléguer le rôle d'animateur à certains participants (toujours sous la responsabilité d'un superviseur), non seulement pour

sensibiliser ceux-ci aux contraintes des acteurs qu'une cellule de crise stratégique est amenée à solliciter, mais aussi afin de pallier les difficultés liées à la criticité du nombre de formateurs. Cependant, cette approche proposerait alors deux types d'exercices simultanés : d'ordre hybride EBAT-CTT pour les participants des cellules de crise, et polyvalente pour les participants à l'animation. Ceci nécessiterait dès lors l'élaboration d'une nouvelle stratégie pédagogique (suivi, évaluation, débriefing, etc.).

Enfin, l'ensemble des analyses issues des trois étapes de validation réalisées précédemment peuvent laisser supposer que l'environnement semi-virtuel de formation conçu en vue de favoriser l'acquisition de savoir, savoir-faire et savoir-être, pourrait s'appliquer à une autre thématique que celle de la gestion stratégique de crise. En effet, bien que les objectifs pédagogiques, les types d'agents développés et les arbres d'évaluation des participants revêtent un caractère fortement lié à la problématique étudiée, il apparaît néanmoins que les quatre axes méthodologiques généraux peuvent être étendus et généralisés à d'autres thématiques de formation (cf. figure 12 présentant la schématisation de la méthodologie proposée pour définir un environnement semi-virtuel de formation, p105).

CONCLUSION GENERALE ET PERSPECTIVES

L'analyse rétrospective des difficultés classiquement rencontrées par les décideurs et leurs équipes durant la gestion stratégique de crises, met en évidence l'impact positif de l'expérience sur les processus de coordination, de représentation mentale partagée, d'organisation des comportements intergroupe, et de prise de décision. La nécessité de mettre en place des exercices de formation est à ce titre fondée sur l'importance de reproduire des situations particulières, complexes et incertaines, urgentes et inconnues, catastrophiques et déstabilisatrices à plus ou moins long terme.

Ce travail de recherche a d'une part mis en lumière l'importance pour le décideur et son équipe de pouvoir performer les stratégies de gestion de crise en intégrant leurs retours d'expérience dans des scénarios reproduisant les conditions et les situations auxquelles ils ont déjà été confrontés. Il a d'autre part été identifié qu'il est impératif pour eux de pouvoir maintenir un niveau de mobilisation suffisant des compétences clefs de la gestion de crise, lors d'exercices simulant les évènements imprévus ou inconnus inhérents à toute crise de grande ampleur.

L'étude de l'existant en matière de plateformes de formation à la gestion de crise, a néanmoins permis de constater que la préparation, l'organisation, l'animation et l'analyse rétrospective des exercices s'accompagnent de difficultés et de problèmes non seulement liés à la problématique concernée, mais aussi relatifs à l'inadaptation du cadre technico-pédagogique aux profils et aux besoins des participants. L'état de l'art en matière d'apprentissage organisationnel et d'environnement pédagogique a de plus permis d'identifier plusieurs pistes d'amélioration, tant en termes de simulation réaliste d'un scénario de crise, que d'optimisation des processus didactiques impliqués. Il est apparu en particulier intéressant d'étendre la problématique initiale d'entrainement de décideurs (considérés comme déjà expérimentés), à l'initiation (de néophytes) et au perfectionnement (d'initiés) afin de conférer à la démarche proposée une dimension plus globale.

Pour intégrer l'ensemble des éléments évoqués, il a été choisi de définir un environnement semi-virtuel de formation à la gestion stratégique de crise, basé notamment sur la simulation multi-agents. Les quatre axes méthodologiques retenus portent sur :

- La contribution à la création d'un complexe de formation à la gestion de crise,
- La contribution à la génération semi-automatique d'un scénario de crise fictif,
- La contribution à la simulation interactive d'une crise (fictive ou réelle) au moyen d'un système multi-agents,
- Et la contribution à l'aide à l'animation et au débriefing d'un exercice.

Concernant le cahier des charges d'un complexe de formation à la gestion de crise

La méthodologie de conception proposée repose sur une triple approche temporelle-systémique-fonctionnelle qui a pour but de caractériser les composantes et les interactions essentielles attendues d'une plateforme de formation. En vue de disposer d'un environnement semi-virtuel adapté à la problématique de la gestion stratégique de crise, une architecture système multi-tiers distribuée dédiée et le cahier des charges d'une infrastructure physique ont été élaborés. La simultanéité de ce travail de recherche avec la construction de l'Institut des Sciences des Risques à l'Ecole des Mines d'Alès, a favorisé l'application des préconisations formulées au sein d'un complexe de formation opérationnelle. L'approche socioconstructiviste retenue s'est traduite par une stratégie pédagogique permettant l'animation d'exercices dans trois configurations possibles : avec deux groupes concurrents, avec deux groupes concomitants, ou avec un seul groupe de participants. Il est cependant à noter que cette dernière configuration limite la méthodologie proposée en termes d'évaluation comparative.

Un composant de l'architecture multi-tiers – le service relatif à la constitution d'une base de connaissances permettant l'historisation des crises simulées et de leurs gestions – n'a pas fait l'objet d'un développement dans le cadre de ce travail de recherche. Il apparaît cependant que sa conception et sa mise en place nécessitent de suivre les décisions stratégiques des participants ainsi que les actions tactiques et opérationnelles réalisées par le système multi-agents. Le caractère distribué de l'architecture permet l'exécution locale ou distante des autres composants développés, facilite leur administration et leur synchronisation, et donne la possibilité d'activer ou non certains services en fonction si des raisons techniques ou pédagogiques le nécessitent.

Une autre perspective relève de la disposition retenue pour les participants (en demi-cercle). Bien que des contraintes techniques aient empêché le test de tout autre type d'aménagement des salles d'exercice de l'ISR, l'étude d'une disposition en îlots de travail serait une piste de travail. Il s'agirait plus précisément d'évaluer l'impact de la répartition géographique des membres de l'équipe de gestion de crise sur la communication, la coordination, et les représentations mentale de la crise simulée.

Concernant la génération semi-automatique d'un scénario de crise

La démarche a consisté en la modélisation d'un exercice d'un point de vue des objectifs pédagogiques et des évènements participant au réalisme d'un scénario de crise. La méthode de génération d'un scénario intègre à ce titre une typologie d'évènements didactiques (phénomènes catastrophiques, couples situations-tâches, et perturbations scénariques) ainsi que les trois profils de participants identifiés (néophytes, initiés, et experts). L'objectif est ainsi double : favoriser l'acquisition et la capitalisation des expériences à la fois individuelles et collectives. Une suite logicielle – appelée SimulCrise – a été spécialement conçue et développée afin de faciliter la supervision et l'animation d'un scénario de crise. Elle intègre non seulement les actions et les décisions des participants (fiches d'animation), mais réalise aussi un suivi en temps réel des compétences mobilisées en fonction des objectifs pédagogiques retenus.

Lors de ce travail de recherche, deux scénarios ont été ajoutés à SimulCrise, l'un portant sur un accident de transport de matières dangereuses (TMD) routier, et l'autre concernant une catastrophe maritime. Il apparaît ainsi pertinent de poursuivre l'enrichissement de cette plateforme applicative par l'implémentation d'autres scénarios (accident industriel, épisode de crues éclairs et d'inondations, etc.). Ceci doit passer, par voie de conséquence, par la modélisation d'autres phénomènes de la typologie telle qu'implémentée (incendie, explosion, dispersion, etc.).

Une deuxième perspective peut être proposée afin d'améliorer la génération semi-automatique des scénarios, en réalisant une évaluation préalable des participants (durant le briefing par exemple) afin d'identifier les éventuelles lacunes en termes de compétences. Cette approche permettrait de paramétrer le scénario d'exercice de façon à ce qu'il mobilise les compétences nécessitant d'être sollicitées prioritairement. De ce fait, la génération serait non plus semi-automatique, mais totalement automatisée puisque ciblant d'un point de vue méthodologique les compétences éventuellement manquantes du groupe. Les pistes qui peuvent être évoquées afin de réaliser cette évaluation préalable sont :

- L'autoévaluation, vouée à ce que chaque participant liste lui-même les points qui juge devoir approfondir,
- L'évaluation hors contexte faite par un tiers, qui peut passer à le remplissage d'un questionnaire par les participants, afin d'identifier les points d'amélioration,
- L'évaluation issue d'une mise en situation, impliquant de soumettre le groupe de participants à un premier scénario – possiblement très court – et servant à mettre en lumière les compétences à acquérir ou sur lesquelles il est nécessaire de s'entrainer.

Il semble enfin pertinent de rechercher une alternative à la méthode MOSAR pour la modélisation systémique et la visualisation des évolutions possibles d'un scénario. L'une des pistes possibles consisterait à employer une modélisation en UML, dont la richesse en termes de diagrammes représentatifs laisse penser qu'il s'agirait d'une approche cohérente pour tracer dynamiquement les tenants et les aboutissants des inflexions des formateurs comme des stratégies des participants sur un scénario généré au fil de l'eau.

Concernant la simulation interactive d'une crise au moyen d'un système multi-agents

Un ensemble de spécifications ont été formulées afin de structurer une méthodologie de simulation des agents de la plateforme. Deux approches ont été proposées afin de distinguer les agents réactifs et les agents archétypiques. Ce dernier type a été spécifiquement élaboré afin de compléter l'approche classique Belief-Desire-Intention par deux composantes anthropomorphiques : les caractéristiques et les aptitudes. L'outil Asymut développé dans le cadre de ce travail de recherche embarque un système multi-agents (développé sous Jade) conçu de manière à simuler les acteurs tactiques et opérationnels d'une gestion de crise.

La première stratégie de simulation d'un scénario repose sur un point de départ fixé par les formateurs et intègre des règles évènementielles permettant d'animer la crise simulée. La fin de l'exercice dépend alors des actions et décisions des participants, ainsi que des inflexions des formateurs. Cette fin peut être intimée, mais

il n'est pas exclu que l'état final du système multi-agents soit différent de celui intimé par les formateurs ou les participants. Cette approche est utile pour simuler un scénario de crise dont l'évolution, inconnue d'avance, dépend entièrement de règles physiques et anthropomorphiques implémentées (scénarios-canevas).

La seconde approche donne la possibilité de simuler un scénario basé sur un point de départ et sur des jalons scénariques définis par avance, en laissant dès lors Asymut activer tout évènement permettant de converger vers la tendance imposée. Cette approche peut être utilisée pour simuler un scénario réel pour lequel il est souhaitable d reproduire l'enchainement des évènements tels qu'ils ont pu être observés dans la réalité (scénario-programmé). Dans ce cas, le système multi-agents, bien que pouvant servir à cette fin, n'exploite pas toutes les opportunités offertes par la méthodologie telle qu'explicitée lors de la définition de l'environnement semi-virtuel de formation. Cependant, il est à noter comme perspective que cette approche donne la possibilité aux décideurs de construire leurs propres scénarios puis de bénéficier – sous condition d'une implémentation préalable – du cœur de simulation multi agents Asymut.

L'approche archétypique spécifiquement caractérisée intègre différents paramètres qui tendent à garantir l'évolutivité du système multi-agents. L'ajout dans Asymut de nouvelles aptitudes à émuler nécessite simplement l'identification et l'implémentation du comportement correspondant et de la liaison de ce dernier avec la caractéristique mobilisée (constitution, cognition, observation, et précision). Une étape de validation doit à ce propos être envisagée afin d'adapter, si besoin, l'ensemble des coefficients proposés (scores et modificateurs) afin que scénario ne diverge pas de manière irréaliste. L'une des perspectives possibles consiste à ce que les niveaux de difficulté ainsi que les valeurs de caractéristiques soient spécifiés et ajustés au moyen d'avis d'experts.

L'emploi de graphes pour concevoir les comportements des agents d'Asymut, apparaît pertinent dans la mesure où il est dès lors possible de les transposer directement en diagrammes états-transitions (UML) et en machine à états finis dans le système multi-agents. D'autres propriétés issues de la théorie des graphes peuvent en outre justifier le choix de modélisation (en dehors de la connexité qui est déjà requise). Il peut en effet être suggéré de rendre les graphes pondérés afin de faciliter, dès leur conception, l'établissement de priorités pour les règles d'activation des comportements. Une autre perspective, particulièrement adaptée si des comportements riches et complexes viennent à être décrits, peut consister à doter les agents d'algorithmes leur permettant de minimiser les parcours au sein des graphes comportementaux afin d'optimiser l'atteinte de leurs désirs (plus court chemin entre deux états).

Plus largement, il convient que la méthodologie proposée pour la simulation fasse l'objet d'une validation sur un scénario d'une complexité analogue à celle d'une crise. En effet, le cas de référence utilisé étant de nature accidentelle (TMD), une perspective pourrait par exemple être de s'attacher à la simulation multi-agents d'un scénario de grande ampleur. La programmation des comportements appartenant aux agents du scénario de pollution marine semble une piste privilégiée, qui pourrait être réalisée en implémentant des plans d'intervention lors de catastrophes maritimes [Mercantini, 2011]. Une approche complémentaire consisterait à poursuivre la phase de validation d'Asymut au moyen d'autres évènements réels permettant ainsi de calibrer de manière plus générique les coefficients actuels tout comme valider et préciser ces derniers dans l'éventualité où les hypothèses formulées s'avéraient exactes.

Enfin, des travaux déjà initiés par ailleurs [Lachtar, 2011] laissent penser qu'une perspective pourrait consister à étendre la simulation des agents à certaines fonctions assurées au niveau stratégique, par exemple dans le but de pallier l'absence de certains participants. Cette approche pourrait même tendre vers un apprentissage uniquement individuel : une personne se formerait au moyen d'un système qui émule l'environnement en entier, depuis les avatars des autres membres de la cellule de crise, aux entités déjà émulées dans la version actuelle d'Asymut. Cette perspective ouvre de ce fait la voie à un système automatisé d'aide à l'évaluation.

Concernant la méthodologie d'aide à l'animation et au débriefing

Trois méthodes d'évaluation (pédagogique, comparative et organisationnelle) ont été définies afin de promouvoir un suivi amélioré et un débriefing constructif de chaque exercice de formation.

L'évaluation pédagogique se traduit par deux approches mises au point pour le suivi en temps réel des participants grâce à des diagrammes radars de diagnostic des objectifs pédagogiques atteints ou non par le groupe. Ces derniers sont évalués sous l'angle des interactions entretenues avec les acteurs extérieurs – dont les rôles sont assurés par les formateurs – et qui sont intégrées dans le système multi-agents pour actualiser l'évolution de la crise simulée. Il peut à ce titre être recommandé de réaliser des exercices-tests afin d'identifier le nombre d'observateurs nécessaires afin d'évaluer les six compétences dont la mobilisation ne peut être évaluée que par une observation ou une écoute directe des participants. S'orienter vers des techniques de mesure HRO (*High Reliability Organizations*) qui proposent des indicateurs de fiabilité organisationnelle notamment lors simulations multi-acteurs. Il peut s'agir de mesures non invasives des émotions, analyse et traitement en temps réel des données échangés sur les réseaux (informatiques, téléphoniques). Cette perspective permettrait de comprend comment les informations perceptibles sont captées par chaque participant, comment elles sont partagées au sein du groupe, et comment le stress est géré aussi bien au niveau individuel que collectif.

L'évaluation organisationnelle est d'une part implémentée sur la base d'une observation et d'une écoute directes de l'équipe de gestion de crise (interactions internes) où l'objectif est de réaliser une analyse des comportements verbaux et non-verbaux des participants. Cette démarche a d'autre part pour objectif de cartographier les compétences mobilisées par les participants lors de l'exercice au moyen d'arbres de compétences.

Les fondements d'une évaluation comparative ont été posés mais non développés dans le cadre de ce travail de recherche. Cette approche théorique repose sur apprentissage rétroactif provenant des stratégies distinctement adoptées par deux groupes de gestion de crise. Il s'agit de permettre l'échange de choix alternatifs sans positionner le formateur – dont l'autorité n'est pas nécessairement acquise, implicite ou jugée légitime – au centre du transfert de connaissances. Toutefois, il est nécessaire de définir la modalité d'animation de cette phase et d'étudier les interactions initiatrices d'apprentissages liées au partage d'expériences. Il semble pertinent de favoriser au préalable l'auto-évaluation de chaque groupe ainsi que l'analyse réflexive des actions réalisées afin de préparer la phase d'évaluation comparative. Une des

perspectives envisageables pourrait alors consister à employer des méthodes existantes qui semblent pouvoir répondre à cet objectif, comme la méthodologie REXAO par exemple (cf. annexe XXII).

Concernant la définition de l'environnement semi-virtuel pour la formation

Une approche hybride EBAT-CTT a été retenue puis appliquée au moyen d'une stratégie évènementielle de génération d'un scénario impliquant une prise de décision en conditions dégradées. Pour ce faire, quatre axes thématiques ont été définis dont les trois premiers ont fait l'objet d'une phase de validation. Il est dès lors noté que l'usage d'un environnement semi-virtuel pour la formation n'est pas neutre, mais structurant.

Ces étapes permette de formuler de premières analyses, dont la première laisse penser que le fonctionnement de la plateforme pourrait être étendue à l'animation de formations d'un autre type polyvalentes dont le but serait de sensibiliser les participants à d'autres aspects de la gestion de crise afin d'en favoriser la compréhension. Cette perspective semble cependant plus appropriée aux exercices d'entraînement que pour des phases d'initiation ou de perfectionnement. Il parait en effet indispensable que chaque participant soit aguerri dans son propre rôle avant d'envisager cette ouverture à d'autres compétences. Il peut être noté qu'une des suites de ce travail pourrait être de considérer d'ajouter des compétences techniques à la liste de celles faisant l'objet d'un suivi et d'une évaluation.

L'approche stratégique de la gestion de crise a conduit à retenir la simulation virtuelle comme type de représentation adaptée au contexte de formation. La simulation virtuelle est en effet dédiée à l'émulation d'une situation possiblement fictive dont la perception et l'interprétation peut différer entre deux individus : son application au niveau de la prise de décision stratégique est donc justifiée par la nécessité de partager une même représentation de la situation d'urgence au sein de la cellule de crise. Il apparait néanmoins impératif d'éprouver la plateforme en réalisant plusieurs formations complètes afin d'évaluer la pertinence des choix retenus en matière de simulation virtuelle 3D et de mesurer l'adéquation entre les moyens mis en œuvre et les objectifs initialement poursuivis. De la même façon, il semble indispensable d'étudier le rendu de la simulation virtuelle afin de réduire d'éventuels biais induits par la représentation d'éléments inappropriés ou par une ergonomie inadaptée.

Il peut par ailleurs être évoqué une perspective concernant un autre mode de représentation, la réalité virtuelle, qui permet un travail approfondi des gestes opérationnels. Il semble alors intéressant de mettre en corrélation les trois composantes « stratégique – tactique – opérationnelle » de la gestion de crise avec un continuum d'outils de formation qui pourraient respectivement aller de la simulation à la réalité virtuelle. Ceci laisse ainsi penser qu'il serait envisageable que la formation à un niveau tactique puisse tirer un intérêt à reposer sur des représentations à la fois de réalité et de simulation virtuelles. De manière plus générale, l'utilisation d'une technologie alternative, la réalité augmentée, constitue une perspective d'étude supplémentaire.

L’une des façons d’améliorer l’environnement semi-virtuel défini et développé pour la formation à la gestion stratégique de crise apparait par ailleurs comme devant porter sur l’intégration de réflexions issues des sciences psychosociales, et qui n’ont pas fait l’objet d’une étude dans le cadre de ce travail de recherche (altérabilité, dysaffectivité, asociabilité, dissonance et rationalisation, stress et désadaptation, etc.).

Une autre perspective pourrait consister à étendre la finalité de l’environnement semi-virtuel à une problématique de formation plus générale et relevant de la sécurité globale. L’objectif serait alors de tenir compte des risques majeurs, tout en intégrant aux processus de génération semi-automatique des scénarios des évènements plus diversifiés (actes de malveillance, etc.).

Enfin, l’environnement semi-virtuel qui a été élaboré dans une optique de formation, ouvre la voie à un deuxième emploi futur. Il peut en effet être imaginé d’utiliser à l’avenir la plateforme développée comme un *living lab*, c'est-à-dire comme une structure permettant de capitaliser des données réalistes en matière de gestion de crise et de tendre vers un recueil de bonnes pratiques qui aurait pour but d’améliorer l’expertise des cellules de crise. Cette perspective semble notamment envisageable dans la mesure où l’environnement semi-virtuel a été conçu durant ce travail de recherche comme un terrain d’expérimentation de technologies de l’information innovantes et d’outils d’aide à la décision.

Références bibliographiques

Abbar, N., Caer, Y., Schenk, L., Castelnau, D., *Facteurs de stress psychosociaux et conduites* suicidaires, Le stress - L'encéphale, 1993.

Adkins-Regan, E., *Is the snark still a boojum ? The comparative approach to reproductive behavior*, Neuroscience and biobehavioral reviews, 1990.

Allegri, B., *L'informatique décisionnelle dans le milieu de la santé*, ITBM-RBM News, Volume 25, Issue 3, June 2004, Pages 10-13, ISSN 1297-9570, 10.1016/S1297-9570(04)80025-6.

Alvarez, J., *Du jeu video au serious game : approche culturelle, pragmatique et formelle*, Thèse de doctorat, Spécialité science de la communication et de l'information, Université Toulouse II, 2007.

Arno, P., Kay, R., *CORBA : theory and practice*, 2001.

Bahe, S., *Les pollutions maritimes accidentelles en France : Risques, Planification, Gestion de crise. Thèse*, 606p., 2008.

Baker, M., Bronner, A., *et al., Gestion de l'interaction et modèles de dialogues*, dans : L. Hermès (Ed.), Environnements Informatiques pour l'Apprentissage Humain, Paris, Science Publications: 117-138, 2006.

Banks, J. *Introduction to simulation*. Papier présenté à la conférence " The 2000 Winter Simulation Conference", 10-13 Décembre 2000, Orlando, USA, pp. 9-16.

Banks, J., *Panel session: education for simulation practice – five perspectives*, 2001 winter simulation conference, 2001.

Barnier, G., *Théories de l'apprentissage et pratiques d'enseignement*, IUFM d'Aix-Marseille, consulté le 28-11-2008, disponible sur http://www.aix-mrs.iufm.fr.

Bates, E., Thal, D., Marchman, V., *Symbol and syntax : a darwinian approach to language development*, in Krasnegor, N., A., Rumbaugh, D., M. , Schiefelbusch, R., L., Studdert-Kennedy, M., (Ed) : Biological and behavioral determinant of language development, Lawrence Erlbaum Associates, Hillsdale, 1991.

Baudrit, A., *L'apprentissage coopératif, Origines et évolutions d'une méthode pédagogique*, Pédagogies en développement, De Boeck Université, 2005.

Baumard, Ph., *Des organisations apprenantes ? Les dangers de la « consensualité »*, Revue Française de Gestion, sept-oct., p.49-57, 1995.

Beaudouin Lafon, M., *Designing interaction, not interfaces*, 2004.

Beauvois, J.-L., Joule, R.-V. : *La psychologie de la soumission*, La recherche, 202:1050-1057, 1988.

Bellamine, N., Saoud, B., *et al., Simulation multi-agents de situation de secours d'urgence*, consulté le 11/03, disponible sur www.iihm.imag.fr/dugdale/jfim.pdf.

Beroggi, G.E.G., Waisel, L., *et al., Employing virtual reality to support decision making in emergency management*, Safety Science, 1995.

Binmore, K., *Commentary: Nash's work in economics*, Games and Economic Behavior, vol. 71, no 1, p. 2-5, 2011.

Blanchard M., *Outil de réalité virtuelle dédié à la formation aux accidents technologiques*, Mémoire de Master SIE, Ecole des Mines d'Alès, soutenu le 28 septembre 2007.

Blickensderfer, E., Cannon-Bowers, J.A. & Salas, E., *Cross-Training and team performance*. Dans Cannon-Bowers, J. & Salas, E. (Eds), *Making decision under stress. Implications for individual and team training*, Washington, DC: American Psychological Association, pp. 299-311, 1998.

Borodzicz, E. P., Van Haperen, K., *Individual and group learning in crisis simulations*, Journal of contingencies and crisis management 10(3): 139-147, 2002.

Bousquet, F., Barreteau, O., *et al.*, *Modélisation d'Accompagnement : Systèmes Multi-Agents et Gestion des Ressources Renouvelables*, Quel environnement au 21ème siècle ? Environnement, maîtrise du long terme et démocratie, Paris, 1998.

Boutté, G., *Risques et catastrophes: comment éviter et prévenir les crises?*, Le management des situations complexes, 2006.

Brandolese, A., Brun, A., *et al.*, *Multi-agent approach for the capacity allocation problem*, International Journal of Production Economics, 66: 269-285, 2000.

Brannigan, A., *Le fondement social des découvertes scientifiques*, PUF, 1996.

Bratman, M. E., *Intentions, Plans, and Practical Reason*, Harvard University Press: Cambridge, MA, 1987.

Brehmer, B., *Dynamic decision making: a paradigm for the study of problems of command and control?*, Manuscript to a report, FOA, 1994.

Briot, J.-P., Demazeau, Y., *Principes et Architectures des SMA*, Hermes, 2001.

Briot, J.-P., Guessoum, Z., *et al.*, *Dynamic adaptation of replication strategies for reliable agents*, Second Symposium on Adaptive Agents and Multi-Agent Systems (AAMAS-2), AISB'02 Convention, London, U.K., 2002.

Bronner, C., *Utilisation des données opérationnelles pour l'aide à la décision en situation accidentelle impliquant une substance dangereuse : application à l'identification du terme source*, Thèse de doctorat, Ecole Nationale Supérieure des Mines de Saint-Etienne, 2008.

Bruinsma, G., De Hoog, R., *Exploring protocols for multidisciplinary disaster response using adaptive workflow simulation*, 3rd International ISCRAM Conference, 2006.

Bryant, D.J., Webb, R.D.G, McCann, C., *Synthétiser deux modes d'approche de la prise de décision pour le commandement et le contrôle*, Revue militaire canadienne, pp.29-34., 2003.

Burkhardt, J. M., *Réalité virtuelle et ergonomie : quelques apports réciproques*, Le travail humain 66(1):65-91, 2003.

Buser, P., *La conscience animale*, Pour la science, 302:84-87, 2002.

Caetano, H., Mathieu, J., *Le programme INTEMPERIES: des logiciels pour la formation à la prise de décisions en situation de stress au cours de la gestion d'une catastrophe*, Modélisation et Simulation des systèmes de production et de logistique MOSIM'97, 1997.

Cannon-Bowers, J.A., Salas, E., Converse, S., *Shared mental models in expert team decision making*, Dans Castellan, N., (Ed.), Individual and Group Decision Making: Current Issues, Hillsdale, NJ: Erlbaum, 1993.

Carpenter, S. A., Hafner, W., *The Vision Hierarchy of Understanding: Explanation and Evidence for the Emergence of Data, Information, Knowledge, and Wisdom*, Graduate School of Computer and Information Sciences, NSU, 2008.

Carré, R., Dégremont, J.F., Gross, M., Pierrel, J.M., Sabah, G., *Langage humain et machine*, Presse du CNRS, p.48, 1991.

Cohen, M.S., Freeman, J.T., Thompson, B., *Critical thinking skills in tactical decision making: a model and a training strategy*, Dans Cannon-Bowers, J. & Salas, E. (Eds), *Making decision under stress*, Implications for individual and team training, Washington, DC: American Psychological Association, pp. 155-190, 1998.

Cortes Buitrago, G., *Simulations et Contrôle Pédagogique : Architectures Logicielles Réutilisables*, Thèse de doctorat, Université Joseph Fourier, Grenoble, 1999.

Courau, S., *Les outils d'excellence du formateur*, ESF éditeur, Paris, 1993.

Crampes, M., Saussac, G., *Facteurs de qualité et composantes de scénario pour la conception de simulateurs pédagogiques à vocation comportementale*. Sciences et techniques éducatives, volume 6, numéro 1, pp. 11-36, 1999.

Crampes, M., Saussac, G., *L'acte d'apprentissage au cœur de la simulation*, Colloque international NTICF (Nouvelles Technologies de l'Information et de la Communication dans les Formations d'Ingénieurs et dans l'Industrie), INSA, Rouen, 1998.

CRF (Croix Rouge Française), *Guide de l'instructeur – Formations de formateurs – Outils de base : connaissances essentielles*, Délégation Nationale à l'Urgence et au Secourisme, 2008.

Crichton, M. T., *Improving team effectiveness using tactical decision games*, Safety Science 47(3): 330, 0925-7535, 2009.

Crichton, M. T., *Incident Command Decision Making – a Psychological Perspective*, VectorCommand, Information Bulletin, p4, 2002.

Crichton, M., *Training Decision Makers - Tactical Decision Games*, Journal of contingencies and crisis management 8(4): 208-217, 2000.

Crichton, M.T., Flin, R., *et al.*, *Training Decision Makers – Tactical Decision Games*, Journal of contingencies and crisis management 8(4): 208-217, 2000.

Crichton, M.T., Flin, R., *Identifying and training non-technical skills of nuclear emergency response teams*, Annals of Nuclear Energy, volume 31, publication 12, pp. 1317-1330, 2004.

Crocq, L., Huberson, S., Vraie, B., *Gérer les grandes crises sanitaires, écologiques, politiques et économiques*, Odile Jacob, 2009.

Crozier, M., Friedberg, E., *L'acteur et le système : les contraintes de l'action collective*, Editions du Seuil, 1981.

Dautun, C., *Contribution à l'étude des crises de grande ampleur: connaissance et aide à la décision pour la Sécurité Civile*, Thèse de doctorat, Ecole Nationale Supérieure des Mines de Saint-Etienne, 2007.

De Vries, E., Baillé, J., *Apprentissage : référents théoriques pour les EIAH*, dans: Lavoisier (Ed.), Environnements informatiques pour l'apprentissage humain, Hermes-science: 384, 2006.

Delaître, S., Moisan, S., Mille, A., *Instrumentation d'un processus de retour d'expérience pour la gestion des risques*, Congrès IC2000 : ingénierie des connaissances, Toulouse, 10-12 mai 2000.

Denis, H., *Gérer les catastrophes, l'incertitude à apprivoiser*, Les Presses Universitaires de Montréal, Montréal, 248p., 1993.

Derveeuw, J., *Simulation multi-agents de marchés financiers*, Thèse de doctorat, Université des Sciences et Technologies de Lille, Lille, Informatique, 2008.

Devooght, K., *Modélisation de la capacité d'un agent intentionnel en fonction de ses activités*, Journées Nationales de l'IA Fondamentale, IAF'07, 2007.

Dewey, J., *Experience and education*, New-York, Simon and Schuster, 1938; cité par [Kebritchi, 2008].

Donovan, M.A., Sniezek, J.A., Baumann, M., *Learning from Unusual Events: Decision Making in Crisis*, Papier présenté au colloque sponsorisé par le "Managerial and Organizational Cognition and Organizational Behavior" département de l'Académie du Management, Cincinnati, Ohio, 1996.

Drogoul, A., *De la simulation multi-agents à la résolution collective de problèmes*, Thèse de doctorat, Université Paris 6, Paris, 1993.

DSC (Direction de la Sécurité Civile), *Exercices de Sécurité Civile: Comment les préparer ? Les réaliser ? Les évaluer ? - Mémento en 10 points*, 2008.

Duke, R., Greenblat, C., *Principles and Practices of Gaming Simulation*, Londres: Sage, 1981.

Earnshaw, R.A., *Conference program for virtual reality in medicine and surgery*. Leeds, 1994.

Eddings, J., *How virtual reality works*, Emeryville CA. Ziff-Davis press, 1994.

Endsley, M., *Designing for situation awareness in complex systems*, Papier présenté à la conférence sur les facteurs humains de prise de décision dans les systèmes complexes, Dunblane, Ecosse, 2003.

Erickson, F., *Ethnographic Microanalysis of Interaction*, Dans LeCompte, M.D., Millroy, W.L., Preissle, J. & Eri, E. (Eds.), The Handbook of qualitative research in education, San Diego: Academic Press, pp. 201-225, 1992.

Faerber, R., *Groupements, processus pédagogiques et quelques contraintes liés à un environnement virtuel d'apprentissage*, EIAH (Environnements Informatiques pour l'Apprentissage Humain), Strasbourg, 2003.

Ferber, J., *Les systèmes multi-agents : Vers une intelligence collective*, 1995, cité par [Querrec, 2002].

Fillol, C., *Apprentissage et systémique: une perspective intégrée*, XIII ème conférence de l'AIMS, Vallée de seine, France, 2004.

Flin, R.H., *Sitting in the hot seat: leaders and teams for critical incident management*, Chichester: Wiley, 1996.

Flin, R.H., Slaven, G.M., *Identifying the right stuff: selecting and training on-scene emergency commanders*, Journal of contingencies and crisis management, 1995.

Florea, A., *et al.*, *Technologies de l'information et de la communication et appropriation des savoirs : agents intelligents*, disponible sur http://turing.cs.pub.ro, 2002.

Fowlkes, J.E., Dwyer, D.J., Oser, R.L., Salas, E. *Event-based approach to training*. The International Journal of Aviation Psychology, numéro 8, pp. 209-221, 1998.

Fredholm, L. *Emergency management as coordinated cognitive modeling on different time-scale*, Lunds tekniska högskola, 1999.

Friedberg, E., *Comment lire les décisions ?*, Cultures & Conflits, 36: 151-164, 2000.

Gadomski, A.M., Bologna, S., DiCostanzo, G., Perini, A., Schaerf, M., *An Approach to the Intelligent Decision Advisor (IDA) for Emergency Managers*, TIEMS'99. The Sixth Annual Conference of The International Emergency Management Society, Delft, Netherlands, 8-11 juin 1999.

Galvão, J.R., Martins, P.G., Gomes, M.R., *Modeling Reality with Simulation Games for a Cooperative Learning*, The 2000 Winter Simulation Conference, Orlando, USA, pp. 1692-1698, 10-13 Décembre 2000.

Garbolino, E., Chery, J.P., Guarnieri, F., *Dynamic systems modelling to improve risk analysis in the context of seveso industries*, Chemical Engineering Transactions, vol. 17 : 373-378, 2009.

Girod M., *La mémoire organisationnelle*, Revue Française de Gestion, p.30-42, sept-oct 1995.

Goldstein, D.G., Gigerenzer, G., *The recognition heuristic: How ignorance makes us smart*? Dans Gigerenzer, G., Todd, P.M., *The ABC Research Group, Simple Heuristics that Make Us Smart*, Oxford University Press, New York, pp.37-58, 1999.

Granlund, R., Johansson, B., Persson, M., Artman, H., Mattsson, P., *Exploration of methodological issues in micro-world research – Experiences from research in team decision making*. Papier présenté à la conférence Cognitive Research With Microworlds CRWM 2001, Granada, Spain, 14-16 Novembre 2001.

Gredler, M., *Evaluating games and simulations, a process approach*, London: Kogan, 1992, cité par [Borodzicz, 2002].

Greimas A. J., *Sémantique structurale : recherche et méthode*, 1966.

Guéraud, V., *Approche Auteur pour les Situations Actives d'Apprentissage: Scénarios, Suivi et Ingénierie*, Habilitation à Diriger des Recherches, Université Joseph Fourier – Grenoble 1, Grenoble, Informatique, 2005.

Guéraud, V., *Pour une ingénierie des situations actives d'apprentissage, Environnements interactifs pour l'apprentissage humain*, EIAH 2003 conference, Strasbourg, France, 2003.

Guilbert, J.J., *Guide pédagogique pour le personnel de santé*, O.M.S. Genève, 1990.

Heiderich, D., *Plan de gestion de crise : organiser, gérer et communiqué en situation de crise*, Dunod, 2010.

Hellouin, V., *Apprentissage collaboratif en ligne: la valeur ajoutée des pédagogies actives*, dans Inffo E.C., *E-formation: phase opérationnelle*, 2003.

Hogarth, R.M., *Judgment and Choice: The psychology of decision*, John Wiley, New York, 1980.

Houssaye, J., *Théorie et pratiques de l'éducation scolaire: le triangle pédagogique*, Peter Lang, 2000.

Idasiak, V., Pensec, R., *et al.*, *Virtual POI: Method and tools, 15ème congrès de maîtrise des risques et de sûreté de fonctionnement*, Lille, 2006.

Ikeda, Y., Beroggi, G.E.G., *et al.*, *Supporting multi-group emergency management with multimedia*, Safety Science(30): 223-234, 1998.

Joab, M., Auzende, O., *et al.*, *La prise en compte de la dynamique dans la conception d'un système de formation professionnelle fondé sur la simulation*, Sciences et Techniques Educatives, 2000.

Joab, M., Guéraud, V., *et al.*, *Les simulations pour la formation*, 2006.

Johnson, D. W., Johnson, R. T., Johnson-Holubec, E., Roy, P., *Circles of Learning. Cooperation in the Classroom*, Association for Supervision and Curriculum Development, 1984.

Johnson, S. D., Suriya, C., *et al.*, *Team development and group processes of virtual learning teams*, Computers & Education 39(4): 379, 2002.

JORF, *Loi n° 2004-811 du 13 août 2004 de modernisation de la sécurité civile*, 2004.

Kanno, T., Furuta, K., *Modelling and simulation of inter and intra-organisational communication and coordination in emergency response*, International Journal of Emergency Management 3: 149-167, 2006.

Kanno, T., Morimoto, Y., *et al.*, *A distributed multi-agent simulation system for the assessment of disaster management system*, International Journal of Risk Assessment and Management 6: 528-544, 2006.

Kantowitz, B.H., *Selecting measures for human factors research*, Human Factors, numéro 34, volume 4, pp. 387-398, 1992.

Kebritchi, M., Hirumi, A.C., *Examining the pedagogical foundations of modern educational computer games*, Computers & Education 51(4): 1729, 2008.

Kervern, G.Y., *Éléments fondamentaux des cindyniques*, Economica, Paris, 1995.

Kincaid, J. P., Donovan, J., *et al.*, *Simulation techniques for training emergency response*, International Journal of emergency Management 1(3), 2003.

Klein, G., Calderwood, R., Macgregor, D., *Critical decision method for eliciting knowledge*, IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics 19, 1989.

Klein, G., *The recognition-primed decision (RPD) model: looking back, looking forward*. Dans Zsambok, C., Klein, G., *Naturalistic Decision Making*, 1997, Mahwah, NJ: Erlbaum, 1997.

Labat, J.M., Pernin, J.P., *et al.*, *Contrôle de l'activité de l'apprenant: suivi, guidage pédagogique et scénarios d'apprentissage*, dans: Lavoisier, *Environnements informatiques pour l'apprentissage humain*, Hermes-science: 384, 2006.

Lachtar, D., Garbolino, E., *Performance evaluation of organizational crisis cell: methodological proposal at communal level*, ESREL 2011, Troyes, France, 2011.

Ladagec, P., *Le risque technologique et les situations de crise*, Annales des Mines, pp. 41-42, Août 1984.

Laffitte, J., Howe, R.M., *Interfacing fast and slow subsystems in the real-time simulation of dynamic systems*, Transactions of the Society for Computer Simulation Volume 14, Issue 3, ISSN: 07406797, CODEN: TSCSE, 1997.

Lagadec, P., *Apprendre à gérer les crises - Société vulnérable, acteurs responsables*, 1993.

Lagadec, P., *Cellule de crise, les conditions d'une conduite efficace*, Les éditions d'organisation, Paris, 1995.

Lagadec, P., *Enseigner la question des crises : Enjeux, Obstacles, Initiatives*. Cahier du Laboratoire d'Econométrie, numéro 2007-01, Ecole Polytechnique, Paris, Janvier 2007.

Lagadec, P., *La Gestion des Crises - Outils de réflexion à l'usage des décideurs*, 1991.

Lagadec, P., *Les exercices de crise: pour des ruptures créatrices*, Institut Européen de Cindyniques, Lettre n° 34 - juillet août 2001.

Latta, J.N., Oberg, D.J., *A conceptual virtual reality model*, IEEE Comp Graphics Applic;14:23, 1994.

Le Bars, M., *Un Simulateur Multi-Agent pour l'Aide à la Décision d'un Collectif: Application à la Gestion d'une Ressource Limitée Agro-environnementale*, Thèse de Doctorat, Université Paris IX - Dauphiné, Paris, Sciences des organisations, 2003.

Le Bas, C., *La firme et la nature de l'apprentissage*, Economies et Sociétés, Série Dynamique technologique et organisation(1): 7-24, 1993.

Leplat, J., *Compétence et ergonomie*, dans Amalberti, R., *Modèles et analyse du travail*, Liège, Mardaga: 107 – 132, 1991.

Lévy, P., Authier, M., *Les arbres de connaissances*, Paris : Editions La Découverte, 180 p, 1992.

Libaert, T., *La Communication de Crise*, Éditions Dunod Topos, 2001.

Lindell, M. K., Perry, R. W., *et al.*, *Organizing response to disasters with the incident command system / incident management system (ICS / IMS)*, International workshop on emergency response and rescue, 2005.

Liu, D., Nickens, T., Wang, Y., *Modeling Decision-Making Learning Process under Crisis Situation*. 2004.

Loosemore, M., *Organisational behaviour during a construction crisis*, International Journal or Project Management, Vol. 16, N°2, pp. 115-121, 1998.

Lourdeaux, D., Burkhardt, J. M., *et al.*, *Relevance of an intelligent tutorial agent for virtual reality training systems*, International Journal of Continuing Engineering Education and Life-Long Learning(12): 214 – 229, 2002.

Lourdeaux, D., *Réalité Virtuelle et Formation: Conception d'Environnements Virtuels Pédagogiques*, Thèse de Doctorat, Ecole des Mines de Paris, Paris, Informatique Temps Réel, Robotique et Automatique, 2001.

Mager, R.F., *Comment formuler les objectifs pédagogiques*, Ed. DUNOD Paris, 1995.

March, J.G., Simon, H.A. *Organizations*, New York: Wiley, 1958.

Martel, C., Lejeune, A., Ferraris, C., Vignolet, L., *Scénariser les 4 piliers de la pédagogie, Environnements Informatiques pour l'Apprentissage Humain*, EIAH 2007, Lausanne, 2007.

McKinney, E.H., *Flight leads and crisis decision-making*, Aviation, Space and Environmental Medicine, numéro 64, volume 5, pp. 359-362, 1997.

McLennan, J., Pavlou, O., Klein, P., *Using video during training to enhance learning of incident command and control skills*, papier présenté à la conference "Fire Service College Research Conference", Moreton-in-Marsh, Gloucester, 16-17 Novembre 1999.

Means, B., Salas, E., Crandall, B., Jacobs, T.O., *Training decision makers for the real world*, dans Klein, G.A., Orasanu, J., Calderwood, R., Zsambok, C.E., *Decision Making in Action: Models and Methods*, Norwood, NJ: Ablex Publishing Corp., pp. 306-326, 1993.

Mellet d'Huart, D., *La réalité virtuelle: un média pour apprendre*, Cinquième Coloque Hypermédias et Apprentissage, Grenoble, France, 2001.

Mendonca, D., Beroggi, G. E. G., *et al.*, *Designing gaming simulations for the assessment of group decision support systems in emergency response*, Safety Science 44(6): 523, 2006.

Mercantini, J.M., *GENEPI: un générateur de plans d'intervention*, dans Aprin, L., *et al.*, *CLARA II : Calculs Liés Aux Rejets Accidentels en mer, façade méditerranéenne*, projet ANR, 371pp, octobre 2011.

Mintzberg, H., *Voyage au centre des organisations*, 5ème Edition, Les Editions d'Organisations, 570 p, 1998.

Militello, L.G., Hutton, R.J.B., *Applied cognitive task analysis (ACTA): a practitioner's toolkit for understanding cognitive task demands*, Ergonomics, numéro 41, pp. 1618-1641, 1998.

Moloney, K, *Training Safety Panel*, International Scientific and Technical Soaring Organisation (OSTIV), 2005.

Moore, A., Educational games and simulations, consulté le 13/10/2008, disponible sur http://cops.uwf.edu, 2002.

Morin, M., Jenvald, J., Thorstensson, M., *Training first responders for public safety using modeling, simulation, and visualization*, Présenté à SIMSafe, Karlskoga, Suède, 15-17 Juin 2004.

Moulier, R., *Mener une réunion efficace*, Editions d'Organisation, 1999.

Mouloua, M., Koonce, J.M., *Human-Automation Interaction*, New Jersey: Lawrence Erlbaum, 1997.

Mucchielli, R., *Les méthodes actives dans la pédagogie des adultes*, ESF éditeur, Paris, ISBN 978-2-7101-1979-1, 2008.

Muller, H., Vanmale, H., *New Orsion Int'l: A progressive Management*, Dynamics Game, Université Ghent, Belgique, 1995.

Najman, F., Nicolas, C., Avare, C., *Java client-serveur*, Eyrolles, 1998.

Norman, D., *The Design of Everyday Things*, Doubleday Currency, 1989.

Noye, D., Piveteau, J., *Guide pratique du formateur*, INSEP édition, Paris, 1987.

Noye, D., *Réunionite : guide de survie*, INSEP Editions, 1996.

Parkin, J., *Organizational decision making and the project manager*, International Journal of Project Management, Vol.14, N°5, pp257-263, 1996.

Pastré, P., *Apprendre par la résolution de problèmes: le rôle de la simulation*, Apprendre par la simulation - De l'analyse du travail aux apprentissages professionnels, Toulouse, France, 2005.

Pavard, B., *Complexity Paradigm as a framework for the study of Cooperative Systems*, COTCOS Summer School, Brighton, England, 05/08/1999 - 09/08/1999.

Pearson, C.M., Kovoor-Misra, S., Clair, J.A., Mitroff, I.I., *Managing the Unthinkable*, Organizational Dynamics, Autumn, pp. 51-64, 1997.

Perilhon, P., *La gestion des risques - Méthode MADS-MOSAR II - Manuel de mise en œuvre*, Editions Démos, 2007.

Pernin, J.-P, *M.A.R.S. Un modèle opérationnel de conception de simulations pédagogiques*, Thèse de doctorat, Université Joseph Fourier - Grenoble I, Grenoble, 1996.

Perrenoud, P., *De quelques compétences du formateur-expert*, Université de Genève, Faculté de psychologie et des sciences de l'éducation, 1999.

Perrow, C., *Normal Accidents: Living With High-Risk Technologies*, Princeton: Princeton University Press, 1984.

Persson, M., Worm, A., *Information Experimentation in Command and Control*, Papier présenté à la conférence "Command and Control Research and Technology Symposium", Naval Postgraduate School, Monterey, CA, USA, 11-13 Juin 2002.

Peterson, D.M., Perry, R.W., *The impact of disaster exercise on participants*, Disaster Prevention and Management, volume 8, numéro 4, pp. 241-254, 1999.

Polti, G., *Les 36 situations dramatiques*, 1916.

Porquier, R., *Exolingual communication and appropriation contexts: the acquisition/learning continuum*, Université de Neuchâtel, Institut de linguistique, Neuchâtel, Suisse, INIST-CNRS, 1994.

Propp, V.Y., *Morphologie du conte*, 1928.

Quarantelli, E.L., *Similarities and differences in institutional responses to natural and technological disasters : a preliminary paper*, University of Delaware, Disaster Research Center, 1990.

Quéau P., *Eloge de la simulation : de la vie des langages à la synthèse des images*, 1986.

Querrec, R., *Les systèmes multi-agents pour les environnements virtuels de formation*, Thèse de doctorat, Université de Bretagne Occidentale, 2002.

Randel, J.M., Pugh, H.L., Reed, S.K., *Differences in expert and novice situation awareness in naturalist decision making*, International Journal of Human-Computer Studies, numéro 45, pp.579-597, Novembre 1996.

Rasmussen, J., *Skills, rules and knowledge: signals, signs and symbols, and other distinctions in human performance models*. IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics 13, pp. 257-266, 1983.

Reignier P., Harrouet, F., Morvan, S., Tisseau, J., Duval, T., *ARéVi : a virtual reality multiagent platform*, Virtual Worlds, LNAI 1434, Springer-Verlag, pages 229–240, 1998.

Remolina, E., Li, J., *et al.*, *Team training with simulated teammates, Interservice/Industry Training*, Simulation and Education Conference (I/ITSEC), 2005.

Rodin V., Morvan S., Nédélec A., *ARéVi : a distributed virtual reality toolkit based on an oriented multiagent language*, Proceedings PDPTA'98, Vol. 1, pages 159–166, Las Vegas, USA, july 13-16, 1998.

Rohrer, M.W., *Seeing in believing: the importance of visualization in manufacturing simulation*. Papier présenté à la conférence "The 2000 Winter Simulation Conference", Orlando, USA, pp. 1211-1216, 10-13 Décembre 2000.

Rouse, W.B., Cannon-Bowers, J.A., Salas, E., *The role of mental models in team performance in complex systems*, IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, numéro 22, pp. 1296-1308, 1992.

Salas, E., Cannon-Bowers, J.A., *The anatomy of team training*, Dans Tobias, L., Fletcher, D., *Handbook on research in training*, MacMillan, New York, 1997.

Sall, C.T., *Les conceptions des professeurs de physique et chimie en résolution de problème dans l'enseignement secondaire : structure, impact du profil professionnel et processus d'évolution en situation de formation initiale*, Thèse de doctorat, faculté des sciences et technologies de l'éducation et de la formation, 2002.

Savery, J., Duffy, T., *Problem based learning: An instructional model and its constructivist framework*, Educational Technology, 1995.

Savery, J., *Overview of problem-based learning: Definitions and distinctions*, The Interdisciplinary Journal of Problem-based Learning, 2006.

Sayegh, L., Anthony, W.P., Perrewé, P.L., *Managerial decision-making under crisis: the role of emotion in an intuitive decision process*, Human Resource management Review, Vol. 14, pp. 179-199, 2004.

Schaafstal, A.M., Johnston, J.H., Oser, R.L., *Training teams for emergency management*, Computer in Human Behavior, volume 17, publication 5-6, pp. 615-626, 2001.

Schaafstal, A.M., Lyons, D.M., Stroomer, S.M., *Training teams with simulated teammates*, Proceedings if the I/ITSEC conference 2000, Orlando, FL, pp. 1325-1331, 2000.

Schank, R.C., *Goal-Based Scenarios: Case-Based Reasoning Meets Learning by Doing*, dans David, L., *Case-Based Reasoning: Experiences, Lessons & Future Directions*, AAAI Press/The MIT Press: 295-347, 1996.

Schurr, N., Patil, P., *et al.*, *Using Multiagent Teams to Improve the Training of Incident Commanders*, Fifth International Joint Conference on Autonomous Agents and Multi Agent Systems (AAMAS) Industry Track, 2006.

Shanteau, J., *Psychological characteristics of expert decision makers*, dans Mumpower, J.L., Renn, O., Philipps, L.D., Uppuluri, V.R.R., *Expert Judgment and Expert Systems*, Berlin, Allemagne : Springer-Verlag, pp. 289-304, 1987.

Sibertin-Blanc, C., *Concurrent object-oriented programming and petri nets table of contents*, Springer-Verlag New York, Inc. Secaucus, NJ, USA, 2001.

Simon, H. A., *Rational decision-making in business organizations*, Carnegie-Mellon University, Pittsburgh, Pennsylvania, USA, 1978.

Smith, W., Dowell, J., *A case study of co-ordinative decision-making in disaster management*, Ergonomics, volume 43, numéro 8, pp. 1153-1166, 2000.

Sniezek, J.A., Wilkins, D.C, Wadlington, P.L., *Advanced Training for Crisis Decision Making: Simulation, Critiquing, and Immersive Interfaces*, Hawaii International Conference on Systems Sciences, Maui, Hawaï, 5-7 Janvier 2001.

Souriau, E., *L'Univers filmique*, 1953.

Souriau, E., *Les deux cents mille situations dramatiques*, 1950.

Stern, E., *Crisis and learning: a conceptual balance sheet*, Journal of contingencies and crisis management 5(2): 69-86, 1997.

Szpirglas, M., *Une théorie du quiproquo pour la gestion stratégique des risques : le cas de l'accident de Tenerife*, XIVème Conférence de l'AIMS, Angers, France, 06 - 09 Juin 2005.

Tahir, O., Andonoff, E., Hanachi, C., Sibertin-Blanc, C., Benaben, F., Chapurlat, V., Lambolais, T., *A collaborative information system architecture for process-based crisis management*, Proceeding KES '08 of the 12th international conference on Knowledge-Based Intelligent Information and Engineering Systems, Part III, 2008.

Taurisson, N., Tchounikine, P., *Une approche de l'apprentissage de l'organisation du travail collectif par la simulation*, Environnements Informatiques pour l'Apprentissage Humain, EIAH 2005, Montpellier, 2005.

Tixier, J., *Méthodologie d'évaluation du niveau de risque d'un site industriel de type Seveso, basée sur la gravité des accidents majeurs et la vulnérabilité de l'environnement*, Thèse de doctorat, Université Aix-Marseille I, UFR de Chimie et Environnement, 2003.

Tixier, J., Dandrieux, A., Dusserre, G., Bubbico, R., Mazzarotta, B., Silvetti, B., Hubert, E., Rodrigues, N., Salvi, O., *Environmental vulnerability of the environment in the vicinity of an industrial site in the frame of ARAMIS European project*, Journal of Hazardous Materials, 130: 251-264, 2006.

Todd, P.M., *Fast and frugal heuristics for environmentally bounded minds*, Dans Gigerenzer, G., Selten, R., *Bounded Rationality: the Adaptive Toolbox*, Dahlem Workshop Report, MIT Press, Cambridge, MA, pp. 51-70, 2001.

Todd, P.M., *How much information do we need?*, European Journal of Operational Research, numéro 177, pp. 1317-1332, 2007.

Trnka, J., Jenvald, J., *Role-Playing Exercise – A Real-Time Approach to Study Collaborative Command and Control*, International Journal of Intelligent Control and Systems, volume 11, numéro 4, pp. 218-228, décembre 2006.

Turner, B.A., *Man-Made Disasters*, The Wykeham Science Series, Wykeham Publications, First edition, London, 254p, 1978.

Verdel, T., Tardy A., *Le système iCrisis, un dispositif original pour mettre évidence la complexité d'une crise auprès d'un public varié*, soumis au 17e Congrès de Maîtrise des Risques et de Sûreté de Fonctionnement (Lambda μ), La Rochelle, les 5, 6 et 7 octobre 2010.

Weick, K. E., *The Vulnerable System: An Analysis of the Tenerife Air Disaster*, Journal of Management, 16, n°3: 571-593, 1990.

Weisæth, L., Knudsen, J., Tonnessen, A., *Technological disasters, crisis management and leadership stress*, Journal of Hazardous Materials, numéro 93, pp. 33-45, 2002.

Weiss, G., *Multiagent Systems, A Modern Approach to Distributed Artificial Intelligence*, MIT Press, 1999.

Wooldridge, M., *An Introduction to Multi-Agent Systems*, 2002.

Wybo, J.-L., Van Wassenhove, W., *Retour d'expérience et maîtrise des risques - Pratiques et méthodes de mise en œuvre*, Collection Sciences du risque et du danger, série Notes de synthèse et de recherche, 2009.

Wybo, J-L., Madland Kowalski, K., *Commands centers and emergency management support*. Safety Science, volume 30, publication 1-2, pp. 131-138, Octobre-Décembre 1998.

TABLE DES MATIERES

Introduction générale **21**

Partie I : La formation comme préparation à la gestion de crise **23**

Introduction 25

Chapitre 1 : La gestion de crise et la structuration des organisations décisionnaires 27

1.1. Qu'est-ce qu'une crise ? 28

1.2. L'organisation de la réponse d'urgence 30

1.3. La composition et le rôle d'une cellule de crise stratégique 32

1.3.1. L'organisation structurelle d'une équipe de gestion de crise stratégique 32

1.3.2. Les rôles assurés au sein de la cellule stratégique 34

1.4. La décision en situation d'urgence illustrée par trois retours d'expérience 35

1.4.1. L'accident de Tenerife et les quiproquos dans la gestion d'une situation critique 35

1.4.2. L'accident de l'Erika et les difficultés rencontrées par la cellule Total-Fina 36

1.4.3. L'accident industriel d'AZF et les difficultés du management dans l'urgence 37

1.4.4. Que nous enseignent ces crises ? 38

Synthèse 39

Chapitre 2 : La problématique de l'expérience dans la gestion stratégique de crise 41

2.1. Les difficultés de coordination en situation d'urgence 42

2.2. Les problèmes de représentation mentale d'une situation inconnue 44

2.3. Les défaillances des comportements intergroupe 45

2.4. Comment sont définis les processus de prise de décision ? 47

Synthèse 50

Chapitre 3 : La formation à la gestion de crise, état de l'art et déficits 51

3.1. Le déroulement classique d'une session de formation 52

3.1.1. Détail des différentes phases classiques 52

3.1.2. Identification des critères prépondérants 53

3.2. Une typologie des formations à la gestion de crise 53

3.2.1. La formation polyvalente 54

3.2.2. La formation en conditions dégradées 54

3.2.3. La formation évènementielle 54
3.2.4. Mise en correspondance avec les critères attendus 55
3.3. Une typologie des exercices de gestion de crise 56
3.3.1. Les exercices en direct ou grandeur nature 56
3.3.2. Les exercices sur table 56
3.3.3. Les exercices fonctionnels 57
3.3.4. Analyse des types d'exercice 57
3.4. Des exemples de plateformes d'exercices fonctionnels à la gestion de crise 58
3.4.1. Le simulateur Feux De Forêt de Valabre 58
3.4.2. Firefighter Command training Virtual Environment 59
3.4.3. Simulation multi-agents de situation de secours d'urgence 60
3.4.4. MASTERD 60
3.4.5. Le projet iCrisis 61
3.4.6. Que nous apprennent l'étude de plateformes existantes 62

Synthèse 65

Chapitre 4 : Quelle stratégie pédagogique retenir pour optimiser l'apprentissage ? 67
4.1. Savoir, savoir-faire, être et savoir-être 68
4.2. Le triangle et le tétraèdre pédagogiques 68
4.3. Le principe de compréhension et les modèles d'apprentissage classiques 69
4.3.1. Le comportementalisme 71
4.3.2. Le cognitivisme 71
4.3.3. Le constructivisme 72
4.3.4. Le socioconstructivisme et l'apprentissage collectif 73
4.4. Le continuum d'apprentissage organisationnel 73

Synthèse 76

Chapitre 5 : Quel environnement de simulation proposer pour favoriser l'apprentissage ? 77
5.1. Les environnements interactifs pour l'apprentissage humain 78
5.2. Les différents types de simulation pour la formation 79
5.2.1. Les jeux de rôle 79
5.2.2. Les micromondes 80
5.2.3. Les jeux de simulation 80

5.3. Quels prérequis pour un simulateur à vocation pédagogique ? 81

Synthèse....84

Chapitre 6 : Comment améliorer le réalisme des simulations et l'implication des participants ? 85

6.1. Les environnements virtuels comme simulateurs pédagogiques réalistes....86

6.1.1. Définition....86

6.1.2. Conception....86

6.2. Le virtuel comme représentation commune d'une situation....87

6.2.1. L'implication de participants par la réalité virtuelle....88

6.2.2. L'implication de participants par la simulation virtuelle....89

6.3. Comparaison des concepts de réalité et de simulation virtuelles....89

6.4. Les systèmes multi-agents comme outils de simulation du monde réel....91

6.4.1. Définition des Systèmes Multi-Agents....92

6.4.2. L'environnement....93

6.4.3. Les comportements des agents....95

6.4.4. Une typologie des automates....96

Synthèse....98

Conclusion....99

Partie II : Définition d'un environnement semi-virtuel de formation à la gestion de crise....103

Introduction....105

Chapitre 7 : Elaboration de la méthodologie de conception....107

7.1. Proposition d'un cadre méthodologique....108

7.1.1. Méthodologie....109

7.1.2. Déroulement d'une session de formation....110

7.1.3. Etude systémique....113

7.1.4. Analyse fonctionnelle....114

7.1.5. Caractérisation des interactions....116

7.2. Spécification d'une architecture système dédiée....118

7.3. Définition du cahier des charges de l'infrastructure physique....119

7.4. Identification des canaux d'immersion....121

Synthèse....123

Chapitre 8 : Modélisation d'un exercice pédagogique de gestion de crise 125
8.1. Modélisation de l'environnement global 126
8.1.1. Le sous-système « environnement de la situation de crise » 127
8.1.2. Le sous-système « autorités et supérieurs hiérarchiques » 130
8.1.3. Le sous-système « acteurs impliqués indirectement » 130
8.1.4. Echelle des interactions entre les sous-systèmes 130
8.2. Définition des objectifs pédagogiques 131
8.2.1. Les six objectifs généraux pris en compte 131
8.2.2. Les cinq objectifs intermédiaires proposés 131
8.2.3. Les seize objectifs spécifiques retenus 132
8.3. Méthode de génération d'un scénario de crise 136
8.3.1. Formulation des contraintes 136
8.3.2. Modèle retenu 137
8.4. Définition d'une typologie d'évènements de scénario 139
8.4.1. Les couples situation-tâches 139
8.4.2. Les phénomènes 140
8.4.3. Les perturbations 143
8.4.4. Activation et occurrence des évènements 145
8.4.5. Modélisation systémique d'un scénario de crise 147
Synthèse 149
Chapitre 9 : Simulation dynamique et interactive d'un scénario de crise 151
9.1. Spécifications du système multi-agents 152
9.2. Simulation des agents d'un scénario de crise 155
9.2.1. L'agent cognitif en tant qu'actant 155
9.2.2. Hiérarchie proposée 157
9.2.3. Choix de la théorie de simulation 158
9.2.4. Intégration du cycle de Norman pour la simulation d'un scénario de crise 160
9.3. Elaboration d'un modèle archétypique d'agents pour la simulation de crise 161
9.3.1. Méthodologie générale 161
9.3.2. Impact des caractéristiques et des aptitudes sur les actions des agents 163
9.4. Caractérisation de modèles pour les comportements généraux 167
9.4.1. Caractéristiques du métamodèle de comportement réactif 168

9.4.2. Caractéristiques du métamodèle de comportement cognitif 170
9.4.3. Agents décisionnels simulant la gestion de la crise au niveau opérationnel 171

Synthèse 176

Chapitre 10 : Structuration et proposition d'un guide d'évaluation 177
10.1. Définition de la stratégie d'évaluation des compétences mobilisées 178
10.2. Méthode d'évaluation pédagogique 180
10.3. Méthode d'évaluation organisationnelle 181
10.3.1. Suivi multimédia des interactions réalisées par les participants 181
10.3.2. L'évaluation des compétences au moyen d'arbres de compétences 183
10.3.3. Caractérisation du profil d'une équipe de gestion de crise 192
10.4. Vers une opérationnalisation de la méthodologie 194

Synthèse 198

Conclusion 199

Partie III : Applications, résultats et analyses 205

Introduction 207

Chapitre 11 : Validation du cahier des charges d'une plateforme physique et logicielle 209
11.1. Définition d'une infrastructure réelle de formation à la gestion de crise 210
11.2. Déploiement in situ à l'Ecole des Mines d'Alès 214
11.3. Destination d'emploi du complexe de l'Institut des Sciences des Risques 216
11.4. Présentation des outils SimulCrise d'aide à la formation 217
11.4.1. Le fonctionnement global de SimulCrise 218
11.4.2. L'outil de simulation multi-agents Asymut 218
11.4.3. Les outils de supervision d'un exercice de gestion de crise 219
11.4.4. Les outils d'animation d'un exercice de gestion de crise 221
11.4.5. Les indicateurs statistiques et pédagogiques de suivi 222
11.4.6. Fiches de rôle pour les formateurs 223

Synthèse 226

Discussion autour de la plateforme de formation à la gestion de crise de l'ISR 226
11.4.7. Volet physique 227

11.4.8. Volet informatique....228

Chapitre 12 : Validation de la méthodologie de génération d'un scénario fictif de crise....231

12.1. Conception d'un scénario de catastrophe maritime....232

12.1.1. Détermination de l'ampleur de l'évènement de départ....233

12.1.2. Les acteurs internationaux....234

12.1.3. Les acteurs français....234

12.2. Description systémique....237

12.2.1. Démarche globale....237

12.2.2. Caractérisation des sous-systèmes d'une catastrophe maritime simulée....238

12.2.3. Détermination de l'évènement de départ au moyen de REX....242

12.3. La trame principale du scénario d'exercice retenu....244

12.3.1. La localisation géographique....244

12.3.2. Les éléments de briefing....244

12.3.3. Les évènements et les perturbations scénariques....245

12.3.4. Principales stratégies attendues des participants....248

12.4. Caractérisation des acteurs impliqués : des agents aux formateurs....250

12.4.1. Les agents....250

12.4.2. Fiches formateurs....253

Synthèse....257

Discussion autour de la génération d'un scénario fictif de grande ampleur....257

Chapitre 13 : Validation de la méthodologie de simulation au moyen d'un cas de référence....259

13.1. Présentation du cas d'étude....260

13.1.1. Accident de Transport de Matières Dangereuses sur l'A9 - Avril 2001....260

13.1.2. Formulation des contraintes de la simulation multi-agents....261

13.2. Définition des agents Asymut....263

13.2.1. Caractérisation des agents généraux....263

13.2.2. Définition des agents réactifs du scénario....264

13.2.3. Définition des agents archétypiques du scénario....266

13.3. Simulation de l'accident....269

13.3.1. Conditions de simulation....269

13.3.2. Calibration du système multi-agents....270

13.4. Présentation et analyse des résultats 274

Synthèse 280

Discussion autour de la simulation d'un scénario accidentel réel 280

Conclusion 283

Conclusion générale et perspectives 289

Références bibliographiques 296

Annexe I : compléments sur l'organisation de la réponse d'urgence 316

Annexe II : types et catégories d'Etablissements Recevant du Public. 319

Annexe III : Standard European Behaviour Classification 320

Annexe IV : difficulté didactique et syndrome du Kobayashi Maru 321

Annexe V : algorithme comportemental de gestion des renforts 322

Annexe VI : algorithme comportemental d'évaluation d'un danger 323

Annexe VII : tests de validation du matériel de simulation de l'ISR 324

Annexe VIII : actions tactiques et opérationnelles de l'accident TMD-A9 325

Annexe IX : rôles des participants dans l'exercice TMD sur l'A9 337

Annexe X : rôles des formateurs dans l'exercice TMD sur l'A9 340

Annexe XI : description UML des comportements du scénario TMD-A9 343

Annexe XII : dispositifs réglementaires concernant la pollution marine 345

Annexe XIII : sous-systèmes MOSAR d'un exercice de pollution marine 347

Annexe XIV : éléments retenus parmi les REX de pollutions marines 352

Annexe XV : éléments de réalisme météorologique et hydrodynamique 355

Annexe XVI : simulation de la pollution marine avec le logiciel CLARA 357

Annexe XVII : agents et bases de données du scénario de pollution marine. 358

Annexe XVIII : principales interactions des agents pour la pollution marine 373

Annexe XIX : exemples de fiches informatisées d'aide à l'animation. 374

Annexe XX : avatars des formateurs dans le scénario de pollution marine. 378

Annexe XXI : cartographies, leaflets et articles de presse simulés. 385

Annexe XXII : la méthodologie REXAO de retour d'expérience.....393

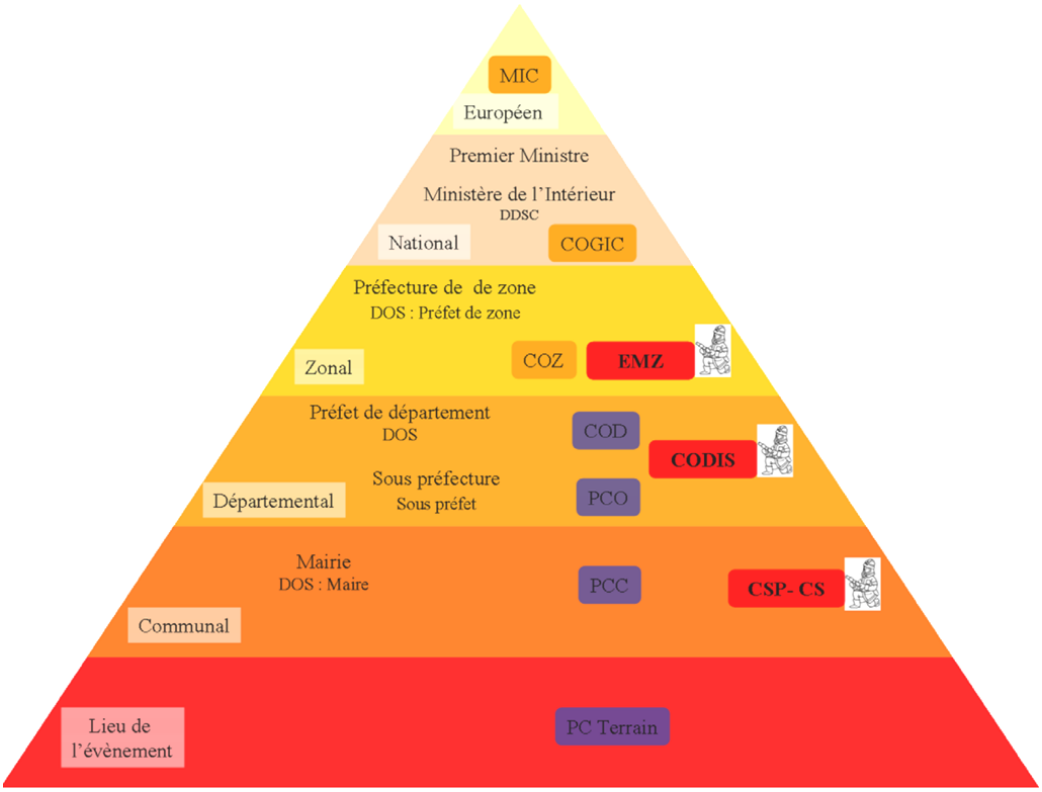
Annexe I : compléments sur l'organisation de la réponse d'urgence

L'objectif de la Sécurité Civile *« est la prévention des risques de toute nature, l'information et l'alerte des populations ainsi que la protection des personnes, des biens et de l'environnement contre les accidents, les sinistres et les catastrophes par la préparation et la mise en œuvre de mesures et de moyens appropriés relevant de l'Etat, des collectivités territoriales et des autres personnes publiques ou privées »* [50]. Partie intégrante des plans d'urgence français, les plans ORSEC remplacent les plans pour la gestion des Catastrophes à Moyens Dépassés (CMD) depuis la parution de la loi de modernisation de la sécurité civile du 13 août 2004 et de ses trois décrets d'application du 13 septembre 2005 : ORSEC (n° 2005-1157), Plan Particulier d'Intervention (n° 2005-1158) et Plan Communal de Sauvegarde (n° 2005-1156). Ils se substituent en outre aux plans anciennement appelés Polmar qui avaient été créés pour faire face aux conséquences d'une pollution marine accidentelle par hydrocarbures ou produits chimiques. Dans le détail, ces textes précisent les mesures de prévention qui visent à éviter que les phénomènes accidentels ne se produisent, les mesures de préparation à la lutte destinées à donner aux autorités responsables les moyens d'intervenir rapidement en cas d'accident, et pour finir les mesures de lutte ayant pour but d'en limiter les conséquences.

Le dispositif tend d'une part à passer d'une planification administrative à une planification opérationnelle, et vise pour cela à développer la préparation des acteurs publics ou privés pouvant intervenir en cas de crise (formation, entraînements, exercices, etc.), et à mettre en place une organisation opérationnelle permanente et unique de gestion – plutôt qu'un plan papier figé – pour tous les risques touchant gravement la population. D'autre part, cette organisation comporte deux grandes parties : les dispositions générales (éléments communs à tous types de situation comme les annuaires, les postes de commandement, les modalités d'alerte des populations, etc.) et les dispositions spécifiques (les éléments relatifs à un risque particulier, par exemple des plans de mise en place de dispositifs de protection, des atlas de vulnérabilité d'un territoire donné, etc.). Pour ce faire, une typologie de zones a été identifiée : le département, la zone de défense, et la façade maritime. Chacun de ces plans est ainsi activé lorsque la zone en question menace d'être ou est impactée. A titre d'exemple, lors d'un évènement maritime majeur, comme une pollution marine, les dispositifs ORSEC maritimes, départementaux et zonaux sont établis en concertation de manière à assurer leur cohérence : l'ORSEC maritime est établi par le préfet maritime en association avec les préfets de zone de défense et de départements concernés, de même que les ORSEC départementaux et zonaux sont établis respectivement par le préfet de département et le préfet de zone de défense, en association avec le ou les préfets maritimes concernés. Enfin, le volet du dispositif ORSEC applicable aux opérations conduites à l'interface terre-mer est établi conjointement par le préfet maritime, le préfet de département et le préfet de zone de défense. Dans le but de préparer une commune française en cas d'accident majeur, la loi de modernisation de la sécurité civile du 13.08.2004 impose au maire d'établir un Plan Communal de Sauvegarde. Ce plan permet d'assurer l'alerte, l'information, la protection et le soutien de la population. Les maires étant réglementairement responsables de la première réponse dans le cadre de leur pouvoir de police générale, ils disposent donc d'un outil précieux pour organiser la lutte contre les évènements accidentels de petite et moyenne ampleur sur le

[50] Code des général des collectivités territoriales, articles L. 1424-7 et L. 3551-11.

territoire communal. Le maire peut en effet faire appel aux moyens humains et matériels de la commune ou s'appuyer sur les Services Départementaux d'Incendie et de Secours (SDIS) dans la limite des missions qui sont fixées dans leur règlement opérationnel. En cas d'évènement de moyenne ampleur, le maire peut demander au préfet de département la mise à disposition de moyens spécifiques dans le cadre de conventions à titre onéreux. Ainsi, lorsque le Préfet prend la direction des opérations de secours (DOS), il active le dispositif ORSEC et la chaîne de commandement comprend alors : le Centre Opérationnel Départemental (COD), un ou des Postes de Commandement Opérationnel (PCO), un ou des Postes de Commandement Communal (PCC). Le Centre Opérationnel Départemental est activé au sein de la Préfecture. Cette cellule regroupe un certain nombre d'acteurs appartenant à différents services déconcentrés de l'Etat présents dans le département. Il s'agit de l'organe de commandement du Préfet et il est chargé de la gestion stratégique des opérations, issue du dialogue entre le directeur et le commandant des opérations de secours.



Organisation pyramidale de la Sécurité Civile [Dautun, 2007]

Le dispositif classique lors d'un évènement de sécurité civile à l'échelle départementale est composé de deux Postes de Commandement (PC), sous la responsabilité d'un seul Directeur des Opérations de Secours (DOS) : le Préfet. Le premier, le COD (Centre Opérationnel Départemental), est activé dans les locaux de la préfecture où se trouve l'état-major de commandement. Le second, le PCO (Poste de Commandement Opérationnel), est implanté à proximité de la zone sinistrée. S'y trouvent réunis, sous l'autorité du Sous-Préfet d'arrondissement, les représentants des services ayant une action sur le terrain. Sur le terrain, la mise en œuvre des décisions du DOS et la coordination des actions de secours sont assurées par le Commandant des Opérations de Secours (COS).

Sous l'autorité du Préfet, le COD est dirigé par un membre du corps préfectoral (habituellement le Directeur de Cabinet ou le Sous-Préfet de permanence), assisté d'un Sous-Préfet chargé des fonctions de porte-parole. Le COD est composé de cellules, chacune assurant des missions spécifiques. A ce niveau, une cellule de crise peut donc être constituée des postes suivants :

1. Préfet
2. Directeur de Cabinet ou Sous-Préfet de permanence,
3. Porte-parole de la cellule de crise,
4. Cellule commandement,
5. Cellule soins secours sauvetage,
6. Cellule ordre public circulation,
7. Cellule réseaux vitaux,
8. Cellule transmissions,
9. Cellule expertise évaluation,
10. Cellule communication,
11. Cellule synthèse,
12. Cellule logistique / hébergement.
13. Cellule transport / travaux

Suivant l'ampleur de la crise, plusieurs de ces missions peuvent être assurées par une seule personne comme être déléguées à des sous-groupes d'individus.

Annexe II : types et catégories d'Etablissements Recevant du Public.

La réglementation relative à la sécurité incendie classe les ERP selon leur destination et selon leur capacité d'accueil. Les types d'ERP sont les suivants [Tixier, 2003] :

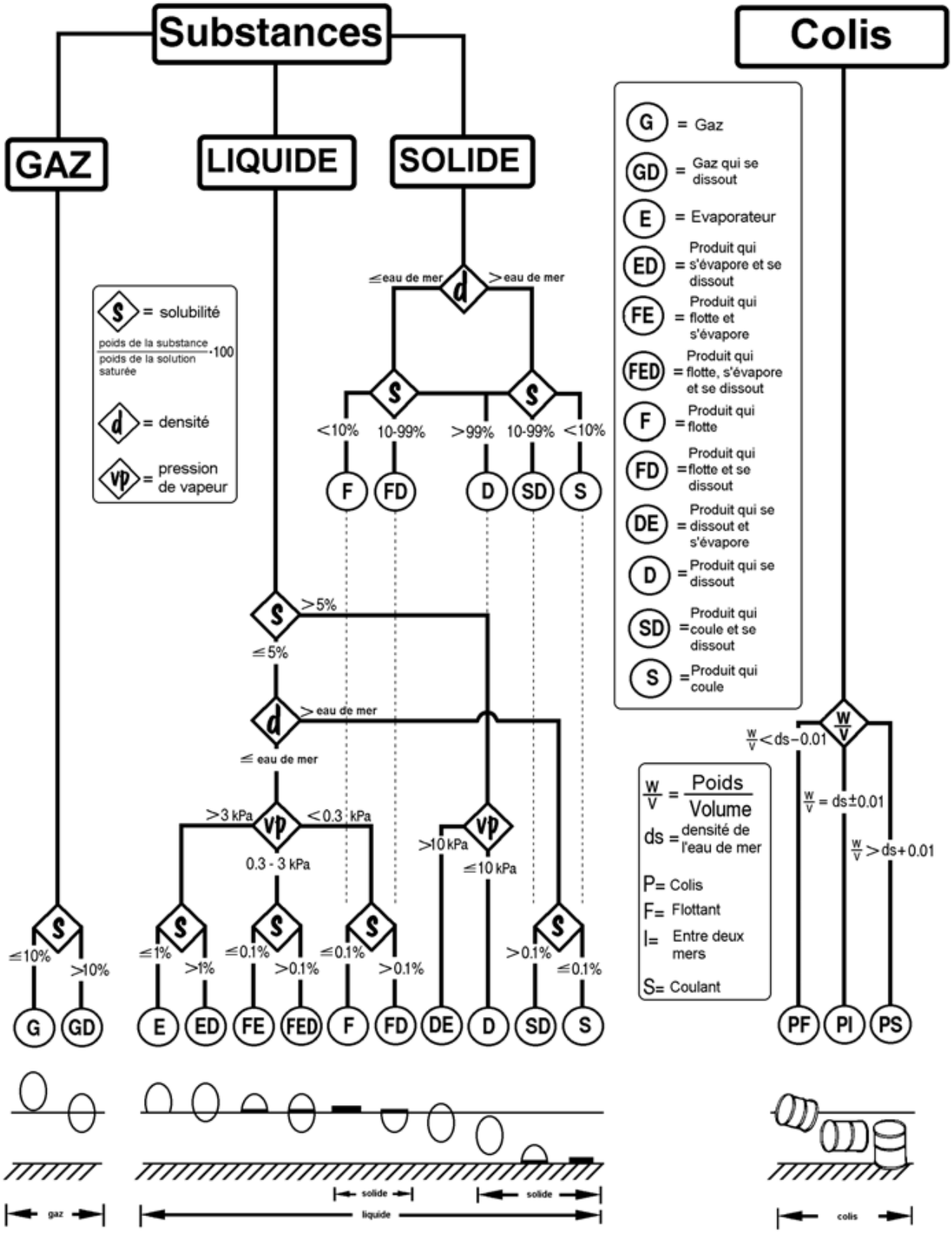
- J : Structures d'accueil pour personnes âgées ou personnes handicapées
- L : Salles d'auditions, de conférences, de réunions, de spectacles ou à usage multiple
- M : Magasins de vente, centres commerciaux
- N : Restaurants et débits de boissons
- O : Hôtels et pensions de famille
- P : Salles de danse et salles de jeux
- R : Établissements d'enseignement, colonies de vacances
- S : Bibliothèques, centres de documentation
- T : Salles d'exposition
- U : Établissements sanitaires
- V : Établissements de culte
- W : Administrations, banques, bureaux
- X : Établissements sportifs couverts
- Y : Musées
- PA : Établissements de plein air
- CTS : Chapiteaux, tentes et structures itinérants ou à implantation prolongée ou fixes
- SG : Structures gonflables
- PS : Parcs de stationnement couverts
- OA : Hôtels-restaurants d'altitude
- GA : Gares accessibles au public
- EF : Établissements flottants ou bateaux stationnaires et bateaux
- REF : Refuges de montagne

Les catégories sont définies ainsi [Tixier, 2003] :

- 1ère catégorie : au-dessus de 1500 personnes
- 2ème catégorie : de 701 à 1500 personnes
- 3ème catégorie : de 301 à 700 personnes
- 4ème catégorie : 300 personnes et au-dessous, à l'exception des établissements compris dans la 5ème catégorie
- 5ème catégorie : établissements accueillant un nombre de personnes inférieur au seuil dépendant du type d'établissement.

Annexe III : Standard European Behaviour Classification

Standard European Behaviour Classification System of Chemicals spills into the sea.

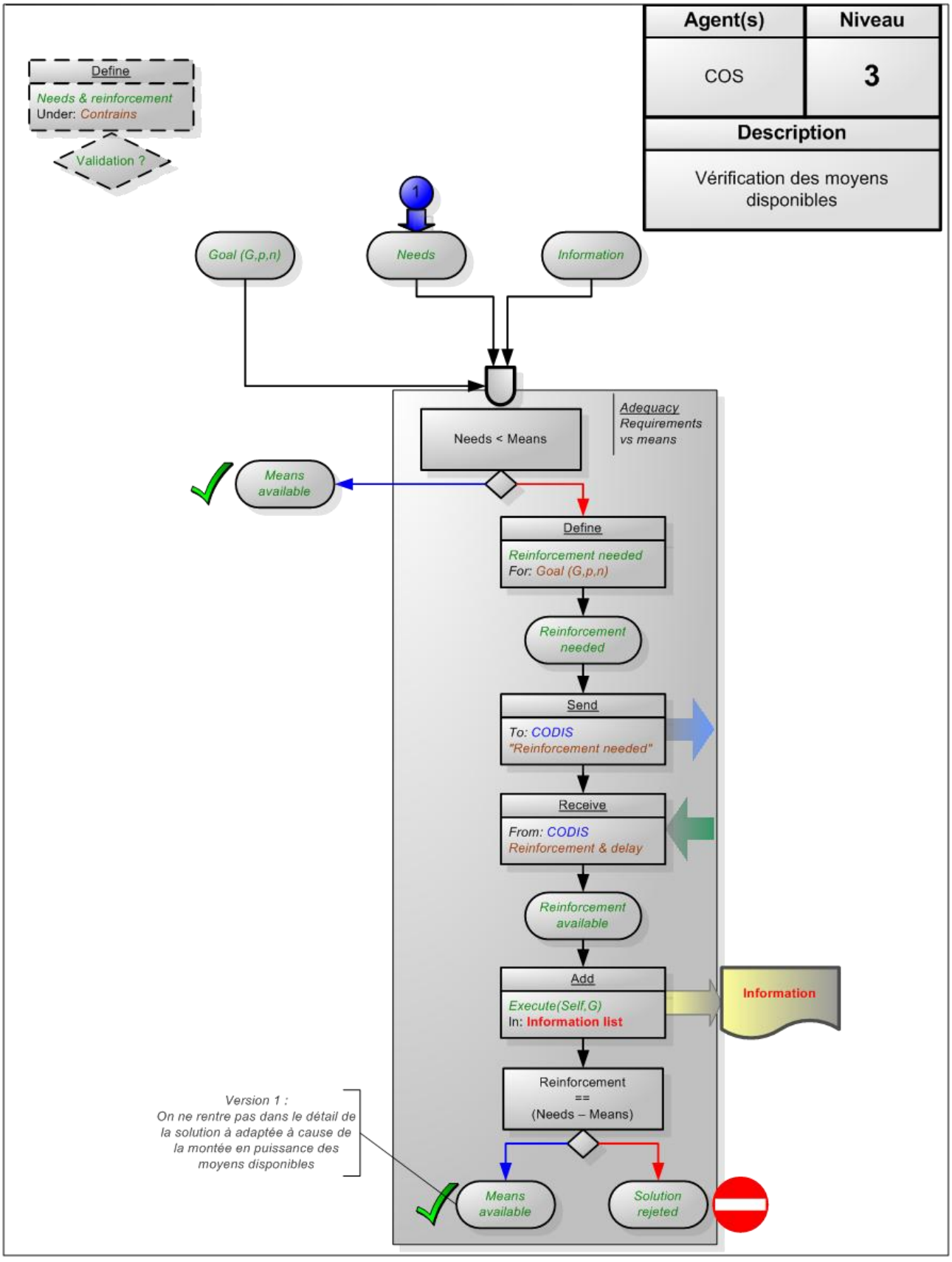


Annexe IV : difficulté didactique et syndrome du Kobayashi Maru

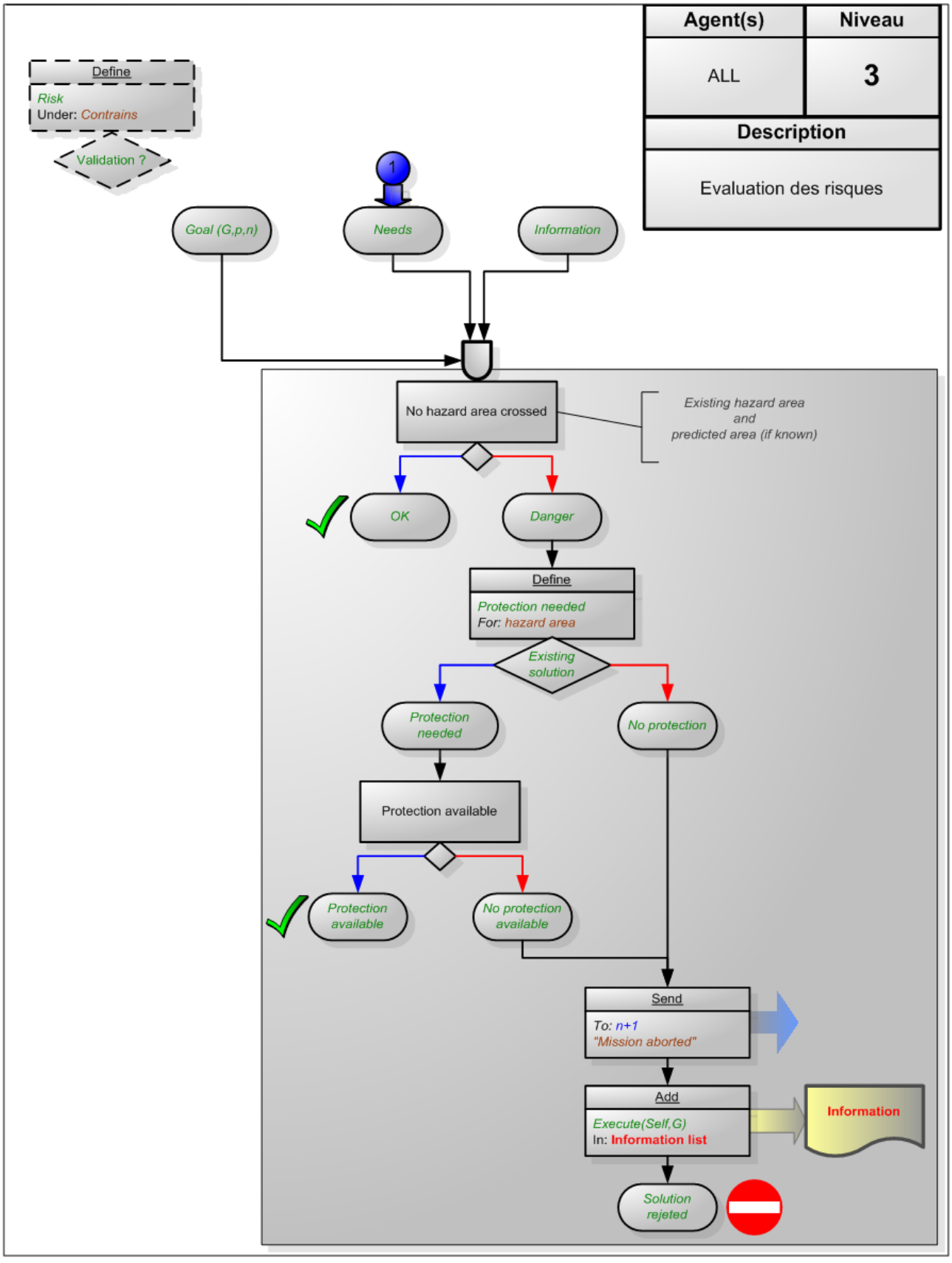
Kevin Moloney, du British Gliding Association (BGA) Safety Committee, a présenté le modèle suivant lors de l'International Scientific and Technical Soaring Organisation (OSTIV) Training Safety Panel en 2005. Quatre zones sont définies en fonction de la difficulté d'une situation didactique à laquelle un élève-pilote est soumis dans un simulateur de vol. L'idée de ce modèle est alors de montrer que si la situation est trop facile ou au contraire trop complexe à gérer, alors une dégradation des conditions d'apprentissage est constatée.

Zone de confort (apprentissage minimal)	**Zone limite (bon apprentissage)**	**Zone à risque (faible apprentissage)**	**Zone de danger (aucun apprentissage)**
Symptômes individuels			
• Vous avez une bonne impression à propos du vol **• Vous êtes vigilant mais calme** **• Vous gérez le vol et les manœuvres avec facilité** **• Vous n'avez aucun symptôme lié au stress**	• Vous avez de légers papillons dans l'estomac • Vous êtes davantage vigilant • Vous commencez à vous poser des questions ou à penser à des options, et vous vous répondez mentalement • Vous avez quelques symptômes liés au stress: poils hérissés, chair de poule	• Vous ressentez un brûlement dans l'estomac ou des nausées • Vous êtes facilement distrait ou vous avez de la difficulté à vous concentrer sur les problèmes • Vous vous posez des questions intérieurement mais n'arrivez plus à trouver les réponses • Vous êtes stressé, vous transpirez et votre cœur bat rapidement	• Vous n'avez plus de sensation, êtes engourdi et ressentez de très fortes nausées • Vous êtes sujet à la vision tubulaire et n'êtes capable de vous concentrer que sur une seule chose • Vous perdez toute perception de la situation (vitesse indiquée, circulation, etc.) • Vous êtes très stressé et votre cœur bat très rapidement et de façon irrégulière
Symptômes observés par l'instructeur			
• L'élève est communicatif **• L'élève remarque les éléments ou est conscient de la situation du vol sans qu'on n'ait à lui rappeler de le faire** **• L'élève effectue toutes les tâches** **• L'élève observe autour de lui d'un mouvement de tête détendu et bien visible**	• L'élève est peu communicatif ou peut poser davantage de questions • L'élève peut exprimer un manque de confiance ou demander de l'aide • L'élève observe moins bien ce qui se passe autour de lui • L'élève peut avoir à se concentrer sur de nouvelles tâches et attendre qu'on lui dise d'en terminer d'autres pour le faire • L'élève devient un peu agité et peut mentionner se sentir mal à l'aise	• L'élève cesse de poser des questions et peut avoir l'air distrait • L'élève a de la difficulté à répondre aux questions et semble nerveux dans sa façon de parler • L'élève peut ne pas réagir rapidement aux incitations et aux commentaires verbaux ou physiques liés aux commandes • L'élève a la tête assez immobile • L'élève transpire de façon visible, est pâle, présente une couleur de peau moite derrière les oreilles ou a une respiration forcée	• L'élève ne répond plus aux questions • L'élève peut cesser de piloter et devenir passager • L'élève ne réagit plus aux incitations et aux commentaires verbaux ou physiques liés aux commandes • L'élève ne bouge plus la tête • L'élève peut se figer aux commandes • L'élève a la peau très pâle ou respire de façon irrégulière

Annexe V : algorithme comportemental de gestion des renforts



Annexe VI : algorithme comportemental d'évaluation d'un danger



Annexe VII : tests de validation du matériel de simulation de l'ISR

Annexe VIII : actions tactiques et opérationnelles de l'accident TMD-A9

A la réception de l'alerte, le Centre de Traitement de l'Alerte (CTA) déclenche 2 Véhicules de Secours et d'Assistance aux Victimes (VSAV), 1 Véhicule Radio-Médicalisé (VRM), 2 Fourgons Pompe Tonne (FPT), 1 Camion-Citerne Grande Capacité (CCGC), 1 Fourgon de Secours Routier (FSR), 1 Cellule Mobile d'Intervention pour les risques Chimiques (CMIC), 1 Chef De Groupe (CDG) et l'Officier de Garde Départemental (ODG).

Le camion-citerne est en feu, sur le flanc et en travers de l'autoroute. Les plaques de danger sont illisibles car détruites par l'incendie. L'ensemble du convoi brûle. Bien que le numéro ONU soit illisible, la CMIC a connaissance par le chauffeur qu'il s'agit de « polyols ». Peu après l'arrivée des secours sur les lieux, le chauffeur tombe inconscient.

Le chef de garde prend le commandement des opérations de secours et désigne le point de transit (PT ou centre de rassemblement des moyens), sur l'A9, direction Montpellier Nîmes, juste après le péage, au niveau du premier portail autoroute. Il transmet le PT au CODIS. Il demande qu'une reconnaissance soit effectuée et transmet un premier bilan au CODIS. Son message flash confirme un accident de la voie publique (AVP) avec un poids-lourd (PL) en cause, Autoroute A9, sens Montpellier Nîmes, à la hauteur de l'usine Syngenta.

Il s'agit d'un TMD, en feu, plaques de danger illisibles, couché sur le flanc, pas de fuite apparente. Reconnaissance en cours. Une victime, le chauffeur PL 1, pris en charge par le VSAV 1 et la VRM, inconscient. Il confirme la demande de la gendarmerie sur les lieux. Faire prévenir l'Officier de Garde Départemental et la préfecture. Il prévoit une opération de longue durée et demande des renforts au CODIS : 1 VPC, 2 FPT, 1 CCGC, Conseiller technique Départemental RCH4. Il demande la fermeture de l'autoroute. Il détermine un périmètre de sécurité de 300m. Le chauffeur est conditionné dans le VSAV 1 et transporté médicalisé vers le CH de Nîmes, inconscient, après accord du centre 15. Message du CODIS au COS. Renforts déclenchés.

L'officier de garde arrive sur les lieux et prend le COS. Le COS prépare la sectorisation de l'intervention. Le COS demande de poursuivre la reconnaissance afin d'obtenir des informations pour l'identification du produit. Il demande la mise en œuvre des moyens d'extinction. Il demande que la circulation soit coupée dans les 2 sens. Le FSR se charge du balisage dans le sens Montpellier Nîmes. Attente de la GN et ASF sur les lieux.

Nouveau message du COS au CODIS. Poursuivons reconnaissance, produit inconnu, extinction en cours. Moyens insuffisants, attendons renforts. GN se présente sur les lieux, ainsi que patrouille ASF. Les gendarmes prennent contact avec leur COG pour transmettre les informations relatives au camion. Informé par le CODIS, le préfet décide de prendre la Direction des Opérations de Secours et d'ouvrir le COD. Via le SIDPC, l'alerte et la convocation sont transmises aux services ORSEC.

Sur le terrain, le COS a demandé la mise en place d'un périmètre de sécurité de rayon 300m. Ce périmètre sera affiné par la suite.

Les premières informations concernant le produit sont : odeur forte, inflammable, mais les flammes sont peu importantes.

Moyens disponibles : CSP Nîmes (25 min), CS Marguerittes (23 min), CS Vergèze (10 min), CS Sommières (20min), CS Saint Geniès-de-Malgoires (36min).

Discussions entre PC terrain et COD pour premier périmètre. L'usine de Syngenta est proche et l'exploitant est contacté. Syngenta est une ICPE Seveso, possède un PPI. Les risques d'effets dominos ne peuvent pas être écartés.

Météo-France émet un bulletin météo à la demande du COD pour évaluer le risque toxique lié au PL en feu qui ne peut pas être écarté tant que l'identification du produit n'est pas réalisée.

Le directeur des ASF souhaite fermer la plus petite portion possible. Il demande au Préfet de ne pas fermer la voie de circulation Nîmes Montpellier.

Sur le terrain, les pompiers arrosent la citerne, mais l'incendie continue. Se pose la question du traitement des eaux d'extinction. Le COD est averti et étudie les données cartographiques, en particulier le réseau hydrographique et la nature des terres voisines. Il s'agit essentiellement de terres agricoles. Un canal est à proximité de l'accident, il semble que ce soit un canal de récupération des eaux usées ou un canal d'irrigation. Selon le personnel sur le terrain, les eaux d'extinction s'écoulent en direction de ce canal mais sans l'atteindre pour le moment.

Sur cette base, une chronologie a pu être reconstituée concernant les messages du scénario TMD A9 simulé :

T0 – 27' : demande de secours (alerte CTA CODIS) : CODIS -> COD (fax)

T0 – 12' : arrivée des premiers moyens d'intervention sur les lieux

T0 – 7' : message flash ODG : CODIS -> COD (fax)

T0 – 2' : message complémentaire SAV ODG : CODIS -> COD (fax)

T0 : ouverture du COD (Préfet, SIDPC, SDIS, GN)

T0 + 2' : message complémentaire eval RCH ODG : CODIS -> COD (tel + fax)

T0 + 3' : message complémentaire INC ODG : CODIS -> COD (tel + fax)

T0 + 8' : message Maire injoignable mairie Aigues-Vives : mairie Aigues-Vives -> COD (tel)

T0 + 11' : demande message à diffuser Info-trafic : Info-trafic -> COD (mail + fax)

T0 + 13' : message complémentaire 2 INC ODG : CODIS -> COD (tel + fax)

T0 + 16' : arrivée au COD expert DRIRE, Météo-France, ASF

T0 + 18' : message complémentaire 2 eval RCH ODG : CODIS -> COD (tel + fax)

T0 + 20' : message complémentaire POL ODG : CODIS -> COD (tel + fax)

T0 + 23' : message complémentaire 3 INC ODG : CODIS -> COD (tel + fax)

T0 + 33' : dépêche AFP : CODIS -> COD (fax)

T0 + 35' : demande message à diffuser Radio France Bleue : Radio France Bleue -> COD (tel + fax)

T0 + 38' : message complémentaire 2 POL ODG : CODIS -> COD (tel + fax)

T0 + 41' : message complémentaire 3 eval RCH ODG : CODIS -> COD (tel + fax)

T0 + 45’ : message demande interview France 3 : France 3 -> COD (tel)

T0 + 50’ : message demande conduite à tenir maison de retraite Aigues-Vives : CODIS -> COD (tel + fax)

T0 + 51’ : message demande bilan COZ : COZ -> COD (tel + fax)

T0 + 61’ : demande mise à jour message à diffuser Info-trafic : Info-trafic -> COD (mail + fax)

T0 + 62’ : message FDS glycol exploitant : Exploitant -> COD (tel + fax)

T0 + 63’ : message complémentaire 4 eval RCH ODG : CODIS -> COD (tel + fax)

T0 + 67’ : message information bilan CMIC (pollution) : CMIC -> COD (tel + fax)

T0 + 71’ : message demande mise à jour message radio à diffuser : Radio France Bleue -> COD (tel + fax)

T0 + 76’ : message complémentaire 5 eval RCH ODG : CODIS -> COD (tel + fax)

T0 + 82’ : message incendie éteint : CODIS -> COD (tel + fax)

T0 + 83’ : message complémentaire 4 INC ODG : CODIS -> COD (tel + fax)

T0 + 88’ : message complémentaire idées de manœuvre ODG : CODIS -> COD (tel + fax)

T0 + 89’ : message demande de stratégie de relevage : CODIS -> COD (tel + fax)

T0 + 91’ : message demande mise à jour message à diffuser Info-trafic : Info-trafic -> COD (mail + fax)

T0 + 101 : message de levée du dispositif : CODIS -> COD (tel + fax)

Message alerte CTA CODIS

Emetteur : CTA CODIS
Destinataire : Centre de secours, copie au COD
Objet : Demande de secours
Commune : Aigues-vives (30)
Adresse : Autoroute A9, sens Montpellier-Nîmes, à la hauteur de l'établissement Syngenta
Nature de l'intervention : AVP 1 PL en cause
1 PL TMD renversé, en feu
1 VL

Informations complémentaires

2 victimes : 1 blessé grave, 1 blessé léger
PL 1 : camion-citerne, produit inconnu, fuite importante, produit en feu,

Moyens déclenchés (type, origine, GH)
FPT, FPT, CCGC, VSAV, VSAV, VRM, FSR, CDG, ODG, CMIC

Message flash ODG

Emetteur : ODG
Destinataire : CTA CODIS
Objet : Message flash
Commune : Aigues-vives (30)
Adresse : Autoroute A9, sens Montpellier-Nîmes, à la hauteur de l'établissement Syngenta
Nature de l'intervention : AVP 1 PL en cause
1 PL TMD renversé, en feu
1 VL

Informations complémentaires

Victimes (nombre, état, gravité, symptômes)
2 victimes : 1 blessé grave, sauvetage par personnel VSAV sous ARI pour prise en charge par VSAV + VRM, 1 blessé léger, sauvetage par personnel VSAV sous ARI pour prise en charge par VSAV

PL 1 : produit inconnu, plaques de danger détruites par l'incendie, fuite importante, formation d'une nappe, ensemble du convoi et nappe de produit en feu
Patrouille ASF sur les lieux
GN sur les lieux

Actions immédiates engagées
Reconnaissance
Périmètre de sécurité, 300 m

Demande de renforts
2 FPT, 1 CCGC, 1 VPC

Message complémentaire SAV ODG

Emetteur : ODG
Destinataire : CTA CODIS
Objet : Message complémentaire
Commune : Aigues-vives (30)
Adresse : Autoroute A9, sens Montpellier-Nîmes, à la hauteur de l'établissement Syngenta
Nature de l'intervention : AVP 1 PL en cause
1 PL TMD renversé, en feu
2 VL

Informations complémentaires

Victimes (nombre, état, gravité, symptômes)
2 victimes :
1 blessé grave, sauvetage par personnel VSAV sous ARI pour prise en charge par VSAV + VRM, sexe masculin, 50 ans environ, inconscient, polytraumatisé. Evacué vers CH Nîmes.
1 blessé léger, sauvetage par personnel VSAV sous ARI pour prise en charge par VSAV. Transporté vers CH Nîmes pour examens complémentaires.

Message complémentaire éval RCH ODG

Emetteur : ODG
Destinataire : CTA CODIS
Objet : Message complémentaire
Commune : Aigues-vives (30)
Adresse : Autoroute A9, sens Montpellier-Nîmes, à la hauteur de l'établissement Syngenta
Nature de l'intervention : AVP 1 PL en cause
1 PL TMD renversé, en feu
2 VL

Informations complémentaires

PL 1 : produit inconnu, plaques de danger détruites par l'incendie, fuite importante, formation d'une nappe, ensemble du convoi et nappe de produit en feu

Actions tactiques engagées

Mesures et identification du risque
- Prélèvements
- Arborescence de tubes

Mise en place d'un périmètre de sécurité réflexe à 300m

Message complémentaire INC ODG

Emetteur : ODG
Destinataire : CTA CODIS
Objet : Message complémentaire
Commune : Aigues-vives (30)
Adresse : Autoroute A9, sens Montpellier-Nîmes, à la hauteur de l'établissement Syngenta
Nature de l'intervention : AVP 1 PL en cause
1 PL TMD renversé, en feu
2 VL

Informations complémentaires

PL 1 : produit inconnu, plaques de danger détruites par l'incendie, fuite importante, formation d'une nappe, ensemble du convoi et nappe de produit en feu

Actions tactiques engagées, Extinction en cours, 2 LDV 500L/min en manœuvre

---

Message maire injoignable

Emetteur : mairie Aigues-Vives
Destinataire : COD
Objet : maire Aigues-Vives injoignable

M. le Préfet,

M. le Maire de la commune d'Aigues-Vives, ainsi que son adjoint sont en déplacement à Paris pour la journée et sont injoignables à l'heure actuelle. Nous nous efforçons de les informer de la situation et de leur indiquer de prendre contact avec vous. Veuillez nous faire parvenir les conduites à tenir face à cet évènement.

Message à diffuser Info - Trafic

Emetteur : Info-trafic
Destinataire : COD
Objet : message à diffuser Info-Trafic

M. le Préfet,

Veuillez nous indiquer les éléments que nous pouvons communiquer aux usagers concernant l'accident en cours sur l'autoroute A9 en termes d'évolution de la situation et de conduite à tenir.

Message complémentaire 2 INC ODG

Emetteur : ODG
Destinataire : CTA CODIS
Objet : Message complémentaire
Commune : Aigues-vives (30)
Adresse : Autoroute A9, sens Montpellier-Nîmes, à la hauteur de l'établissement Syngenta
Nature de l'intervention : AVP 1 PL en cause
1 PL TMD renversé, en feu
2 VL

Informations complémentaires

PL 1 : produit inconnu, plaques de danger détruites par l'incendie, fuite importante, formation d'une nappe, ensemble du convoi et nappe de produit en feu

Actions tactiques engagées
- Extinction en cours
- 2 LDV 500L/min en manœuvre

Propositions de manœuvres : installation d'un rideau d'eau pour écran thermique
Demande expertise et décision

Message complémentaire 2 éval RCH ODG

Emetteur : ODG
Destinataire : CTA CODIS
Objet : Message complémentaire
Commune : Aigues-vives (30)
Adresse : Autoroute A9, sens Montpellier-Nîmes, à la hauteur de l'établissement Syngenta
Nature de l'intervention : AVP 1 PL en cause
1 PL TMD renversé, en feu
2 VL

Informations complémentaires

PL 1 : produit inconnu, plaques de danger détruites par l'incendie, fuite importante, formation d'une nappe, ensemble du convoi et nappe de produit en feu, impossible de colmater la fuite à l'heure actuelle
Les documents de transports ont été détruits dans l'incendie

Actions tactiques engagées

Mesures et identification du risque
- Prélèvements
- Arborescence de tubes

Reconnaissance
Définition d'un périmètre de sécurité à 300m

Message complémentaire POL ODG

Emetteur : ODG
Destinataire : CTA CODIS
Objet : Message complémentaire
Commune : Aigues-vives (30)
Adresse : Autoroute A9, sens Montpellier-Nîmes, à la hauteur de l'établissement Syngenta
Nature de l'intervention : AVP 1 PL en cause
1 PL TMD renversé, en feu
2 VL

Informations complémentaires

PL 1 : produit inconnu, plaques de danger détruites par l'incendie, fuite importante, formation d'une nappe, ensemble du convoi et nappe de produit en feu
Le personnel d'intervention signale une odeur forte

La formation d'une nappe de produit et des eaux d'extinction menace le cours d'eau en contrebas

Actions tactiques engagées

Demande conduite à tenir

Message complémentaire 3 INC ODG

Emetteur : ODG
Destinataire : CTA CODIS
Objet : Message complémentaire
Commune : Aigues-vives (30)
Adresse : Autoroute A9, sens Montpellier-Nîmes, à la hauteur de l'établissement Syngenta
Nature de l'intervention : AVP 1 PL en cause
1 PL TMD renversé, en feu
2 VL

Informations complémentaires

PL 1 : produit inconnu, plaques de danger détruites par l'incendie, fuite importante, formation d'une nappe, ensemble du convoi et nappe de produit en feu

Actions tactiques engagées
Extinction en cours
2 LDV 500L/min en manœuvre

Arrivée sur les lieux des renforts FPT

Demande expertise et décision pour affectation des missions

Emetteur : CTA CODIS
Destinataire : COD
Objet : parution dépêche AFP
Bombes roulantes sur nos routes : un camion transportant des matières toxiques en feu sur l'A9. Plusieurs blessés, un impressionnant dispositif de secours et l'A9 paralysée.
Un poids-lourd transportant des matières dangereuses a causé un accident de la circulation sur l'autoroute A9 proche de l'entrée de Nîmes. Il s'est enflammé après s'être couché en travers de la chaussée. De nombreux véhicules particuliers sont impliqués. Plusieurs blessés sont à déplorer, dont un est dans un état critique, le chauffeur du camion-citerne. Un important dispositif de secours a été déployé. Un embouteillage de plusieurs km s'est formé suite à l'accident dont la cause sera déterminée par l'enquête qui va relancer le débat sur la surcharge des routes par les transports de matières dangereuses et le comportement des routiers.

Message à diffuser Radio-France Bleue Gard Lozère

Emetteur : Radio-France Bleue Gard Lozère
Destinataire : COD
Objet : message à diffuser Radio-France Bleue Gard Lozère

M. le Préfet,
Dans le cadre de notre convention relative à l'information des populations, veuillez nous indiquer les éléments que nous pouvons communiquer aux usagers concernant l'accident en cours sur l'autoroute A9 en termes d'évolution de la situation et de conduite à tenir.

Message complémentaire 2 POL ODG

Emetteur : ODG
Destinataire : CTA CODIS
Objet : Message complémentaire
Commune : Aigues-vives (30)
Adresse : Autoroute A9, sens Montpellier-Nîmes, à la hauteur de l'établissement Syngenta
Nature de l'intervention : AVP 1 PL en cause
1 PL TMD renversé, en feu
2 VL

Informations complémentaires

PL 1 : produit inconnu, plaques de danger détruites par l'incendie, fuite importante, formation d'une nappe, ensemble du convoi et nappe de produit en feu. La formation d'une nappe de produit et des eaux d'extinction menace le cours d'eau en contrebas.

Actions tactiques engagées

Propositions de manœuvres
Installation d'un merlon
Demande de décision et de moyens

Message complémentaire 3 éval RCH ODG

Emetteur : ODG
Destinataire : CTA CODIS
Objet : Message complémentaire
Commune : Aigues-vives (30)
Adresse : Autoroute A9, sens Montpellier-Nîmes, à la hauteur de l'établissement Syngenta
Nature de l'intervention : AVP 1 PL en cause
1 PL TMD renversé, en feu
2 VL

Informations complémentaires

PL 1 : produit inconnu, plaques de danger détruites par l'incendie, fuite importante, formation d'une nappe, ensemble du convoi et nappe de produit en feu
Le personnel d'intervention signale une odeur forte

Actions tactiques engagées

Mesures et identification du risque
Prélèvements
Arborescence de tubes

Le chauffeur a indiqué que produit de la première citerne est un polyol.

Demande conduite à tenir maison de retraite Aigues-Vives

Emetteur : CODIS
Destinataire : COD
Objet : demande conduite à tenir maison de retraite Aigues-Vives

M. le Préfet,

Le Directeur de la maison de retraire d'Aigues-Vives, après avoir tenté en vain de joindre la mairie, nous demande de lui faire parvenir les conduites à tenir face à cet évènement.

Demande bilan COZ

Emetteur : M. le Préfet de la zone de défense sud
Destinataire : COD
Objet : demande bilan COZ

M. le Préfet,

Veuillez nous indiquer le bilan de la situation concernant l'accident en cours sur l'autoroute A9 en termes d'évolution de la situation et des mesures de sauvegarde engagées. Je vous demande de me tenir informé régulièrement de la situation.

Demande mise à jour message à diffuser Info-Trafic

Emetteur : Info-trafic
Destinataire : COD
Objet : message à diffuser Info-Trafic

M. le Préfet,

Veuillez nous indiquer les nouveaux éléments que nous pouvons communiquer aux usagers concernant l'accident en cours sur l'autoroute A9 en termes d'évolution de la situation et de conduite à tenir afin de mettre à jour notre message.

Message complémentaire 4 éval RCH ODG

Emetteur : ODG
Destinataire : CTA CODIS
Objet : Message complémentaire
Commune : Aigues-vives (30)
Adresse : Autoroute A9, sens Montpellier-Nîmes, à la hauteur de l'établissement Syngenta
Nature de l'intervention : AVP 1 PL en cause
1 PL TMD renversé, en feu
2 VL

Informations complémentaires

PL 1 : produit inconnu, plaques de danger détruites par l'incendie, fuite importante, formation d'une nappe, ensemble du convoi et nappe de produit en feu
Le personnel d'intervention signale une odeur forte

Actions tactiques engagées

Mesures et identification du risque
Prélèvements
Arborescence de tubes

Le chauffeur a indiqué que produit de la première citerne est un polyol

Des mesures sont en cours pour la détection de la substance

Message complémentaire 5 éval RCH ODG

Emetteur : ODG
Destinataire : CTA CODIS
Objet : Message complémentaire
Commune : Aigues-vives (30)
Adresse : Autoroute A9, sens Montpellier-Nîmes, à la hauteur de l'établissement Syngenta
Nature de l'intervention : AVP 1 PL en cause
1 PL TMD renversé, en feu
2 VL

Informations complémentaires

PL : produit inconnu, plaques de danger détruites par l'incendie, fuite importante, formation d'une nappe, ensemble du convoi et nappe de produit en feu
Le personnel d'intervention signale une odeur forte

Actions tactiques engagées

Mesures et identification du risque
- Prélèvements
- Arborescence de tubes

Le produit de la première citerne est un etherglycol.

Annexe IX : rôles des participants dans l'exercice TMD sur l'A9

Vous êtes les représentants des services impliqués dans la gestion des accidents majeurs. Il est 10h35, le COD est activé par le Préfet à la préfecture de Nîmes suite à un accident à caractère chimique. Un poids lourd transportant des matières dangereuses s'est renversé sur la chaussée et il est en feu. Le chauffeur est sorti seul de sa cabine. Il est de nationalité espagnole et ne parle pas français. D'après les premiers témoins, il avait un comportement incohérent peu après l'accident. Dans un premier temps il était très agité, puis prostré avant de perdre connaissance. La matière dangereuse transportée est inconnue. Les représentants des services convoqués par le Préfet sont les suivants :

- SDIS (Service Départemental d'Incendie et de Secours),
- GN (Gendarmerie Nationale),
- CRS (Compagnie Républicaine de Sécurité),
- SIDPC (Service Interministériel de Défense et de Protection Civiles),
- ASF (Autoroutes du Sud de la France),
- SAMU (Service d'Aide Médicale d'Urgence),
- DRIRE (Direction Régionale de l'Industrie, de la Recherche et de l'Environnement)

A votre arrivée, un bilan de la situation vous est présenté, puis vous prenez le relai pour assurer la Direction des Opérations de Secours. Vous travaillez en relation avec :

- Les services chargés de la protection des populations (SDIS, CODIS, SAMU)
- Les services chargés de l'ordre public (Police, Gendarmerie)
- Les autorités (maires, Préfet de zone au COZ)
- Des services d'appui (ASF, DRIRE, Météo-France, etc.)
- Des services de communication (Info-trafic, France 3, presse locale, radio locale, etc.)
- Un bureau d'études en risques industriels
- Un cabinet d'expertise en risques industriels

Vous disposez de moyens de communication (téléphone, mail), de sources d'information (cartographie, données relatives aux produits, accès internet, etc.), d'outils de modélisation.

Le rôle des membres du COD est ainsi de répondre aux besoins du PCO et informer, préparer et exécuter les décisions du Préfet. Ces actions sont réalisées depuis la Préfecture (salle opérationnelle) au moment de la mise en œuvre des dispositifs opérationnels ORSEC.

ACTEURS	MISSIONS GENERALES
PREFET	- DIRECTEUR DES OPERATIONS DE SECOURS - définition de la stratégie (prévision, anticipation) - détermination des objectifs des services de secours - information des élus - populations - médias - coordination des services - information COZ – COGIC (demande de renforts)
SDIS	- liaisons avec CODIS - recherche des informations et des renforts demandés par le PCO en liaison avec le CODIS - analyse de la situation - identification des dangers et des risques - conseil, évaluation et appui technique - aide à la décision du Préfet à travers l'évaluation des risques, du terme source, des effets potentiels et par la proposition de contre-mesures de lutte contre le sinistre et ses effets
SAMU	- recensement des moyens en personnels, matériels et locaux au profit du PCO pour assistance médicale et sécurisation des victimes - assure le suivi des destinations des victimes - au sein du COD la DDASS est le conseiller technique du Préfet pour les problèmes relatifs à la sécurité sanitaire - organisation des stratégies d'hébergement et d'assistance aux victimes et aux impliqués
DDE, gestionnaires de réseaux routiers	- recensement, recherche, mise à disposition des moyens (publics et/ou privés) en renforts demandés par le PCO (transport, terrassement, génie civil) - conseiller technique du Préfet dans la définition des itinéraires de déviation - gestion des routes
GENDARMERIE, DDSP	- regroupement des informations des services - préparation des réquisitions - préparation du jalonnement des itinéraires
Personnel SIDPC	- rédaction des synthèses et rapports - tenue à jour de la main courante
Conseillers techniques (DRIRE...)	- donner au préfet les éléments d'appréciation si la conduite des opérations présente des difficultés particulières

Organe d'aide à la décision et base arrière de la direction des opérations de secours qu'exerce le Préfet, le COD assure essentiellement :

- Le suivi et la synthèse de la situation,
- La recherche des moyens complémentaires demandés par le PCO,
- L'information des autorités centrales, via le Centre Opérationnel de Zone (COZ),
- La réflexion permettant d'anticiper l'évolution de l'évènement et de ses conséquences.

Le COD, en tant que structure d'Etat-major, assure les quatre fonctions suivantes :

- Fonction renseignement afin d'assurer le suivi de l'évolution de la situation et de l'emploi des moyens en liaison avec le PCO et la salle de commandement des échelons supérieurs CODISC et/ou CIRCOSC. Il évalue également l'état d'esprit de la population ou de l'opinion.
- Fonction de soutien de l'avant afin d'assurer : support des unités ou équipes engagées sur le terrain, suivi administratif, économique et financier de la mise en œuvre du plan et de l'après-plan, sécurité et fiabilité du réseau de transmissions.
- Fonction communication afin d'assurer la gestion de l'information en temps de crise vers les médias, les victimes et leur famille, les personnalités qui souhaitent des informations personnalisées, le public en général.
- Fonction synthèse afin d'assurer, en prenant quelque recul par rapport au traitement immédiat de l'accident, une réflexion sur les anticipations futures, le développement possible ou probable de la crise, de mener les tâches stratégiques de conception, de décision et d'évaluation; de donner les directives en matière de communications.

Annexe X : rôles des formateurs dans l'exercice TMD sur l'A9

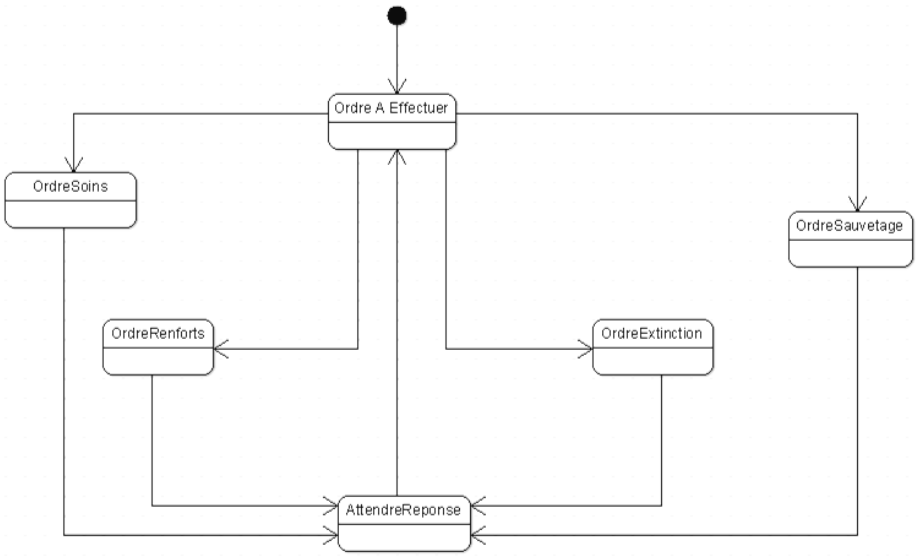
Rôles	Missions	Rôle pédagogique	Moyens
Autorités			
COZ – Préfet de zone	• Demandes de comptes-rendus • Demandes de justifications sur les mesures et les décisions prises, les actions et l'absence d'action • Met à disposition des moyens zonaux sur demande, en fournissant des délais d'acheminement et en soulevant les questions de responsabilité et des coûts engendrés	• Introduit de la pression sur le COD par des appels réguliers et par la nécessité des comptes à rendre au COGIC	• Moyens zonaux
Maire d'Aigues-Vives	• Demandes d'informations • Demandes de conduite à tenir • Demande les informations à communiquer aux habitants • Préserve ses administrés • Effectue le lien avec les services municipaux, écoles et demande les conduites à tenir vis-à-vis de ces établissements	• Introduit de la pression sur le COD par des appels réguliers pour connaitre la situation, son évolution, la conduite à tenir et pour manifester ses inquiétudes • Injoignable en début d'exercice, le secrétaire de mairie assure le lien avec le COD et demande de l'aide au COD • Le Préfet ayant pris la DOS, le Maire refuse d'élaborer la stratégie de communication	• Mise à disposition des listes d'ERP • Mise à disposition des listes de CEP • Mise à disposition des listes de centres d'hébergement • Mise à disposition des informations relatives aux établissements spécialisés
Maire de Gallargues	• Demandes d'informations • Demandes de conduite à tenir • Demande les informations à communiquer aux habitants • Préserve ses administrés • Effectue le lien avec les services municipaux, écoles et demande les conduites à tenir vis-à-vis de ces établissements	• Introduit de la pression sur le COD par des appels réguliers pour connaitre la situation, son évolution, la conduite à tenir et pour manifester ses inquiétudes • Le Préfet ayant pris la DOS, le Maire refuse d'élaborer la stratégie de communication	• Mise à disposition des listes d'ERP • Mise à disposition des listes de CEP • Mise à disposition des listes de centres d'hébergement • Mise à disposition des informations relatives aux établissements spécialisés

Protection des populations			
PCO – COS	• Remontée de l'information terrain • Reconnaissance • Demandes de moyens • Demandes d'informations • Mise en œuvre de tactiques opérationnelles • Comptes-rendus des actions • Propositions d'idées de manœuvres pour choix • Réalise des analyses et des mesures de concentrations sur demande du COD	• Informe le COD de l'évolution de la situation • Demande au COD de définir la stratégie de protection des populations et les plans d'actions à mettre en œuvre • Demande au COD la définition des zones d'effets • Demande au COD de définir le réseau de mesures	• Moyens de secours • Moyens d'analyse
CODIS	• Mise à disposition de moyens de secours et des délais de transit • Suivi des moyens engagés • Reconnaissance • Remontée d'informations (incendie, risque chimique, pollution)	• Informe le COD de l'évolution de la situation • Effectue le lien avec l'entreprise de dépotage et demande au COD de définir le plan d'actions	• Moyens de secours départementaux • Relations avec les entreprises d'enlèvement des déchets
SAMU	• Mise à disposition de moyens • Suivi des moyens engagés	• Soulève les problèmes de toxicologie, d'exposition des populations, des faibles doses, d'atteintes à l'environnement	• Moyens de secours médicaux • Expertise toxicologique
Ordre public			
COG – GN	• Mise à disposition de moyens • Suivi des moyens engagés • Réalisation du bouclage • Mise en œuvre des déviations • Comptes-rendus des actions • Exécution des réquisitions	• Demande la définition du bouclage et des itinéraires de substitution au COD • Informe le COD de l'évolution de la situation	• Moyens Gendarmerie en zone hors autoroute
COP – CRS	• Mise à disposition de moyens • Suivi des moyens engagés • Mise en œuvre de l'évacuation de l'autoroute	• Informe le COD de l'évolution de la situation • Demande au COD de définir la conduite à tenir vis-à-vis des usagers de l'autoroute (évacuation, dans quel sens, etc.) •	• Patrouille autoroute
ASF	• Mise à disposition de moyens • Suivi des moyens engagés	• Réticences à fermer l'autoroute • Insiste pour la réouverture de l'autoroute	• Moyens de TP • Données ASF (accès, signalisation, possibilités d'ouverture de la glissière centrale, etc.) •

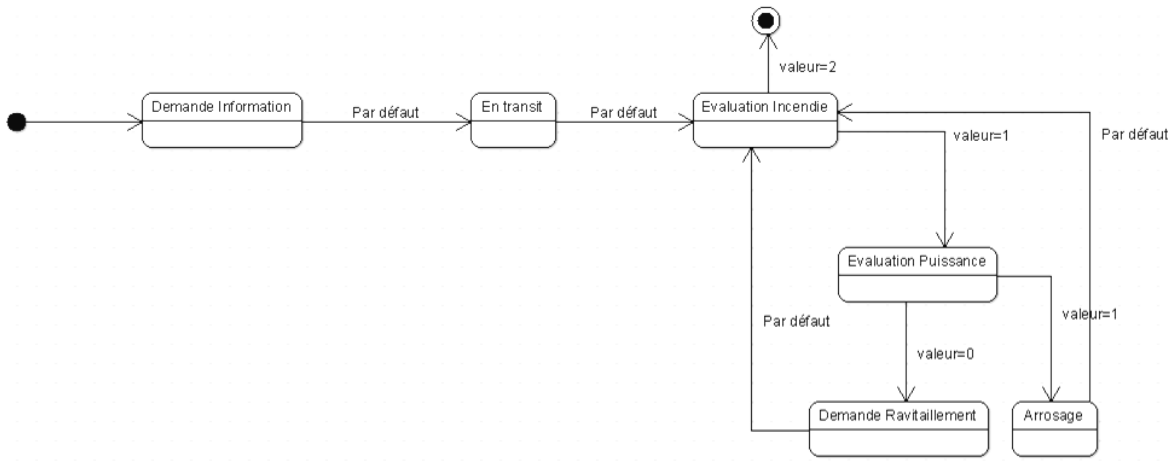
Communication			
AFP	• Diffusion d'une dépêche		
Radio-France Bleue	• Diffusion d'un flash info • Demande d'interview		• Existence d'une convention
Info-trafic	• Diffusion d'un message d'information • Demande d'informations		
TV	• Demande d'interview	• Insiste pour diffuser une information • Insiste pour obtenir un direct	
Expertise			
DRIRE	• Mise à disposition d'outils de modélisation • Mise à disposition de données relatives aux produits	• L'inspecteur en charge de l'usine Syngenta est injoignable	• OSIRIS • Modèle de vidange de la citerne
Météo-France	• Mise à disposition des données météo		
Acteurs privés			
Destinataire citerne		• Refuse de communiquer la composition du produit : secret industriel	
Transporteur citerne	• Fournit des informations relatives au transport	• Ne connait pas la composition du produit, seulement le nom commercial	• Caractéristiques de la citerne
Ingénieur QSE industriel	• Fournit les informations relatives à son usine	• Demande la stratégie à adopter vis-à-vis de l'usine • Partagé entre les risques encourus par les employés et le coût lié à la fermeture • Embauché récemment	
Association de riverains	• Demandes d'informations • Demandes de rendre des comptes • Crée une polémique sur le passage des camions TMD	• Introduit de la pression sur le COD par des appels réguliers pour connaitre la situation, son évolution et pour manifester ses inquiétudes • Crée la polémique, les rumeurs	
Association de protection de l'environnement	• Demandes d'informations • Demandes de rendre des comptes • Crée une polémique sur le passage des camions TMD	• Introduit de la pression sur le COD par des appels réguliers pour connaitre la situation, son évolution et pour manifester ses inquiétudes • Crée la polémique, les rumeurs	

Annexe XI : description UML des comportements du scénario TMD-A9

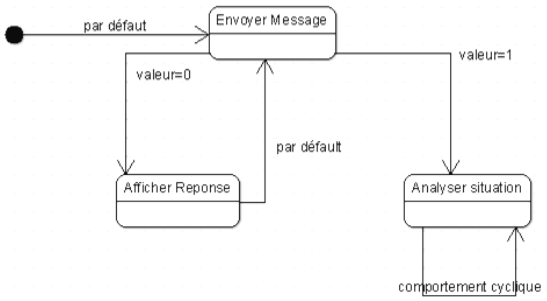
PCPompier :



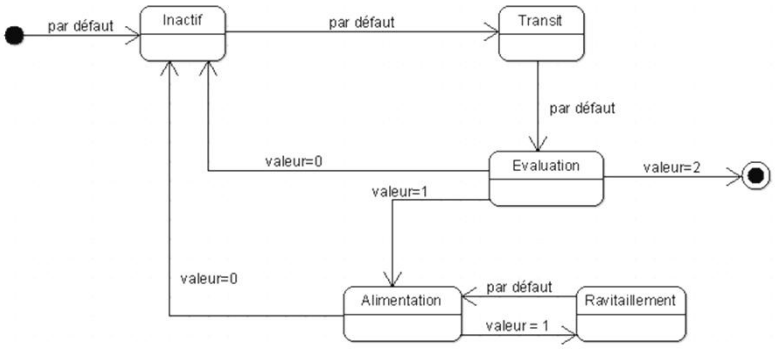
FPT :



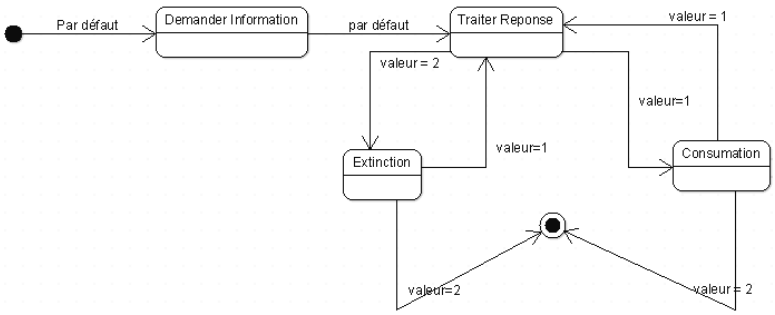
PCO :



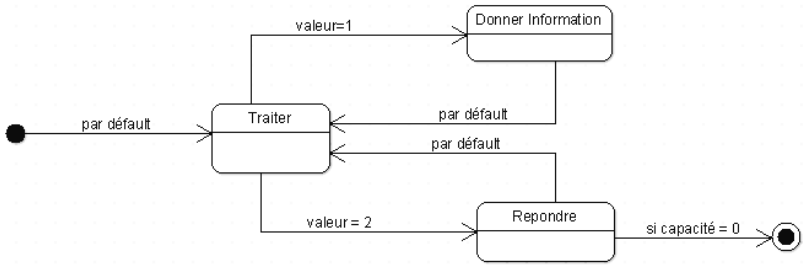
CCGC



Incendie



Camion-citerne accidentée



Annexe XII : dispositifs réglementaires concernant la pollution marine

Les directives européennes

Suite aux nombreux naufrages dont les conséquences furent catastrophiques pour l'environnement, la France ainsi que la Commission Européenne ont créé plusieurs directives. L'une des réglementations les plus importantes dans ce domaine est la directive-cadre sur l'eau. Elle reprend l'approche par bassin hydrographique inspirée du modèle français. Au-delà de cette directive-cadre, il a été question de réglementer l'utilisation spécifique de l'eau (baignade, eau potable, eaux piscicoles, etc.) et surtout à éviter qu'elle soit polluée. Or, la protection des eaux marines passe notamment par la lutte contre les pollutions intentionnelles (dégazages, etc.) ou involontaires (marées noires, etc.) provoquées par les navires.

A la suite des naufrages de l'Erika (1999) et du Prestige (2003), l'Union européenne est intervenue en faveur du renforcement des contrôles des navires dans les Etats européens afin de lutter contre la pollution marine accidentelle ou intentionnelle. Elle a dressé une liste noire des navires définitivement bannis des ports européens. Elle a programmé l'interdiction des navires à simple coque, demandé un renforcement de la surveillance du trafic maritime dans les eaux européennes et introduit des sanctions pénales. Une Agence européenne de la sécurité maritime a été créée. Enfin une directive, relative à la stratégie pour le milieu marin, a été adoptée par le Conseil le 14 mai 2008.

Les lois internationales

L'Organisation Maritime Internationale (OMI) a d'abord été appelée l'Organisation Maritime Consultative Intergouvernementale (OMCI) en 1948 et est devenue l'OMI en 1982. Elle assure la sécurité en mer, la prévention de la pollution marine par les navires, la formation des marins et la prévention des collisions en mer, et plusieurs conventions ont été adoptées grâce à elle. Les deux objectifs les plus importants sont l'amélioration de la sécurité maritime et la prévention de la pollution marine, en particulier la pollution par les hydrocarbures.

Le premier de ces deux objectifs passe par la « loi de la mer » qui a pour but d'établir une loi universelle standardisée pour l'usage des océans du monde. Elle constitue un guide de conduite dans les océans. Cette loi assigne aux pays la responsabilité de légiférer la lutte contre la pollution dans ces zones. Les gouvernements ont pour mission d'adopter des lois visant à bannir l'immersion, la décharge et le rejet de matières dans les eaux territoriales (12 milles des côtes) et dans la zone économique exclusive (200 milles des côtes).

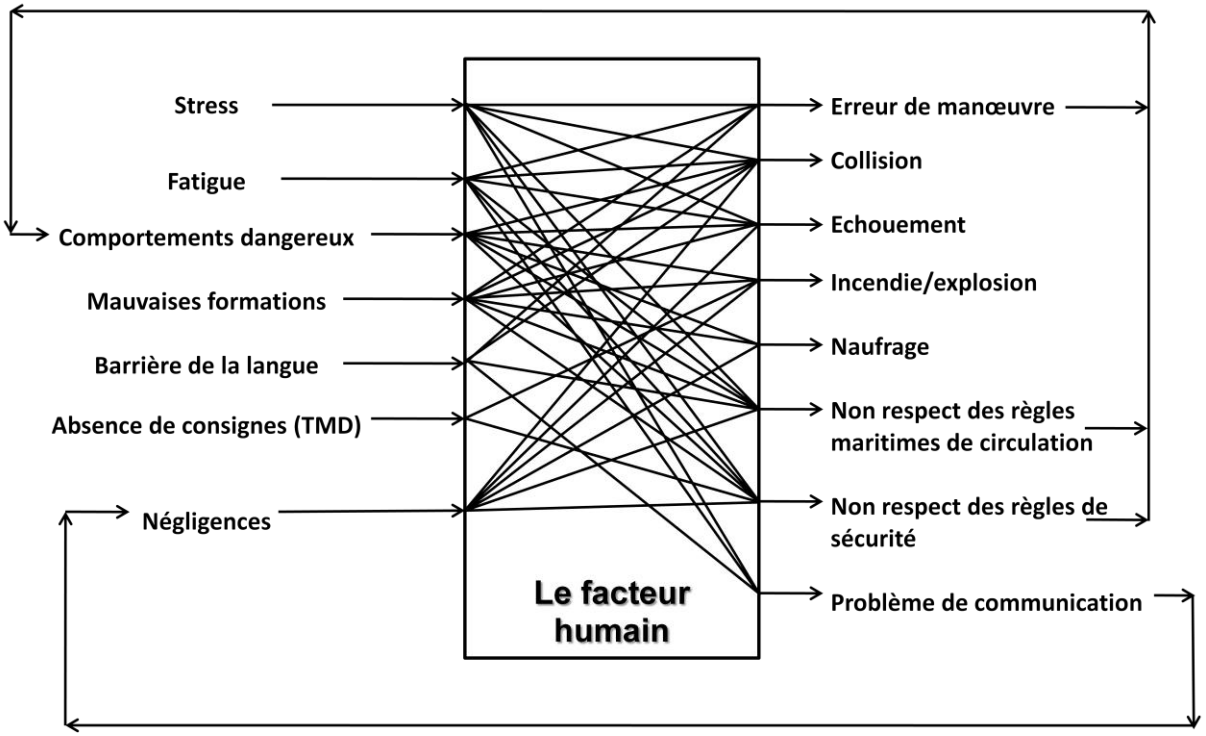
En Méditerranée, il n'existe pas de zone économique exclusive. Cependant, la France s'est dotée d'une zone de protection écologique en Méditerranée depuis le décret du 10 janvier 2004 qui s'étend jusqu'à 100 km au large des côtes (Loi n° 2003-346 du 15 avril 2003). La France pourra désormais poursuivre les infractions et pollutions illicites constatées dans cette zone.

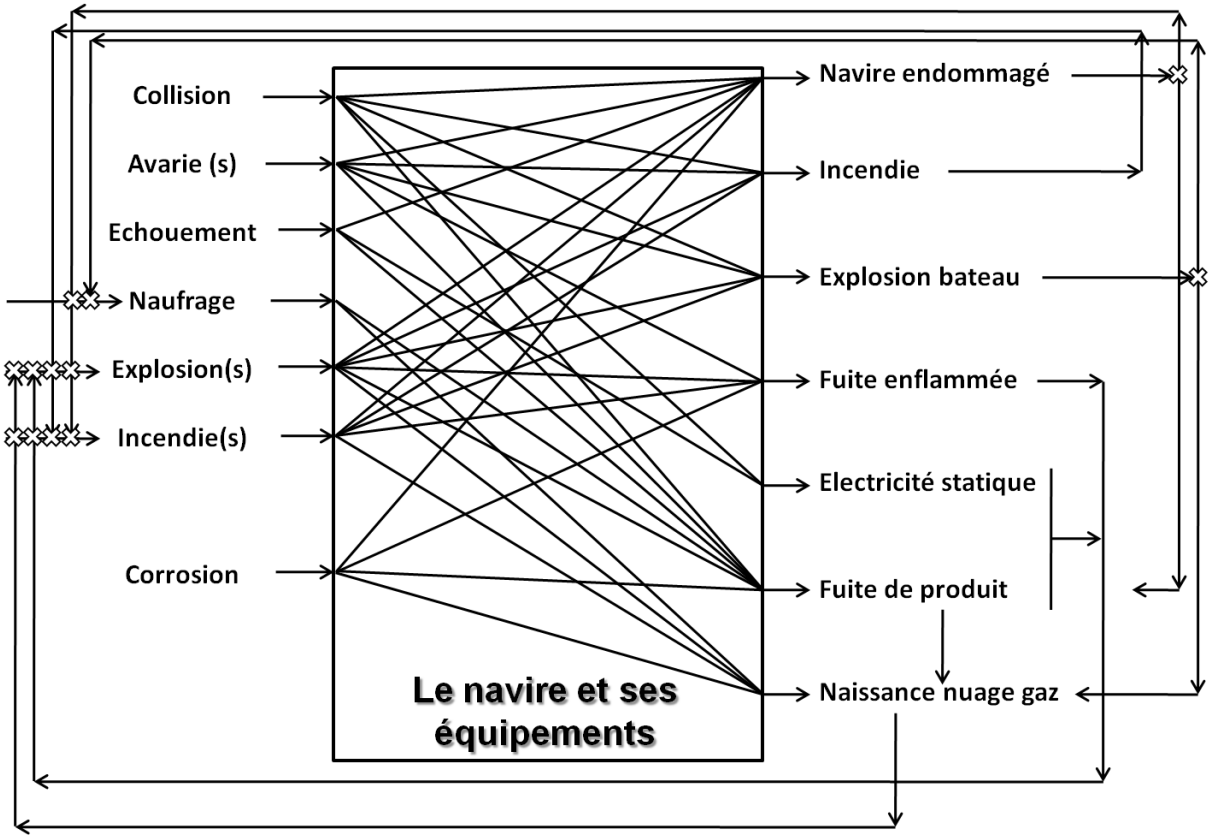
Le deuxième objectif passe par un « programme d'action global » (Novembre 1995) basé sur le constat que 80% des pollutions du milieu marin proviennent des activités humaines menées à terre. Comme la population mondiale vit en grande partie dans les zones côtières, ce programme d'action mondial a été élaboré pour la protection du milieu marin contre la pollution due aux activités terrestres. Conçu comme un guide théorique et pratique, il vise à aider les Etats à s'acquitter de leur devoir de préservation et de protection du milieu marin.

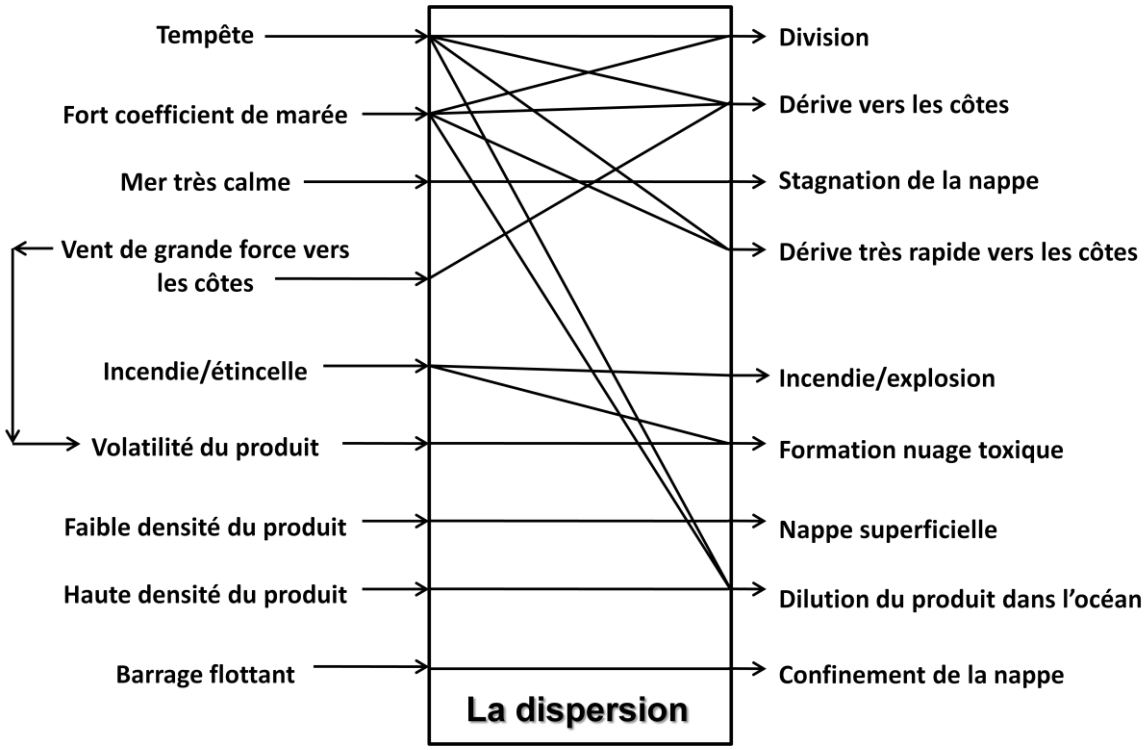
Chaque type de pollution y fait l'objet d'un axe de lutte spécifique. Les macrodéchets sont considérés comme un problème à la fois environnemental, économique, sanitaire et esthétique qui doit être intégré dans les accords régionaux et nationaux, les plans d'actions, les initiatives et les discussions.

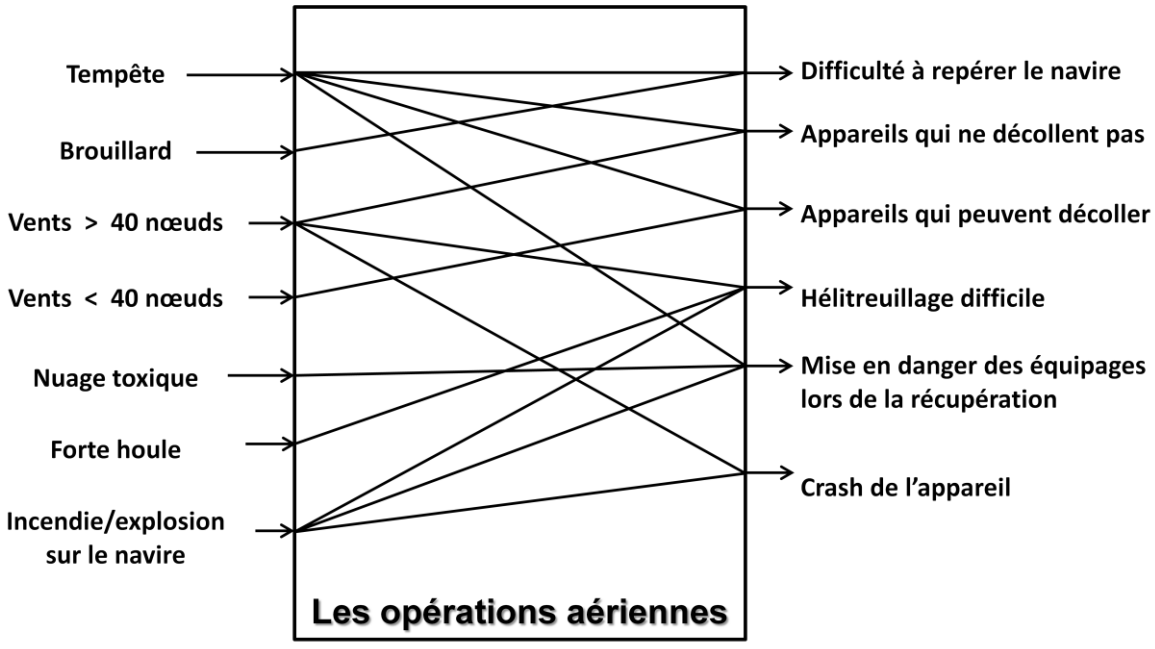
Le programme d'action global rappelle enfin la plupart des initiatives internationales pouvant intégrer les macrodéchets et notamment le Plan d'Action pour la Méditerranée ainsi que les programmes européens.

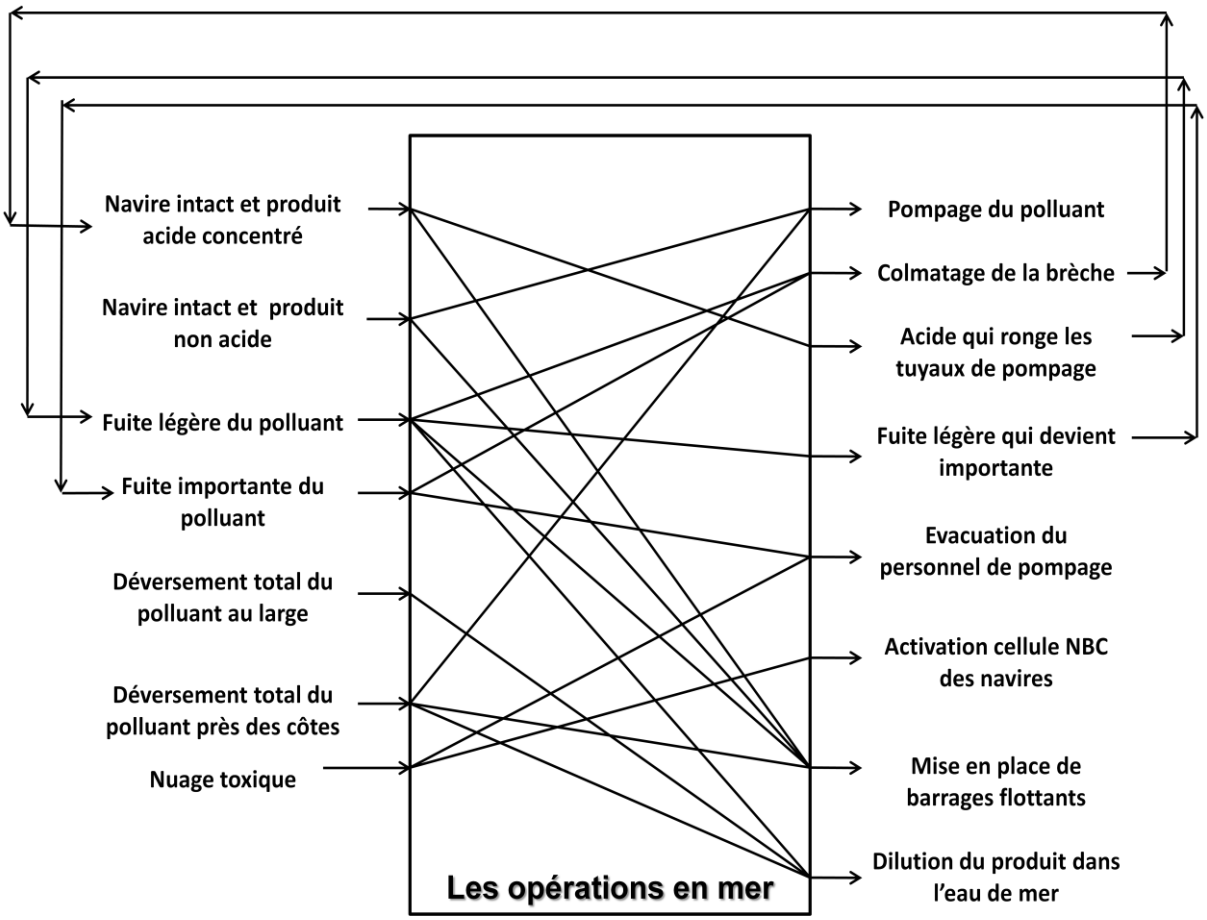
Annexe XIII : sous-systèmes MOSAR d'un exercice de pollution marine

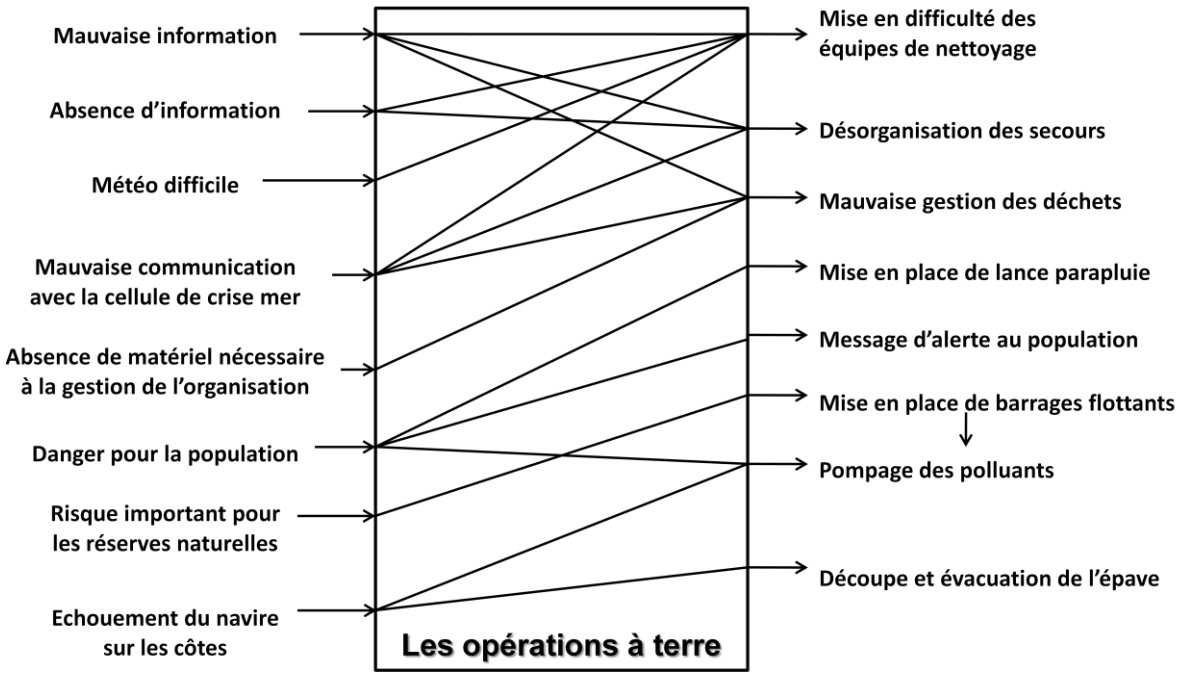


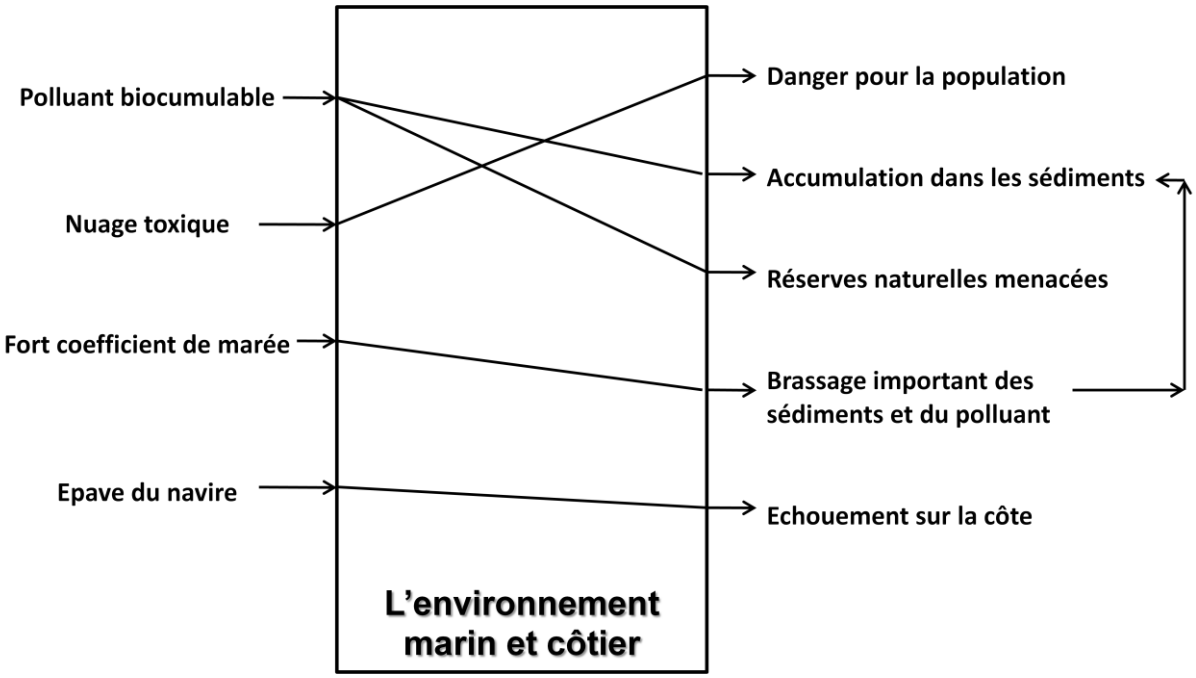


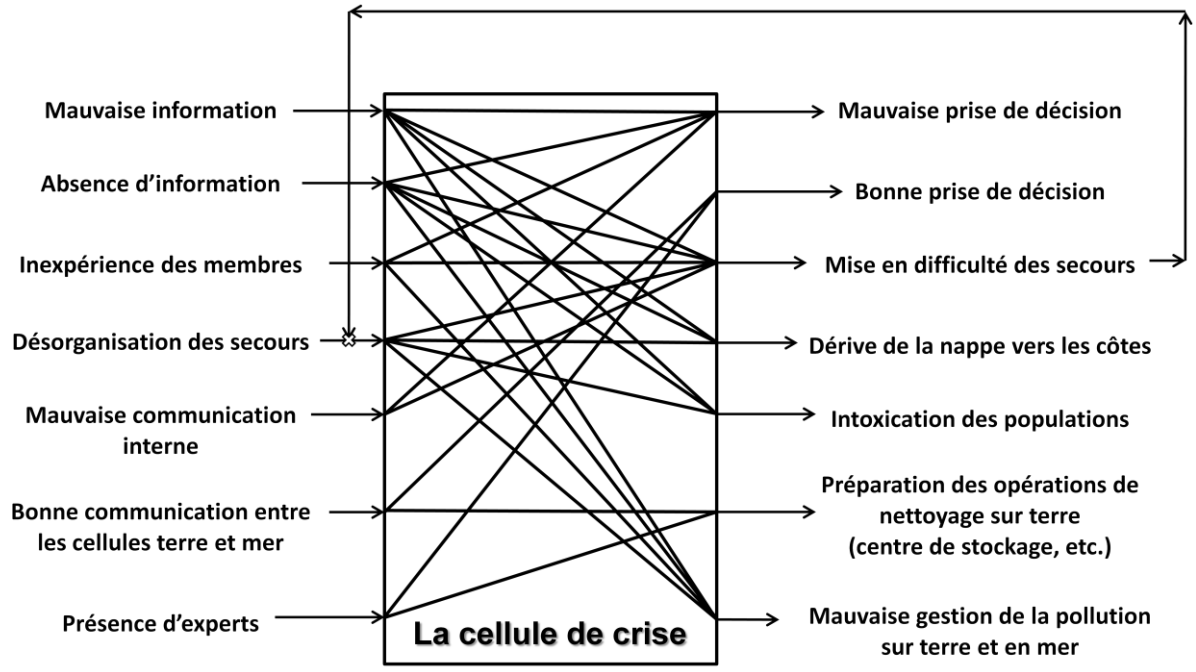

Tempête
Fort coefficient de marée
Mer très calme
Vent de grande force vers les côtes
Incendie/étincelle
Volatilité du produit
Faible densité du produit
Haute densité du produit
Barrage flottant
Division
Dérive vers les côtes
Stagnation de la nappe
Dérive très rapide vers les côtes
Incendie/explosion
Formation nuage toxique
Nappe superficielle
Dilution du produit dans l'océan
Confinement de la nappe
La dispersion

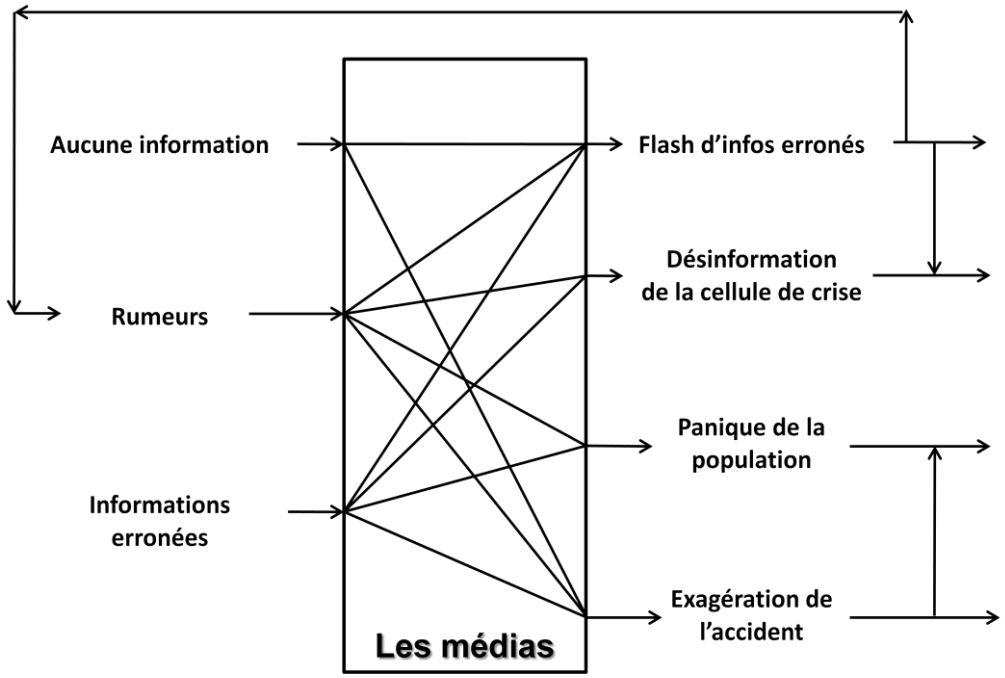

Tempête
Brouillard
Vents > 40 nœuds
Vents < 40 nœuds
Nuage toxique
Forte houle
Incendie/explosion sur le navire
Difficulté à repérer le navire
Appareils qui ne décollent pas
Appareils qui peuvent décoller
Hélitreuillage difficile
Mise en danger des équipages lors de la récupération
Crash de l'appareil
Les opérations aériennes


Navire intact et produit acide concentré
Navire intact et produit non acide
Fuite légère du polluant
Fuite importante du polluant
Déversement total du polluant au large
Déversement total du polluant près des côtes
Nuage toxique
Les opérations en mer
Pompage du polluant
Colmatage de la brèche
Acide qui ronge les tuyaux de pompage
Fuite légère qui devient importante
Evacuation du personnel de pompage
Activation cellule NBC des navires
Mise en place de barrages flottants
Dilution du produit dans l'eau de mer


Mauvaise information
Absence d'information
Météo difficile
Mauvaise communication avec la cellule de crise mer
Absence de matériel nécessaire à la gestion de l'organisation
Danger pour la population
Risque important pour les réserves naturelles
Echouement du navire sur les côtes
Les opérations à terre
Mise en difficulté des équipes de nettoyage
Désorganisation des secours
Mauvaise gestion des déchets
Mise en place de lance parapluie
Message d'alerte au population
Mise en place de barrages flottants
Pompage des polluants
Découpe et évacuation de l'épave


Polluant biocumulable
Nuage toxique
Fort coefficient de marée
Epave du navire
Danger pour la population
Accumulation dans les sédiments
Réserves naturelles menacées
Brassage important des sédiments et du polluant
Echouement sur la côte
L'environnement marin et côtier

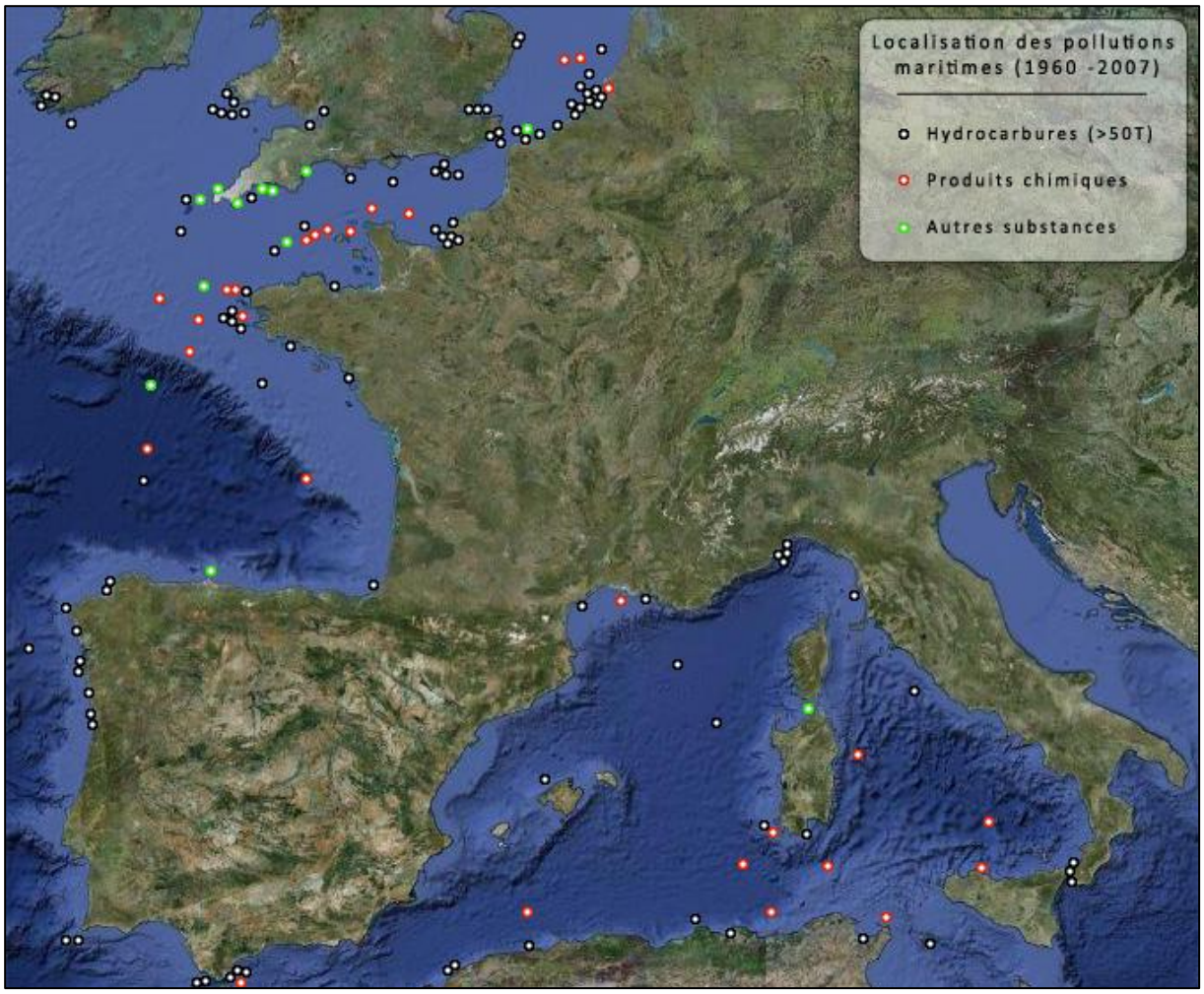

Mauvaise information
Absence d'information
Inexpérience des membres
Désorganisation des secours
Mauvaise communication interne
Bonne communication entre les cellules terre et mer
Présence d'experts
Mauvaise prise de décision
Bonne prise de décision
Mise en difficulté des secours
Dérive de la nappe vers les côtes
Intoxication des populations
Préparation des opérations de nettoyage sur terre (centre de stockage, etc.)
Mauvaise gestion de la pollution sur terre et en mer
La cellule de crise


Aucune information
Rumeurs
Informations erronées
Les médias
Flash d'infos erronés
Désinformation de la cellule de crise
Panique de la population
Exagération de l'accident

Nom	Navire	Lieu	Date	Cargaison	Quantités déversées	Cause de l'accident	Divers	Réaction chimique
ABDUL RAHMAN	cargo polyvalent	Libye, benghazi	20/11/1997	1500 t de Nitrate d'Ammonium + 500 t de fer-silicium + 100 tonnes de soude caustique + 100 t de miel brun	tout+ fioul de soute	échouement	pavillon égyptien, le bateau date de 1971	
ALBION 2	vraquier	Brest, à 60 miles	18/02/1997	114 t de Carbure de calcium	tout+ fioul de soute	avarie	pavillon chypriote, le bateau date de 1986	risque d'explosion du carbure, la réaction avec l'eau produit de l'acétylène, gaz inflammable (10kg ->3 à 4 mc de gaz)
ALESSANDRO PRIMO	chimiqiuer	Mer adriatique, 30 km de MOLFETA	01/02/1991	3 013 tonnes de 1,2 dichloroéthane et 549 tonnes d'acrylonitrile	rien	avarie	Pavillon italien, le bateau date de 1983, 2 733 tonnes de 1,2 dichloroéthane sont ainsi récupérées des cuves de l'épave ainsi que 2 850 m³ de mélange eau-dichloroéthane et 900 m³ de l'acrylonitrile mélangé à l'eau.	L'acrylonitrile est un liquide hautement inflammable. Dans l'eau de mer, l'acrylonitrile se dissout et s'évapore. Le 1,2 dichloroéthane est inflammable et toxique. Au contact de l'eau de mer, le produit se dissout.
AMALIE ESSBERGER	navire citerne	port de GÖTEBORG	13/01/1973	phénol fondue	400 t de phénol sur le quai et dans la mer	la citerne s'est rompue en raison d'une surpression	pavillon Allemand	un nuage gazeaux se forme sur les quais, mais T°= 0°C donc solidification du polluant et évaporation limitée
ANNA BROERE	chimiquier	Pays Bas, 60 nautiques de IJMUIDEN	27/05/1988	547 tonnes d'acrylonitrile et de 500 tonnes de dodécylebenzène.	50 % de l'acryl. ne sera pas récupéré	Collision avec porte conteneur	pavillon Hollandais	L'acrylonitrile est un liquide hautement inflammable. Dans l'eau de mer, l'acrylonitrile se dissout et s'évapore.
ARIADNE	porte conteneur	port de mogadishu	24/08/1985	118 conteneurs d'acétone, acétate de butyle, tétraéthyle de plomb, toluène, trichloréthylène et xylène	14 conteneurs	échouement	pavillon panaméen, incendie dans les cales	des émanations toxiques se sont dirigées vers la ville
BAHAMAS	chimiqier	Port de RIO GRANDE	24/08/1998	19 000 t d'acide sulfurique à 95 %	tout	avarie	bateau trop vétuste, l'acide endommage la navire	l'eau devenue trop corrosive rend les opération de pompage impossibles, risque d'explosion,
BALU	chimiquier	Golf de gascogne, 120 miles au nord de La Corogne	20/03/2001	8000 t d'acide sulfurique	tout	avarie	pavillon maltais, le bateau date de 1977	acide dense (d=1,84) -> il coule et se dissout
BOW EAGLE	chimiquier	Finistère, au large de l'ile de SEIN	26/08/2002	200 t d' acétate d'éthyle et cyclohexane	tout	collision navire de pêche	pavillon norvégien, le bateau date de 1988	l'acétate d'éthyle est un liquide très inflammable, dont les vapeurs peuvent dans certaines conditions former des mélanges explosifs avec l'air, l'eau étant susceptible de favoriser la propagation d'un incendie déclaré
BRIGITTA MONTANARI	chimiquier	cote adriatique, large de Sibenik	16/11/1984	1300 t de chlorure de vinyle monomère	tout	avarie	pavillon maltais, le bateau date de 1975	une fuite de VMC importante s'est déclarée -> danger pour les équipes de pompages à la surface
BURGENSTEIN	cargo polyvalent	Port de BREMERHAVEN, Allemagne	10/01/1977	peroxyde de sodium, cyanure de sodium et cyanure de potassium	tout a brulé	avarie	pavillon allemand	un fût de peroxyde de sodium est endommagé. Une partie du contenu se répand sur des bâches en plastique présentes sur le pont alors que la pluie commence à tomber. Le peroxyde de sodium réagit alors violemment avec les matières plastiques humides. Ceci provoque un incendie qui se propage rapidement sur le pont puis met feu la cargaison.
CASON	cargo polyvalent	GALICE, cap Finistere	05/12/1987	5 000 fûts, bidons, conteneurs ou sacs de produits inflammables (xylène, butanol, acrylate de butyle, cyclohexanone, sodium), toxiques (huile d'aniline, diphénylIméthane, o-cresol, dibutyl phtalate) et corrosifs (acide phosphorique, anhydride phtalique).	tout	échouement	pavillon panaméen, le bateau date de 1969	l'incendie est provoqué par le contact entre le sodium et l'eau lors de l'avarie
CAVTAT	cargo	Italie, détroit d'Otranto	14/07/1974	270 t de tétra-alkyles de plomb	tout, seule 20 t ne seront pas récupérées	collision avec vraquier	pavillon yougoslave	la cargaison coule mais ne fuit pas
N°1 CHUNG MU	chimiquier	Chine, chenal de ZHANJIANG	09/03/1995	3500 t de styrène monomère	230 t	collision avec un cargo	pavillon chinois, le bateau date de 1994	écoulement sous marin de styrène (vapeurs neurotoxiques) mais pas de dangers pour la population
DOGRUYOLLAR 4	cargo polyvalent	Italie, Cap Carbonara	02/02/1998	2020 t de concentré de zinc et de plomb	tout	avarie	pavillon turc, le bateau date de 1979	

ECE	chimiquier	GUERNESEY, Les Casquets	31/01/2006	10 000 t d'acide phosphorique	tout	collision avec un vraquier	pavillon marshallais, le bateau date de 1988	
ENA 2	chimiquier	Allemagne, Hamburg	28/06/2004	960 t d'acide sulffurique	6 t	collision avec un porte conteneurs	pavillon allemand, le bateau date de 1972	émanations toxiques de gaz corrosifs
ERATO	vraquier	Au large de l'Algérie	21/10/1991	25 894 t de phosphate	tout + 500 t de fioul de soute	Intempéries	pavillon maltais, le bateau date de 196	
ERKOWIT	porte conteneur	Galice, cap Vilano	11/10/1970	2000 barils d'insecticides	286 t	Collision avec un bateau à vapeur	pavillon soudanais	
EVER DECENT	porte conteneur	Douvre, au large de l'UK	28/08/1999	cyanure, plomb et pesticides	0	collision avec un paquebot	le bateau date de 1997	Risque explosion car incendie sur le pont + risque chimique (fumées toxiques)
GRANDCAMP	cargo	Etats-Unis, TEXAS CITY	16/04/1947	2200 t de nitrate d'amonium	0	incendies	pavillon francais	Explosion en chaine des navires situés à proximités dans le port, ville de TEXAS évacuée, port détruit
KIRA	citernier	Grèce, ile de SAPIENTZA	09/02/1996	7600 t d'acide phosphorique	tout +300 t de fioul lours	avarie	pavillon panaméen, le bateau date de 1974	
LYBES LIBERATOR	porte conteneur	Finistere	02/02/2002	3000 conteneurs	60 conteneurs dont un dangeureux (iodure de diethyl aluminium, iodure de diethyl zinc et produits	avarie	pavillon américain	les citernes ne seront pas retrouvées
MARTINA	chimiquier	Suède, Nord ouest de l'oresund	28/03/2000	600 t d'acide chlorhydrique à 30%	tout	collision avec un porte conteneurs	pavillon libérien, le bateau date de 1968	l'acide sera ensuite relargué progressivement au large
MULTITANK ASCANIA	chimiquier	Ecosse, Pentland	19/03/1999	1800 t de monomère d'acétate de Vinyle	0	Incendie	pavillon égyptien, le bateau date de 1988	substance liquide très inflammable
MSC NAPOLI	porte conteneur	Manche Ouest	18/01/2007	2394 conteneurs (41 730 t de marchandises) dont 1700 t de produits classés dangereux	pas de produits chimiques	avarie	pavillon britannique, le bateau date de 1991	
NORDFRAKT	cargo polyvalent	Pays bas, 50 km au large de	25/10/1992	Concentré de plomb	toute la cargaison est pompée	avarie, mauvais temps	pavillon Norvégien, le bateau date de 1973	
OCEAN LIBERTY	cargo	rade de Brest	28/07/1947	3000 t de Nitrate d'amonium	tout à explosé, 300 t de fioul déversées	Incendie	pavillon Norvégien, le bateau date de 1943	surchauffage des sacs -> Incendie -> explosion
OCEAN SPIRIT	cargo	Malte, île de GOZO	15/04/1988	2850 t de concentré de plomb	tout	avarie	pavillon chypriote, le bateau date de 1976	
POONA	cargo	Suède, port de GÖTEBORG	15/07/1971	36 t de chlorate de sodium + 600 t d'huile de colza	0	Incendie	Pavillon Danois	Lors du chargement additionnel de structures en acier dans la même cale où se trouvent déjà les deux substances, un baril d'huile de colza est éventré. A la fin des opérations, un deuxième fût est endommagé et du chlorate de sodium vient se mêler à l'huile. Une des structures d'acier glisse sur le fond de la cale et produit des étincelles qui mettent le feu au mélange des deux substances. L'incendie gagne la totalité de la cale en moins de deux minutes, puis trois violentes explosions se produisent.
PUERTO RICAN	chimiquier	USA, baie de San Francisco	31/10/1984	soude caustique	400 à 500 mc	Incendie	pavillon américain	Par un petit trou dans une paroi de la citerne, de la soude caustique s'infiltre dans la citerne adjacente vide. La soude caustique réagit avec le revêtement époxyde, riche en zinc, des parois et des supports de la citerne vide, en dégageant de l'hydrogène. Ce gaz s'enflamme, par suite d'un contact métal à métal, ou du fait d'une décharge électrostatique.
SCAIENI	cargo polyvalent	Italie, Est de la Sicile	07/12/1991	3057 t de Nitrate d' amonium	tout	Intempéries	Pavillon Roumain, le bateau date de 1980	
SHERBO	porte conteneur	au large de Cherbourg	08/12/1993	1380 conteneurs	88 conteneurs divers dont certains contenant deux types de pesticides (12,2 tonnes), de la nitrocellulose (21,6 tonnes), du soufre (1 tonne), du phénol (200 kg), de la méthyl-cétone (35 kg) et un produit inflammable (3,6 tonnes)	Intempéries	Pavillon francais	
SINDBAD	cargo	Pays bas, au large d'IJMUIDEN	10/12/1979	Chlore	51 bonbonnes d'acier de Chlore (51 t)	avarie et Intempéries	Pavillon iraquien	Libération atmosphérique ponctuelle de Chlore

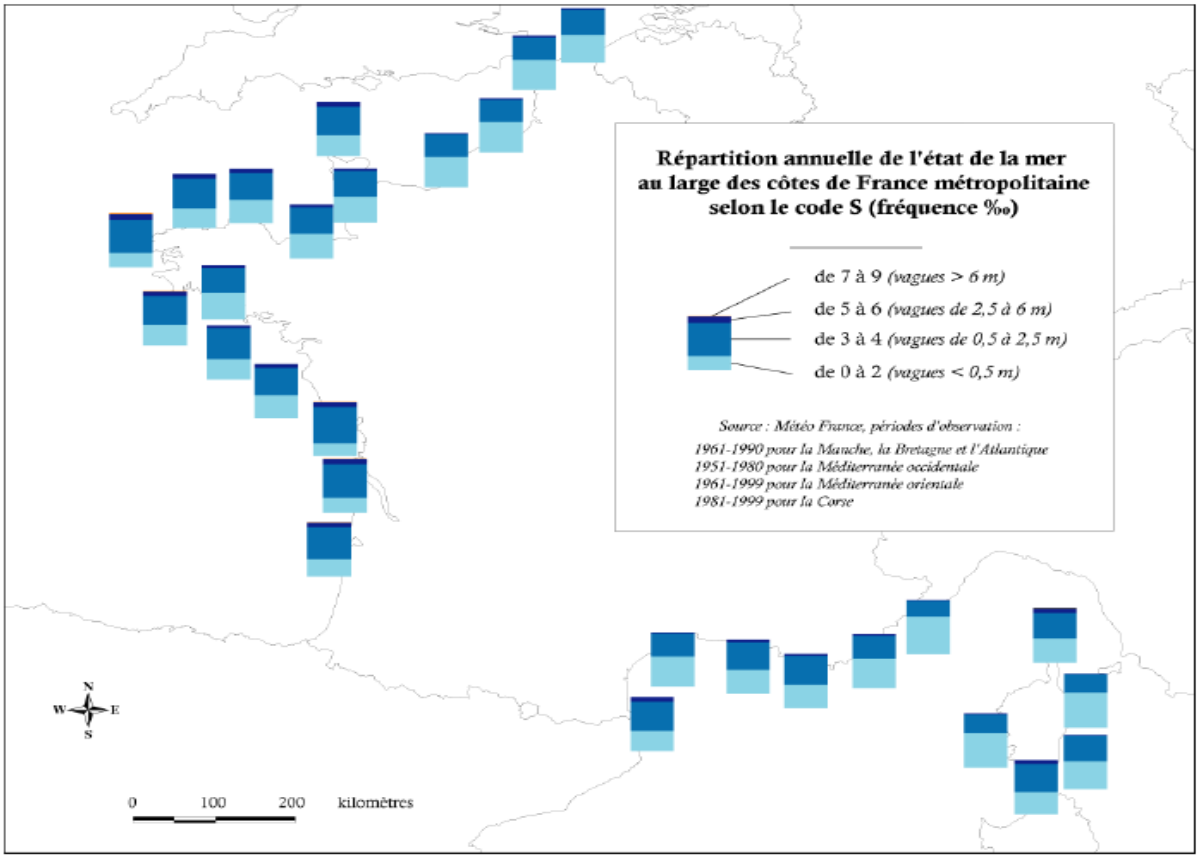
Localisation des pollutions maritimes entre 1960 et 2007



Source : CEDRE.

Annexe XV : éléments de réalisme météorologique et hydrodynamique

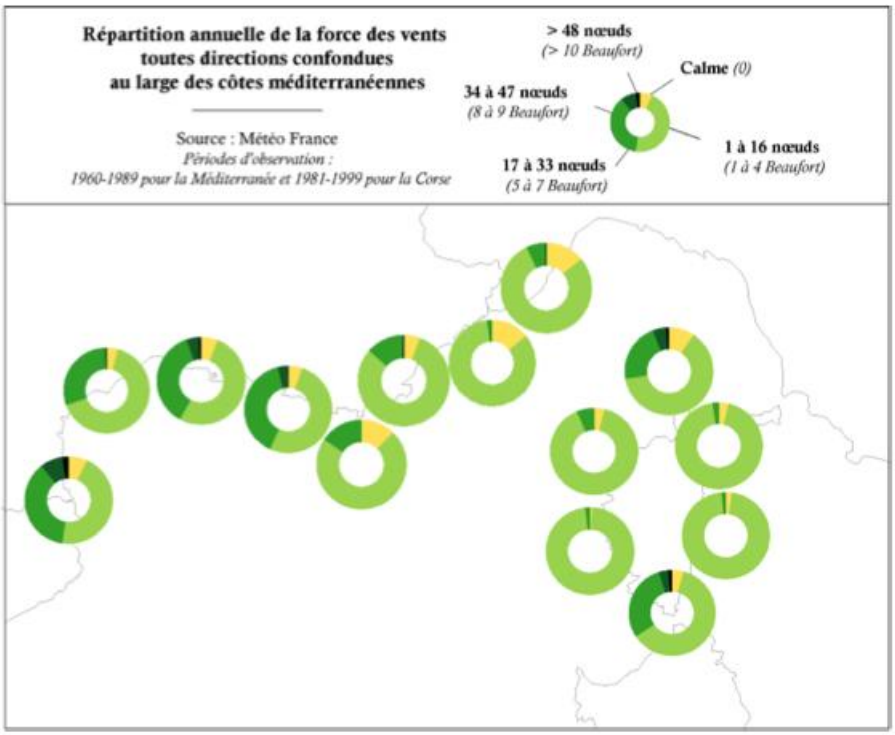
Afin que le scénario soit le plus réaliste possible et qu'il mette les participants dans des conditions vraisemblables, il est apparu nécessaire d'intégrer des paramètres tels que l'état de la mer dont l'impact peut non seulement conditionner les stratégies à mettre en place pour l'intervention des secours mais impacter aussi la dérive de la nappe de polluant.



Source : les pollutions maritimes accidentelles en France : Risques, Planification, Gestion de crise. BAHE Sophie, thèse, 2008, 606p.

Degré	Terme descriptif	Hauteur des vagues
0	calme	0
1	ridée	0 à 0,1 m
2	belle	0,1 à 0,5 m
3	peu agitée	0,5 à 1,25 m
4	agitée	1,25 à 2,5 m
5	forte	2,5 à 4 m
6	très forte	4 à 6 m
7	grosse	6 à 9 m
8	très grosse	9 à 14 m
9	énorme	≥ 14 m

Source : http://france.meteofrance.com.



Source : Les pollutions maritimes accidentelles en France - Risques, Planification, Gestion de crise [Bahe, 2008].

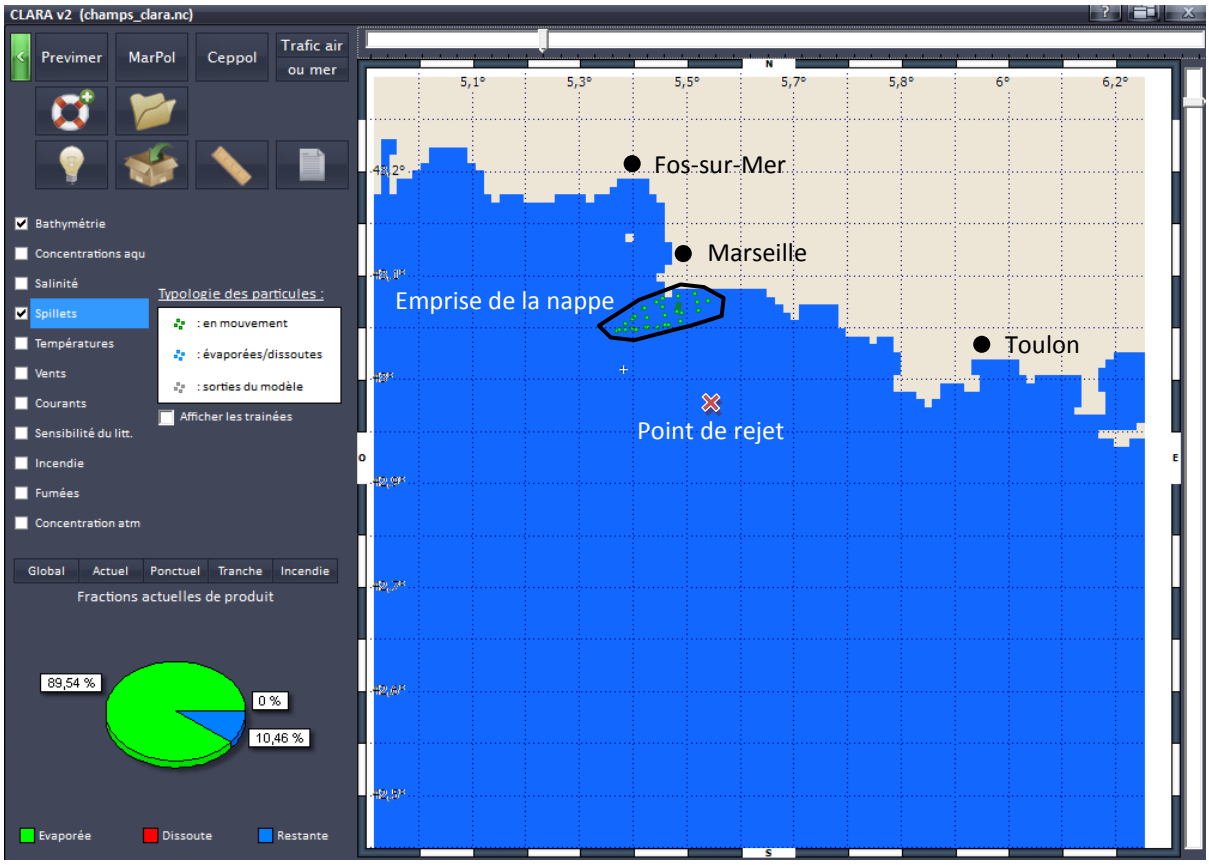
Echelle Beaufort - Degrés

	Termes descriptifs français (anglais)	Vitesse moyenne en nœuds	Vitesse moyenne en km/h	État de la mer
0	calme (calm)	< 1 kt	< 1 km/h	Comme un miroir
1	très légère brise (light air)	1 à 3 kt	1 à 5 km/h	Quelques rides
2	légère brise (light breeze)	4 à 6 kt	6 à 11 km/h	Vaguelettes ne déferlant pas
3	petite brise (gentle breeze)	7 à 10 kt	12 à 19 km/h	Les moutons apparaissent
4	jolie brise (moderate breeze)	11 à 16 kt	20 à 28 km/h	Petites vagues, nombreux moutons
5	bonne brise (fresh breeze)	17 à 21 kt	29 à 38 km/h	Vagues modérées, moutons, embruns
6	vent frais (strong breeze)	22 à 27 kt	39 à 49 km/h	Lames, crêtes d'écume blanche, embruns
7	grand frais (near gale)	28 à 33 kt	50 à 61 km/h	Lames déferlantes, traînées d'écume
8	coup de vent (gale)	34 à 40 kt	62 à 74 km/h	Tourbillons d'écume à la crête des lames, traînées d'écume
9	fort coup de vent (severe gale)	41 à 47 kt	75 à 88 km/h	Lames déferlantes grosses à énormes, visibilité réduite par les embruns
10	tempête (storm)	48 à 55 kt	89 à 102 km/h	
11	violente tempête (violent storm)	56 à 63 kt	103 à 117 km/h	

Source : Météo France. Rubrique « Découverte - Comprendre la météo», http://france.meteofrance.com, 2011

Annexe XVI : simulation de la pollution marine avec le logiciel CLARA

Les paramètres de simulation CLARA[51] sont les suivantes : 3200 tonnes de styrène avec un point de rejet situé en surface. La part instantanément rejetée est de 28%, soit environ 1000m^3 ou 906 tonnes[52]. Les conditions sont équivalentes à un mois de décembre en Méditerranée. Dans le détail, sont pris en compte un vent de 11 m/s (environ 40 km/h), SW virant SSW, et une température de l'air de 10°C.



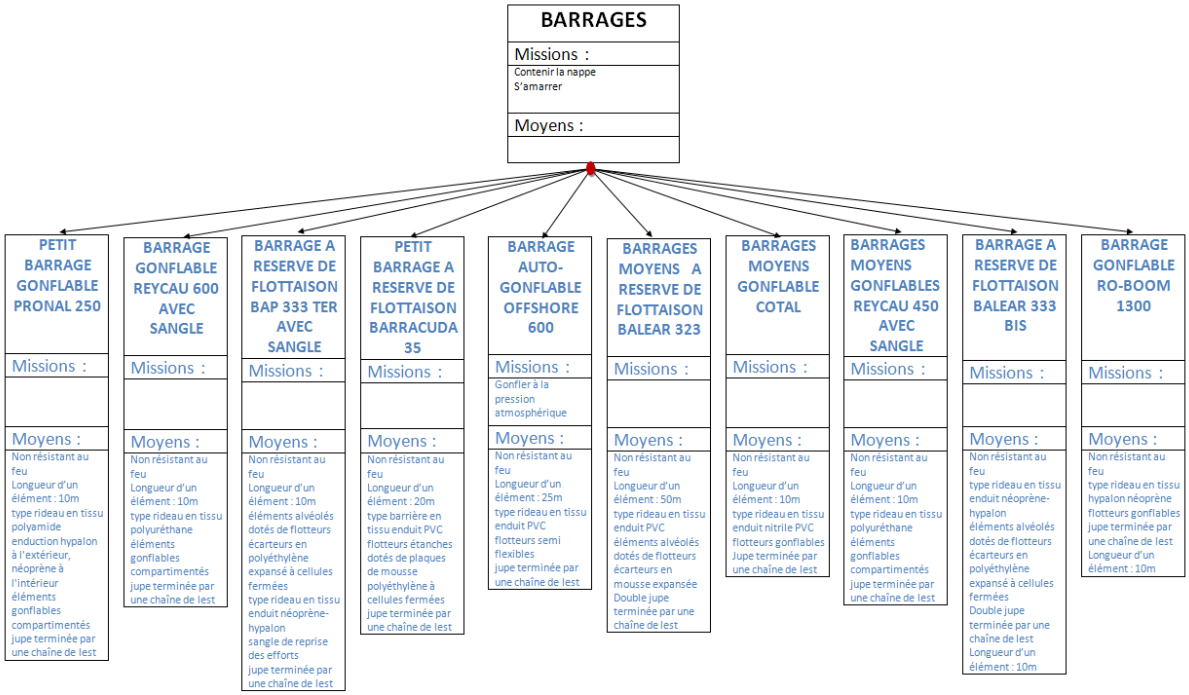
Selon le logiciel CLARA, les 906 tonnes de produit sont susceptibles d'atteindre les côtes 10h après le déversement, c'est-à-dire à 13h30. A ce moment-là, un peu moins de 90% du produit non polymérisé se sera évaporé.

[51] Source : logiciel de simulation CLARA – Calculs Liés Aux Rejets Accidentels en mer (développé à l'Ecole des Mines d'Alès, LGEI).
[52] La masse volumique du styrène est égale à 906 kg/m^3.

Annexe XVII : agents et bases de données du scénario de pollution marine.

PETROLIER
Missions :
Transporter du pétrole
Entrer en collision avec le chimiquier
Déverser du diesel
Couler
Générer un incendie (machines)
Moyens :
Capitaine
Equipage
Canots de sauvetage
Radio
Balise de détresse
EPI
Equipement lutte incendie
Propriétés :
Armateur, Affréteur, Constructeur, Propriétaire, Assureur

CHIMIQUIER
Missions :
Transporter du styrène
Avoir une avarie machine
Déverser du styrène
Passer des messages d'alerte
Se mettre à la gîte
Déverser du diesel
Couler
Moyens :
Capitaine
Equipage
Canots de sauvetage
Radio
Balise de détresse
Propriétés :
Armateur, Affréteur, Constructeur, Propriétaire, Assureur



FOST		
Barrage haute mer : Nofi 1200s (gonflable)	confinement d'une nappe d'hydrocarbure en haute mer	Poids : 18 Kg / mètre Tirant d'eau : 1,2 mètre + 40 cm de filet Tirant d'air : 1,2 mètre Limites d'utilisation : Vent de force 5 à 6 (29 à 49 Km/h) Hauteur des vagues : 6 m Poids de l'ensemble : 12 Tonnes Hauteur : 2,8 m Longueur : 5,75 m Largeur : 2,45 m
		QUANTITE : 1 touret de 400 m L x l x h : 575 x 245 x 280 cm POIDS : 12000 Kg
		longueur totale : 400 m divisée en tronçons de 100 m
Barrage rivière : Fence 750	Confiner, canaliser, arrêter, encercler ou dévier des nappes d'hydrocarbures en milieu fluvial	Poids : 4 Kg / mètre Tirant d'eau : 0,500 mètre Tirant d'air : 0,250 mètre
		200 m (longueur de 50 m)
		Barrage rivière de type barrière
Barrages côtiers : Balear 323 Cannaries PM TMB offshore 600	Confiner, canaliser, arrêter, encercler ou dévier des nappes d'hydrocarbures en milieu côtier	Barrage de type barrière
		Poids : 8 Kg/m, Tirant d'eau : 0,70 m, Tirant d'air : 0,50 m, Limites d'utilisation : Vent de force 4 (20 à 28 Km/h), Amplitude de la houle : 1 m au maximum.
		QUANTITE : 2300 m VOLUME d'un bac : 10,41 m3 L x l x h : 3,12 x 2,30 x 1,45 m POIDS : 1100 Kg
Barrages échouables	Barrage conçu pour protéger les zones maritimes à marée, Utilisé pour canaliser, dévier ou encercler de nappes d'hydrocarbures, Egalement utilisé pour effectuer l'étanchéité sur les plages lorsque	QUANTITE : 700 m VOLUME d'un bac : 8.97 m3 L x l x h : 3,12 x 2,30 x 1,25 m POIDS : 1100 Kg
		Limites d'utilisation : Vent de force 4 (20 à 28 Km/h), Amplitude de la houle de 1 m au maximum
Barrages jetables (gonflable)	Prévu pour une utilisation en eau calme de type petit cours d'eau ou port.	QUANTITE : 500 m
		Hauteur totale de 69 cm.

	Mission	Moyen
Toulon		
Barrage gonflable BAPG 1400	confinement en haute mer d'une nappe d'hydrocarbure	flotteurs gonflables de forme cylindrique
		jupe lisse lestée
		gonfleur thermique
		Utilisable par courant perpendiculaire : 1,5 à 2 nds
		Remorquage drapeau : · Vitesse : ≤ 6 nds · Vents : ≤ 50 nds · Creux de ≤ 6 m
		Chalutage : · Vitesse : ≤ 3 nds · Creux de ≤ 2,5 m · Vent : ≤ 30 nds
		Tirant d'air : 0,60 m. Tirant d'eau : 0,80 m. Longueur totale : 300 m. Longueur d'un élément : 10 m. Masse totale au mètre : 9 kg. Charge de rupture de la chaîne : 16,4 tonnes. Connexion : plaques composites boulonnées. Extrémité de remorquage : élingue 2 brins, palonnier. Pression de gonflage : 15 à 70 mbars, maxi : 100 mbars.
Barrage BARRACUDA 120 (non gonflable)	confinement d'une nappe d'hydrocarbure en zone côtière et portuaire, ou pour la protection d'un site en frange littoral	compartiments recevant des flotteurs plats
		jupe lestée
		Utilisable uniquement en zone portuaire.
		Hauteur totale : 1,20 m. Tirant d'air : 0,40 m. Tirant d'eau : 0,80 m. Longueur d'un élément : 25 m. Poids au mètre : de10 à 14 kg suivant les chaines de lest Charge de rupture de la chaine : 15 tonnes
Barrage PRONAL SEAPRO	confinement d'une nappe d'hydrocarbure en haute mer	flotteurs gonflables de forme cylindrique
		jupe lestée
		Utilisable par courant perpendiculaire : < 2 nd
		Remorquage drapeau : · Vitesse : ≤ 6 nds · Vents : ≤ 50 nds · Creux de ≤ 4 m
		Chalutage : · Vitesse : ≤ 2 nds · Creux de ≤ 1,30 m · Vent : ≤ 22 nds
		Tirant d'air : 0,500m Tirant d'eau : 0,800 m Longueur totale : 300 m. Longueur d'un élément : 10 m. Masse totale au mètre : 9 kg. Charge de rupture de la chaîne : 16 tonnes. Connexion : plaques composites boulonnées Extrémité de remorquage : élingue 2 brins, palonnier.
Barrage REYCAU 210 (gonflable)	confinement d'une nappe d'hydrocarbure en haute mer	flotteurs gonflables de forme cylindrique
		jupe en deux parties, une partie en filet, une partie lisse, lestée
		Utilisable par courant perpendiculaire : 1,5 à 2 nds.
		Remorquage drapeau : · Vitesse : ≤ 6 nds · Vents : ≤ 50 nds · Creux de ≤ 6 m
		Chalutage : · Vitesse : ≤ 3 nds · Creux de ≤ 4 m · Vent : ≤ 30 nds
		Tirant d'air : 0,80 m. Tirant d'eau : 1,30 m. (0,40 m de filet sur la jupe) Longueur totale : 300 m. Longueur d'un élément : 10 m. Masse totale au mètre : 16 kg. Charge de rupture de la chaîne : 30 tonnes. Connexion : plaques composites boulonnées. Extrémité de remorquage : élingue 3 brins, palonnier. Pression de gonflage : 70 mbar
Barrage RO-FENCE 900 (permanent à flotteurs rigides)	barrage antipollution à flotteurs rigides employé pour la protection d'un quai ou d'un ponton	Utilisable par courant perpendiculaire : < 3 nd Vent : < 40 nds Creux : < 1,5 m Vitesse de remorquage en drapeau limitée à 4 nds.
		Tirant d'air : 0,35 m. Tirant d'eau : 0,55 m. Poids au mètre : 6,6 kg. Longueur d'un élément : 25 m.
Barrage TMB INF 600 (gonflable)	confinement d'une nappe d'hydrocarbure en haute mer	flotteurs gonflables de forme cylindrique
		jupe lestée
		Utilisable par courant perpendiculaire : 1,5 à 2 nds.
		Remorquage drapeau : · Vitesse : ≤ 6 nds · Vents : ≤ 50 nds · Creux de ≤ 6 m
		Chalutage : · Vitesse : ≤ 3 nds · Creux de ≤ 4 m · Vent : ≤ 30 nds
		Tirant d'air : 0,6 m Tirant d'eau : 0,9m Longueur totale : 300 m. Longueur d'un élément : 10 m. Masse totale au mètre : 11 kg. Charge de rupture de la chaîne : 15 tonnes. Connexion : plaques composites boulonnées sur le plus anciens et ASTM « Z » à partir de 2007. Extrémité de remorquage : élingue 3 brins, palonnier. Pression de gonflage : maxi : 100 mbars.

Marseille		
GONFLABLE REYCAU 600 AVEC SANGLE	GROS BARRAGE DE HAUTE MER ET ZONES CÔTIERES	Eléments gonflables compartimentés Non résistant au feu. jupe munie d'une sangle de traction sous le flotteur et terminée par une chaîne de lest Longueur d'un élément : 10 m Hauteur totale de l'élément gonflé : 1,48 m Diamètre du flotteur : 0,60 m Hauteur de la jupe avec chaîne : 0,88 m Tirant d'air : 0,55 m Tirant d'eau : 0,93 m Poids au mètre : 13,1 Kg Charge de rupture de la chaîne de lest : 30000 daN Diamètre fil de chaîne : 20 mm Charge de rupture de la sangle sous le flotteur : 28000 daN Charge de rupture de la sangle de crête : 5000 daN Pression de gonflage maxi : 70 mbar Nombre de valves de gonflage par élément : 2 Plaques de jonction côté Flotteur Dimensions : 962 x 60 mm Entraxe trous : 345 mm Plaques de jonction côté jupe Dimensions : 660 x 60 mm
GONFLABLE RO-BOOM 1300	GROS BARRAGE DE HAUTE MER ET ZONES CÔTIERES	flotteurs gonflables jupe terminée par une chaîne de lest Non résistant au feu. Longueur d'un élément : 10 m Hauteur totale de l'élément gonflé : 1,20 m Diamètre du flotteur : 0,38 m Hauteur de jupe avec chaîne : 0,76 m Tirant d'air : 0,34 m Tirantd'eau : 0,86 m Poids au mètre : 8 Kg Charge de rupture de la chaîne de lest : 9000 daN Diamètre fil de chaîne : 10 mm Pression de gonflage : 100 mbar Nombre de valves de gonflage par élément : 3
AUTO-GONFLABLE OFFSHORE 600	GROS BARRAGE DE HAUTE MER ET ZONES CÔTIERES	flotteurs semi flexibles jupe terminée par une chaîne de lest Longueur d'un élément : 25 m Hauteur totale de l'élément gonflé : 1,30 m Diamètre du flotteur : 0,62 m Hauteur de la jupe avec chaîne : 0,68 m Tirant d'air : 0,57 m Tirant d'eau : 0,73 m Poids au mètre : 11,5 Kg Charge de rupture de la chaîne de lest : 31000 daN Diamètre fil de chaîne : 18 mm Nombre de valves de gonflage par élément : 5
RESERVE DE FLOTTAISON BALEAR 333 BIS	BARRAGE DE HAUTE MER ET ZONES CÔTIERES	d'éléments alvéolés dotés de flotteurs écarteurs en polyéthylène expansé à cellules fermées jupe terminée par une chaîne de lest Non résistant au feu. Longueur d'un élément : 10 m Hauteur totale : 1,45 m Tirant d'air : 0,58 m Tirant d'eau : 0,87 m Poids au mètre : 12 Kg Diamètre fil de chaîne : 18 mm Charge de rupture de la chaîne : 31000 daN Charge de rupture de la sangle de crête : 5000 daN Plaques de jonction côté Flotteur Dimensions : 835 x 60 mm Entraxe : 345 mm Plaques de jonction côté jupe Dimensions : 555 x 60 mm Entraxe : 240 mm
RESERVE DE FLOTTAISON BAP 333 TER AVEC SANGLE	BARRAGE DE HAUTE MER ET ZONES CÔTIERES	Eléments alvéolés dotés de flotteurs écarteurs en polyéthylène expansé à cellules fermées double jupe terminée par une chaîne de lest Non résistant au feu. Longueur d'un élément : 10 m Hauteur totale : 1,488 m Tirant d'air : 0,50 m Tirant d'eau : 0,80 m Poids au mètre : 15 Kg Diamètre fil de chaîne : 25 mm Charge de rupture de la chaîne : 32000 daN Charge de rupture de la sangle de traction : 2000 daN Charge de rupture de la sangle de crête : 2000 daN Plaques de jonction côté Flotteur Dimensions : 835 x 60 mm Entraxe : 345 mm Plaques de jonction côté jupe Dimensions : 555 x 60 mm Entraxe : 240 mm

		flotteurs gonflables
		jupe terminée par une chaîne de lest
		Non résistant au feu.
		Longueur d'un élément : 10 m Hauteur totale de l'élément gonflé : 0,90 m Diamètre du flotteur : 0,30 m
Marseille		ec chaîne : 0,60 m
GONFLABLE COTAL	BARRAGE CÔTIER MOYEN	Tirant d'air : 0,25 m Tirant d'eau : 0,65 m Poids au mètre : 7 Kg Charge de rupture de la chaîne de lest : 15000 daN Diamètre fil de chaîne : 14 mm Pression de gonflage : 15 à 20 mbar Nombre de valves de gonflage par élément : 2 Plaque de jonction Flotteur : Dimensions : 490 x 80 mm Entraxe trous : 185 mm Plaque de jonction jupe: Dimensions : 490 x 80 mm Entraxe trous : 185 mm Plaque de jonction jupe: Dimensions : 490 x 80 mm Entraxe trous : 185 mm
GONFLABLE REYCAU 450 AVEC SANGLE	BARRAGE CÔTIER MOYEN	Eléments gonflables compartimentés jupe munie d'une sangle de traction sous le flotteur et terminée par une chaîne de lest Longueur d'un élément : 10 m Hauteur totale gonflé : 1,06 m Diamètre du flotteur : 0,45 m Hauteur de la jupe avec chaine : 0,61 m Tirant d'air : 0,40 m Tirant d'eau : 0,66 m Poids au mètre : 8,6 Kg Charge de rupture de la chaîne de lest : 15000 daN Charge de rupture de la sangle de traction sous le flotteur : 14000 daN Diamètre fil de chaîne : 16 mm Nombre de valves de gonflage par élément : 2 Pression de gonflage maxi : 70 mbar Plaques de jonction côté Flotteur Dimensions : 684 x 60 mm Entraxe trous : 185 mm Plaques de jonction côté jupe Dimensions : 495 x 60 mm Entraxe trous : 185 mm
RESERVE DE FLOTTAISON BALEAR 323	BARRAGE CÔTIER MOYEN	Eléments alvéolés dotés de flotteurs écarteurs en mousse expansée
		double jupe terminée par une chaîne de lest
		Non résistant au feu.
		Longueur d'un élément : 50 m Hauteur totale : 0,90 m Tirant d'air : 0,37 m Tirant d'eau : 0,53 m Poids au mètre : 8 Kg Diamètre fil de chaîne : 15 mm Charge de rupture de la chaîne de lest : 15000 daN Charge de rupture de la sangle de crête : 3000 daN
GONFLABLE PRONAL 250	PETIT BARRAGE PORTUAIRE	Eléments gonflables compartimentés jupe terminée par une chaîne de lest Non résistant au feu. Longueur d'un élément : 10 m Hauteur totale de l'élément gonflé : 0,64 m Diamètre du flotteur : 0,25 m Hauteur de la jupe avec chaîne : 0,39 m Tirand d'air : 0,20 m Tirant d'eau : 0,44 m Poids au mètre : 6 Kg Charge de rupture de la chaîne de lest : 8000 daN Diamètre fil de chaîne : 12 mm Charge de rupture de la sangle de crête : 4000 daN Pression de gonflage : 50 mbar Nombre de valves de gonflage par élément : 2 Plaque de jonction Flotteur Dimensions : 335 x 60 mm Entraxe trous : 185 mm Plaque de jonction jupe Dimensions : 275 x 60 mm Entraxe trous : 185 mm
RESERVE DE FLOTTAISON BARRACUDA 35	PETIT BARRAGE PORTUAIRE	flotteurs étanches dotés de plaques de mousse polyéthylène à cellules fermées jupe terminée par une chaîne de lest Non résistant au feu. Longueur d'un élément : 20 m Hauteur totale : 0,45 m Tirant d'air : 0,20 m Tirant d'eau : 0,25 m Poids au mètre : 3 Kg Charge de rupture de la chaîne de lest : 3000 daN Diamètre fil de chaîne : 12 mm Nombre de poignées par élément : 4 Plaque de jonction Dimensions : 370 x 60 mm Entraxe trous : 165 mm

CAPITAINE

Missions :

Communiquer avec l'équipe d'intervention

Prendre des décisions sur le navire

Assurer la sécurité de l'équipage

Assurer l'évacuation de l'équipage

Moyens :

Radio

Téléphone

Connaissance du navire

Connaissance de l'équipage

Connaissance de la cargaison

METEO

Missions :

Faire varier l'hydrodynamisme

Entrainer la nappe

Déplacer le nuage

Impacter sur l'efficacité des interventions

Moyens :

Force du vent

Direction du vent

Pluie

Courant

Echelle Beaufort - Degrés

	Termes descriptifs français (anglais)	Vitesse moyenne en nœuds	Vitesse moyenne en km/h	État de la mer
0	calme (calm)	< 1 kt	< 1 km/h	Comme un miroir
1	très légère brise (light air)	1 à 3 kt	1 à 5 km/h	Quelques rides
2	légère brise (light breeze)	4 à 6 kt	6 à 11 km/h	Vaguelettes ne déferlant pas
3	petite brise (gentle breeze)	7 à 10 kt	12 à 19 km/h	Les moutons apparaissent
4	jolie brise (moderate breeze)	11 à 16 kt	20 à 28 km/h	Petites vagues, nombreux moutons
5	bonne brise (fresh breeze)	17 à 21 kt	29 à 38 km/h	Vagues modérées, moutons, embruns
6	vent frais (strong breeze)	22 à 27 kt	39 à 49 km/h	Lames, crêtes d'écume blanche, embruns
7	grand frais (near gale)	28 à 33 kt	50 à 61 km/h	Lames déferlantes, traînées d'écume
8	coup de vent (gale)	34 à 40 kt	62 à 74 km/h	Tourbillons d'écume à la crête des lames, traînées d'écume
9	fort coup de vent (severe gale)	41 à 47 kt	75 à 88 km/h	Lames déferlantes grosses à énormes, visibilité réduite par les embruns
10	tempête (storm)	48 à 55 kt	89 à 102 km/h	
11	violente tempête (violent storm)	56 à 63 kt	103 à 117 km/h	

1 nœud (kt) = 1 mille par heure = 1,852 km/h.
Les vitesses se rapportent au vent moyen et non aux rafales. Les rafales peuvent dépasser le vent moyen de 50 %.

DISPERSANT

Missions :

Disperser la nappe

Moyens :

Adaptabilité (bateau ou hélicoptère)

Efficacité 10% sur le styrène

Propriété :

Concentration (adjonction de plus de 5% de FINALSOL OSR 5 en mer)

STYRENE

Missions :

Former une nappe

Former un nuage

Se polymériser

S 'enflammer

Propriétés :

Visible à l'infrarouge

Flottant

Evaporant

Toxique (inhalation, irritant pour les yeux et la peau)

Inflammable

STYRENE POLYMERISE

Missions :

Flotter

Se disperser

Atteindre la côte

Propriétés :

Structure solide,
Peut être ramassé

NAPPE

Missions :

Se répandre

Se disperser

Flotter

Former un nuage

Générer un incendie

Se biodégrader

Atteindre la côte

Couler

Se fragmenter

Moyens :

Produit

Hydrodynamisme

Météo

BATEAU POMPE

Missions :

Pomper la nappe

Pomper le styrène polymérisé

Transporter de l'inhibiteur (para Tertio Butyl Catéchol ou pTBC)

Intervenir sur un incendie

Délivrer un volume d'eau

Vider le réservoir dans la station de déballastage

Moyens :

Pompe

Echelle

Réservoir

liquide émulseur

Barrages flottants

NUAGE

Missions :

Se diffuser

Se disperser

Exploser

Atteindre la côte

Moyens :

Concentration

Propriété :

Toxique

PATROUILLEUR

Missions :

Agir sur ordre de la gendarmerie maritime

Définir un périmètre de sécurité autour de l'accident

Protéger la zone

Eviter un sur-accident

Aider à l'évacuation

Moyens :

INCENDIE

Missions :

Faire brûler une matière inflammable

Générer un flux thermique

Se propager

Moyens :

Point chaud

Combustible

Comburant

DIESEL

Missions :

Se répandre dans l'eau

Former une nappe

Propriété :

Inflammable

LIEU DE REFUGE

Missions :

Accueillir un navire en difficulté

Protéger le navire de l'hydrodynamisme

Moyens :

Plage

Baie

Mouillage

Port

DECHETS

Missions :

Polluer l'environnement (faune et flore)

Polluer les zones protégées

Générer un danger sanitaire pour la population

Moyens :

Biodégradabilité

Toxicité

Persistance

PORT

Missions :

Accueillir un navire en difficulté si tirant d'eau et longueur suffisants

Protéger le navire de l'hydrodynamisme

Moyens :

Tirant d'eau

Longueur admissible

Officier de Ports

Propriétés :

POPULATION

Missions :

S'informer

Se confiner

Moyens :

Logements

Media

Moyens de transport

Propriété : Vulnérabilité

AVION DOUANE/POLMAR

Missions :

Survoler une zone (Conséquence : Produire un point chaud, incendie)

Faire des mesures

Moyens :

Matériel de surveillance

Monitor

HELICOPTERE

Missions :

Survoler une zone (Conséquence : Produire un point chaud, cf. incendie)

Hélitreuiller un équipage

Répandre du dispersant

Moyens :

Epandeur

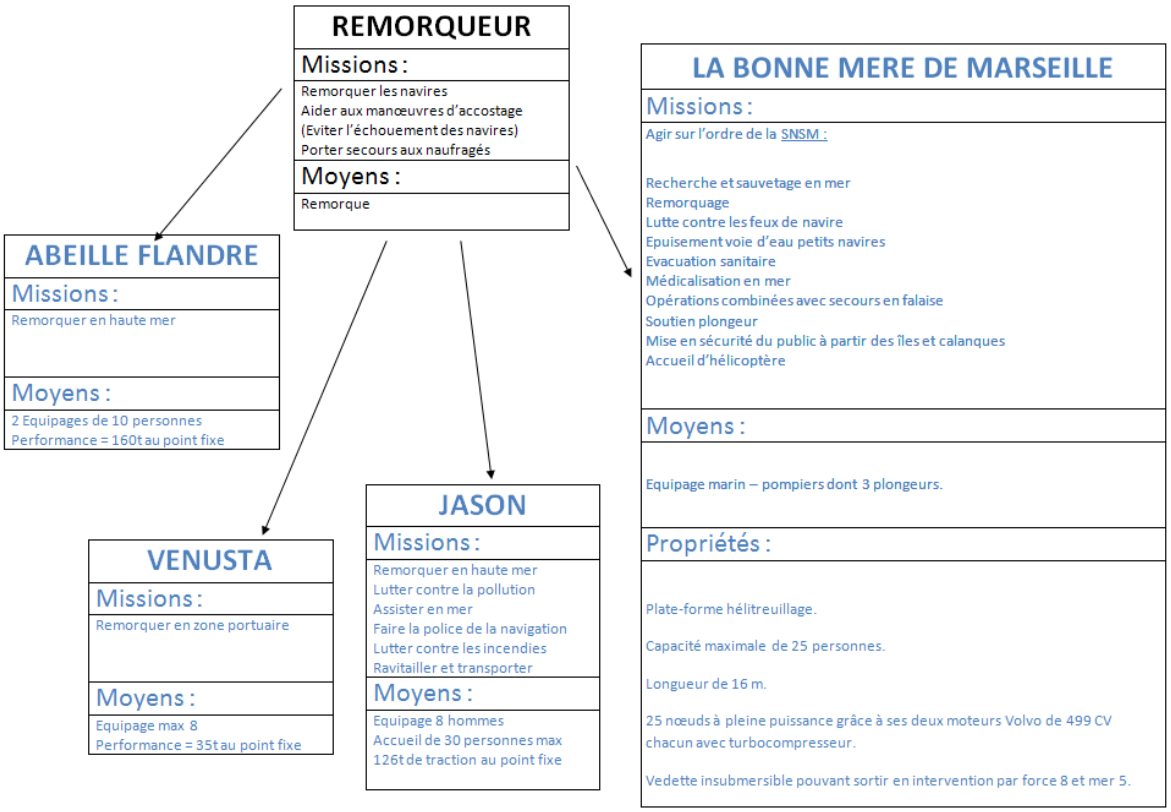
Capacité d'accueil

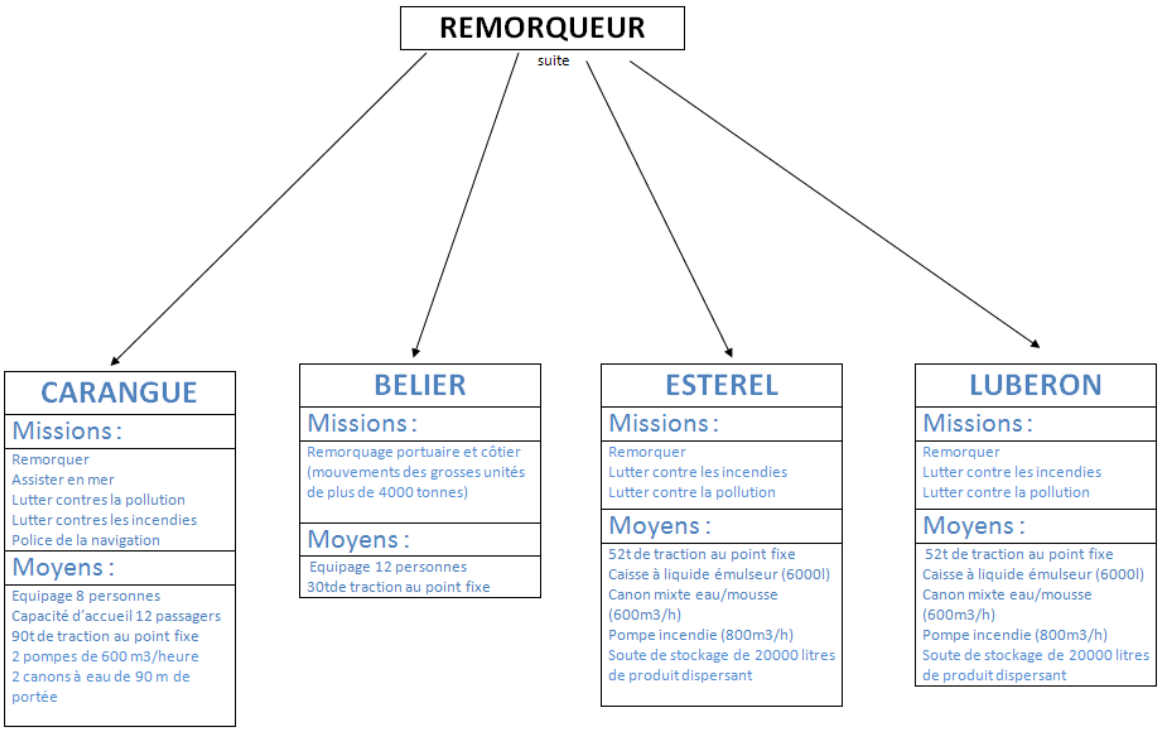
Propriétés :

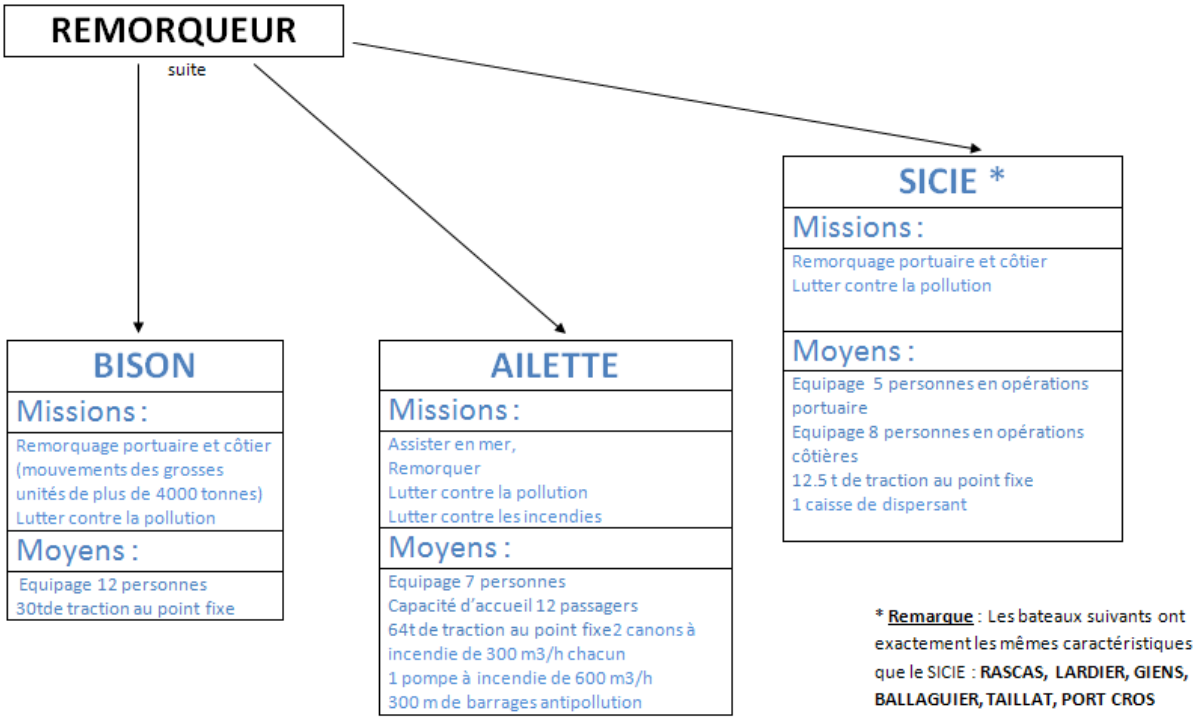
Voir base de données hélicoptères

BASE DE DONNEES HELICOPTERES

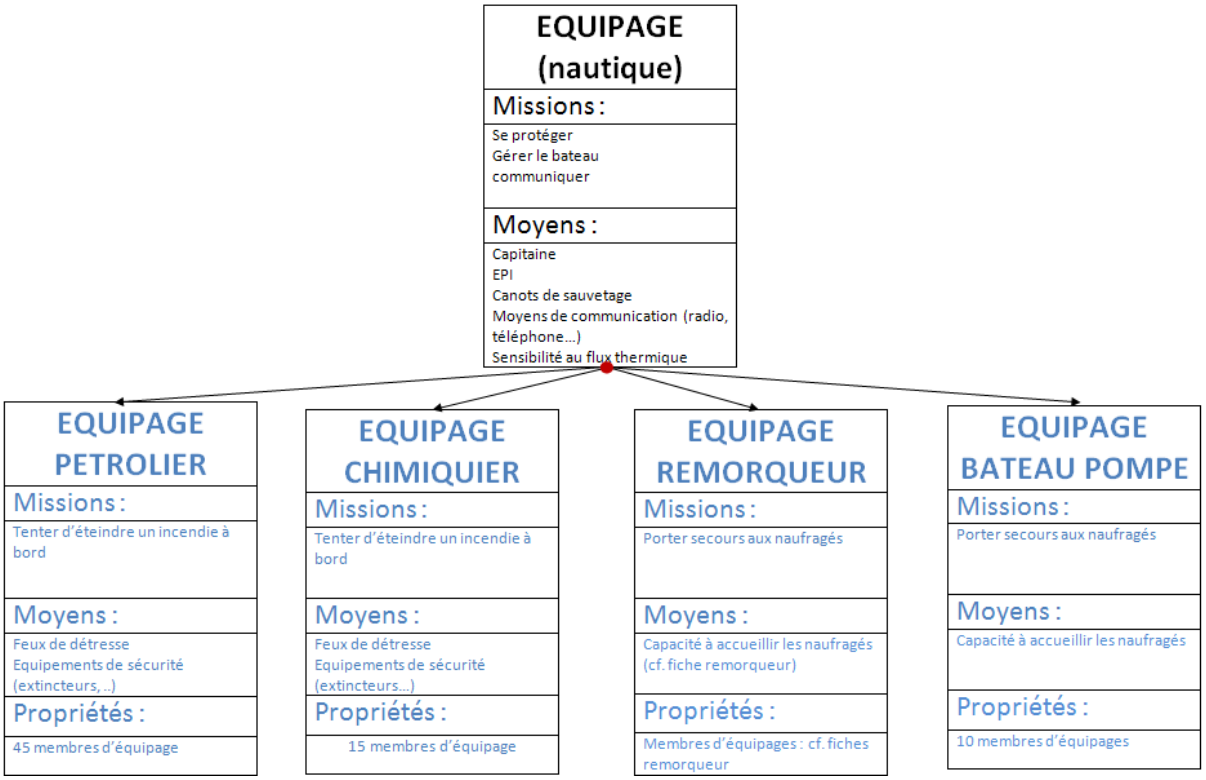
Organisme	Base	Nom hélicoptère	Capacité d'accueil
Sécurité civile	Cannes	**EC 145 Dragon 06**	4 à 8 passagers en plus de l'équipage
Douane	Hyères	**EC 135**	5 à 7 passagers en plus de l'équipage
Marine Nationale	Hyères	**NH 90 Caïman**	14 à 20 passagers

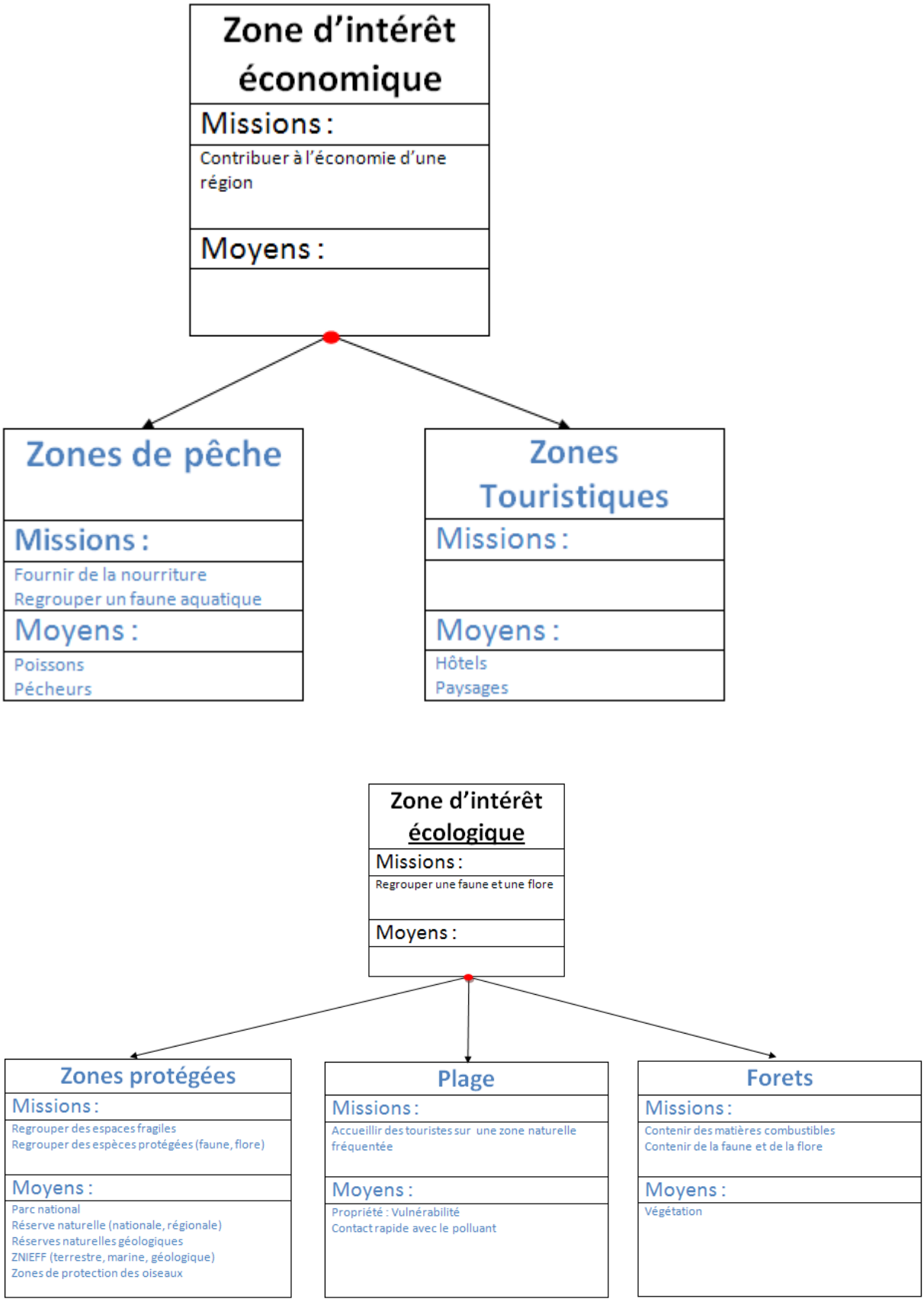

REMORQUEUR
Missions :
Remorquer les navires
Aider aux manœuvres d'accostage
(Eviter l'échouement des navires)
Porter secours aux naufragés
Moyens :
Remorque
ABEILLE FLANDRE
Missions :
Remorquer en haute mer
Moyens :
2 Equipages de 10 personnes
Performance = 160t au point fixe
VENUSTA
Missions :
Remorquer en zone portuaire
Moyens :
Equipage max 8
Performance = 35t au point fixe
JASON
Missions :
Remorquer en haute mer
Lutter contre la pollution
Assister en mer
Faire la police de la navigation
Lutter contre les incendies
Ravitailler et transporter
Moyens :
Equipage 8 hommes
Accueil de 30 personnes max
126t de traction au point fixe
LA BONNE MERE DE MARSEILLE
Missions :
Agir sur l'ordre de la SNSM :
Recherche et sauvetage en mer
Remorquage
Lutte contre les feux de navire
Epuisement voie d'eau petits navires
Evacuation sanitaire
Médicalisation en mer
Opérations combinées avec secours en falaise
Soutien plongeur
Mise en sécurité du public à partir des îles et calanques
Accueil d'hélicoptère
Moyens :
Equipage marin – pompiers dont 3 plongeurs.
Propriétés :
Plate-forme hélitreuillage.
Capacité maximale de 25 personnes.
Longueur de 16 m.
25 nœuds à pleine puissance grâce à ses deux moteurs Volvo de 499 CV chacun avec turbocompresseur.
Vedette insubmersible pouvant sortir en intervention par force 8 et mer 5.

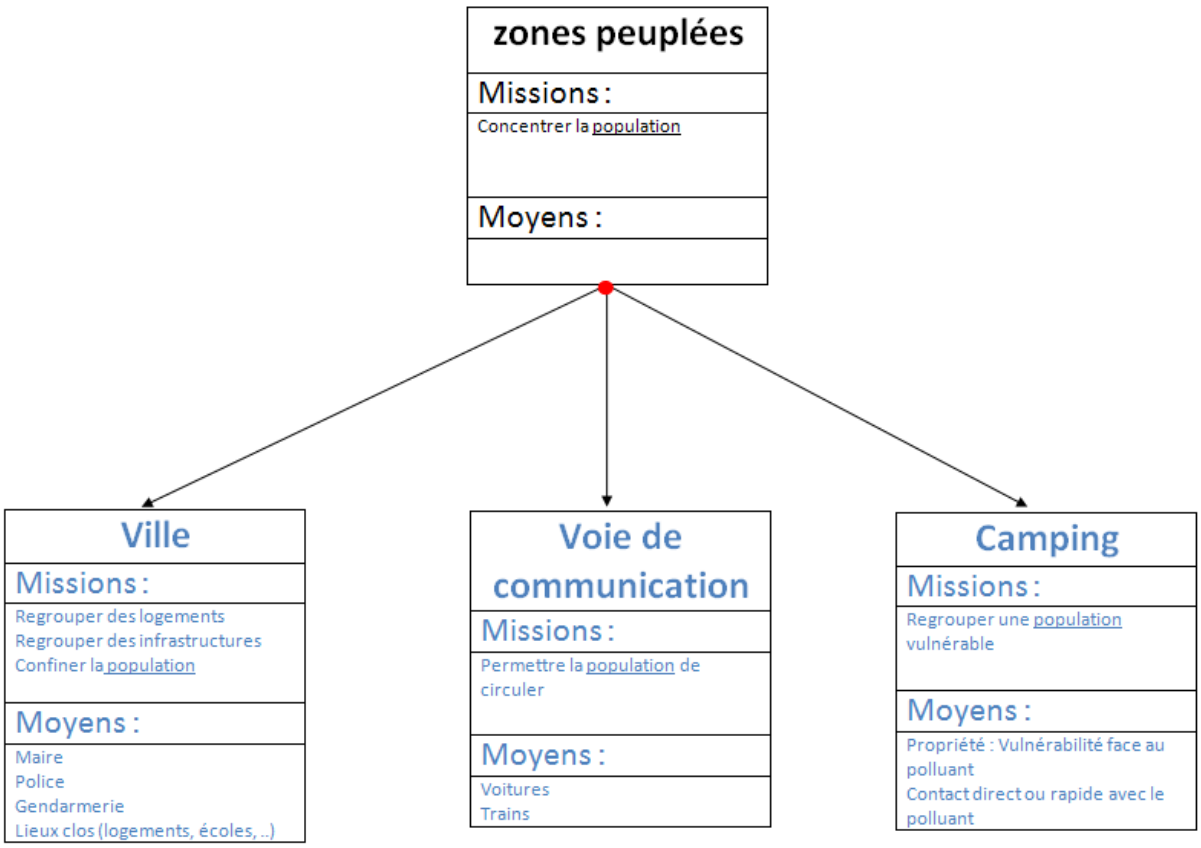

REMORQUEUR
suite
CARANGUE
Missions :
Remorquer
Assister en mer
Lutter contres la pollution
Lutter contres les incendies
Police de la navigation
Moyens :
Equipage 8 personnes
Capacité d'accueil 12 passagers
90t de traction au point fixe
2 pompes de 600 m3/heure
2 canons à eau de 90 m de portée
BELIER
Missions :
Remorquage portuaire et côtier (mouvements des grosses unités de plus de 4000 tonnes)
Moyens :
Equipage 12 personnes
30tde traction au point fixe
ESTEREL
Missions :
Remorquer
Lutter contre les incendies
Lutter contre la pollution
Moyens :
52t de traction au point fixe
Caisse à liquide émulseur (6000l)
Canon mixte eau/mousse (600m3/h)
Pompe incendie (800m3/h)
Soute de stockage de 20000 litres de produit dispersant
LUBERON
Missions :
Remorquer
Lutter contre les incendies
Lutter contre la pollution
Moyens :
52t de traction au point fixe
Caisse à liquide émulseur (6000l)
Canon mixte eau/mousse (600m3/h)
Pompe incendie (800m3/h)
Soute de stockage de 20000 litres de produit dispersant



* **Remarque** : Les bateaux suivants ont exactement les mêmes caractéristiques que le SICIE : **RASCAS, LARDIER, GIENS, BALLAGUIER, TAILLAT, PORT CROS**




Zone d'intérêt économique
Missions :
Contribuer à l'économie d'une région
Moyens :
Zones de pêche
Missions :
Fournir de la nourriture
Regrouper un faune aquatique
Moyens :
Poissons
Pécheurs
Zones Touristiques
Missions :
Moyens :
Hôtels
Paysages
Zone d'intérêt écologique
Missions :
Regrouper une faune et une flore
Moyens :
Zones protégées
Missions :
Regrouper des espaces fragiles
Regrouper des espèces protégées (faune, flore)
Moyens :
Parc national
Réserve naturelle (nationale, régionale)
Réserves naturelles géologiques
ZNIEFF (terrestre, marine, géologique)
Zones de protection des oiseaux
Plage
Missions :
Accueillir des touristes sur une zone naturelle fréquentée
Moyens :
Propriété : Vulnérabilité
Contact rapide avec le polluant
Forets
Missions :
Contenir des matières combustibles
Contenir de la faune et de la flore
Moyens :
Végétation


zones peuplées
Missions :
Concentrer la population
Moyens :
Ville
Missions :
Regrouper des logements
Regrouper des infrastructures
Confiner la population
Moyens :
Maire
Police
Gendarmerie
Lieux clos (logements, écoles, ..)
Voie de communication
Missions :
Permettre la population de circuler
Moyens :
Voitures
Trains
Camping
Missions :
Regrouper une population vulnérable
Moyens :
Propriété : Vulnérabilité face au polluant
Contact direct ou rapide avec le polluant

Annexe XVIII : principales interactions des agents pour la pollution marine

Agent	En interaction avec	Contenu de l'interaction
Pétrolier	Chimiquier	Collision
	Diesel	Deversement
	Incendie	Génération
Chimiquier	Styrène	Transport
		Deversement
	Diesel	Deversement
Dispersant	Nappe	Dispersion
Monitor	Nappe	Suivi
	Nuage	Suivi
	Styrène Polymérisé	Suivi
Bateau Pompe	Nappe	Pompage
	Styrène Polymérisé	Pompage
	Incendie	Intervention
Styrène	Nappe	Formation
	Nuage	Formation
Nappe	Nuage	Formation
	Incendie	Génération
Organisations écologiques	Zones d'interet écologique	Défense
	Population	Information
		Influence
Média	Population	Information
		Influence
		Alerte
Capitaine	Equipage	Gestion de la sécurité
		Evaccuation
	Chimiquier	Prise de décision
	Pétrolier	
Météo	Nappe	Entrainement
	Nuage	Déplacement
Diesel	Nappe	Formation
Lieu de refuge, Port	Chimiquier	Accueil
		Protection
	Pétrolier	Accueil
		Protection
Déchets	Zones d'interet écologique	Pollution
	Population	Génération de danger sanitaire
Avion Douane/ Polmar	Incendie	Génération d'un point chaud
Hélicoptère	Incendie	Génération d'un point chaud
	Equipage	Hélitreuillage
	Dispersant	Epandage
DDT	Barrage	Choix
		Mise en place
	Dechet	Gestion
SDIS	Incendie	Lutte
	Population	Protection
		Evaccuation
FOST	Matériel (Barrages, ...)	Mobilisation
Guardia Costiera	Marine Nationale Française	Communication
	Polution Maritime (ex:nappe)	Detection
		Lutte
Marins Pompiers	Population	Evaccuation
	Moyens (ex:Bateau Pompe)	Déploiement
		Mobilisation
SNSM	Equipage	Communication
	Marins Pompiers	Prêt de matériel
Marine nationale	Population	Prévention
	Moyens (ex:Remorqueur)	Mobilisation
Sécurité civile	Moyens (ex:avions)	Déploiement
	Population	Alerte
		Surveillance
Météo France	Météo	Surveillance
	Nuage	Suivi
Patrouilleur	Gendarmerie maritime	Action sur ordre de
La Bonne Mère de Marseille	SNSM	Action sur ordre de
SASEMAR	Marine nationale Française	Communication
	Polution Maritime (ex:nappe)	Detection
		Lutte
Remorqueur	Chimiquier	Remorquer
	Pétrolier	Remorquer
Equipage	Chimiquier	Gestion
	Pétrolier	Gestion
	Incendie	Lutte
Enjeux Economique	Population	Impact économique
Enjeux Démographiques	Population	Concentration
Douanes	Moyens (ex:avions)	Déploiement

Annexe XIX : exemples de fiches informatisées d'aide à l'animation.

SIMULCRISE - Main courante
SimulCrise
Outil de formation à la gestion de crise
S'indentifier en tant que :
IHM FORMATEUR
Synchroniser
127.0.0.1
6021
FOST
Quels sont vos moyens ?
Je vous explique la procédure : il faut compléter un formulaire de demande que je peux vous envoyer si vous le souhaitez (par fax et/ou e-mail). Ensuite, vous devez mentionner les matériels dont vous auriez besoin sur la base de notre catalogue disponible sur internet : mais je peux aussi vous l'envoyer directement, ce sera plus rapide, non ?
Nos moyens sont ceux décrits dans le catalogue que je peux vous envoyer (par fax et/ou e-mail)
Dites-moi précisément ce que vous voulez (attendre des réponses précises).
Des moyens anti-pollution ... mais en détail ... il me faut du temps pour me renseigner sur le stock. Pouvez-vous me rappeler dans 10 minutes ?
Pouvez-vous nous apporter de l'aide ?
Il faut préalablement remplir un formulaire de demande : le voulez-vous par fax ou par email ?
En combien de temps pouvez vous intervenir ?
Il nous faut 4h pour mettre en place la cellule d'intervention, plus le temps d'acheminer le matériel de nos hangars situés à Rognac jusqu'au port de Marseille.
Il nous faut entre 4 et 8 heures.

SIMULCRISE - Main courante
SimulCrise
Outil de formation à la gestion de crise
S'indentifier en tant que :
IHM FORMATEUR
Synchroniser
127.0.0.1
6021
MARINE NATIONALE
Pouvez-vous survoler la zone sinistrée ?
Oui, nous pouvons lancer immédiatement deux hélicoptères sur cette mission.
Oui, nos hélicoptères sont peuvent être déployés sur ce genre de mission.
Non, nos hélicoptères sont déjà sur d'autres missions.
Pouvez-vous mobiliser un remorqueur ?
Nous avons bien des remorqueurs disponibles.
Oui, nous pouvons mettre à disposition huit remorqueurs.
Nos remorqueurs sont mobilisés soit pour d'autres missions, soit en réparation. Avez-vous contacté l'armateur du bateau ? ...il aura peut être une solution à vous proposer.
Pouvez-vous mobiliser un bateau - pompe?
Oui, nous avons bien des bateaux - pompe disponibles. Oui, nous pouvons mettre à disposition trois bateaux pompes.
Nos bateaux - pompe sont mobilisés soit pour d'autres missions, soit en réparation.
Avez-vous contacté l'armateur du bateau ? ...il aura peut être une solution à vous proposer.

SIMULCRISE - Main courante
SimulCrise
Outil de formation à la gestion de crise
S'indentifier en tant que :
IHM FORMATEUR
Synchroniser
127.0.0.1
6021
METEO FRANCE
Pouvez-vous nous donner des informations sur la météo ?
Oui, je vous envoie le bulletin de ce matin et les prévisionnelles. (réponse très coopérative)
Oui, mais attention, l'un indice de confiance n'est que de 1, sur une échelle allant de 1 à 5 (5 étant le plus fort). Je ne peux donc pas vous assurez que les prévisions que je vais vous communiquer soient vraiment pertinentes et que vous puissiez vous baser dessus pour votre problème. (réponse coopérative)
Non, nous ne sommes pas en mesure de vous répondre. (réponse non coopérative)
Pouvez-vous nous donner les indications sur l'évolution du nuage toxique ?
Oui, je vous envoie l'image satellite avec les coordonnées et les prévisions. (réponse complète)
Oui, nos modèles de prévision sont en cours. Nous vous envoyons les images satellites dès que possible. Rappelez dans une petite heure. (Réponse en différée)
Vous êtes au service courrier, je n'ai pas cette information. Je vais vous passez l'accueil…elle pourra peut être vous aider… (On supposera que l'Accueil sonne dans le vide…plusieurs appels sont nécessaires pour la joindre).

SIMULCRISE - Main courante
SimulCrise
Outil de formation à la gestion de crise
S'indentifier en tant que :
IHM FORMATEUR
Synchroniser
127.0.0.1
6021
MEDIACTU
Pouvez-vous nous donner l'état de la situation ?
Quels sont les risques pour la population ?
L'Armateur a-t-il une responsabilité dans l'accident ? Qu'a-t-il déclaré suite à l'accident ? Quelles vont être les sanctions ?
Encore une marée noire ?
Que faites-vous concrètement pour lutter contre la pollution ?
Le remorquage du chimiquier est-il envisagé ?
Pourquoi les avancées techniques ne permettent-elles pas de prévenir ces pollutions ?
Greenpeace dit que vous faites de la désinformation. Qu'avez-vous à leur répondre ?
Quel est le produit déversé ? On nous parle de styrène, ça semble dangereux ?

SIMULCRISE - Main courante
SimulCrise
Outil de formation à la gestion de crise
S'indentifier en tant que :
IHM FORMATEUR
Synchroniser
127.0.0.1
6021
GENDARMERIE MARITIME
De quels moyens disposez-vous ?
3 compagnies, ce qui fait environ 250 hommes
Un bateau patrouilleur
Pouvez-vous déployer un patrouilleur ?
Oui, il est prêt à partir. Que souhaitez-vous qu'il fasse ?
Il sera disponible dans la journée. Quel est votre besoin ?
Non, il est en réparation
Pouvez-vous mobiliser vos hommes ?
Oui, nous pouvons mettre une compagnie est à votre disposition mais pour quoi faire exactement ?
Non, pas pour le moment, rappelez plus tard.
Non, ils sont tous en intervention, mais quel est votre problème ?

SIMULCRISE - Main courante
SimulCrise
Outil de formation à la gestion de crise
S'indentifier en tant que :
IHM FORMATEUR
Synchroniser
127.0.0.1
6021
SECURITE CIVILE
Nous sommes en situation de crise, êtes-vous en mesure de déployer vos moyens en mer ?
Oui, nous sommes opérationnels : les moyens humains et nautiques sont prêts à partir en mer.
D'ici 4 heures tous nos moyens seront coordonnés.
Non, nous venons juste de déclencher la procédure.
La nappe n'a pas encore atteint les côtes mais nous n'écartons aucun scénario. Etes-vous prêts à surveiller et à alerter les populations ?
Oui, les réseaux de communication, la sirène d'alerte sont en état de marche et les radios nationales et régionales ont été réquisitionnées pour ces prochains jours.
Nous avons déclenché la procédure d'alerte mais pas de surveillance. (*)
Non, nous n'avons pas déclenché la procédure. (*)
(*) Si les participants insistent : indiquer qu'il faut se rapprocher du préfet des bouches du Rhône par exemple.

Annexe XX : avatars des formateurs dans le scénario de pollution marine.

GROUPEMENT DES PLAISANCIERS

Missions :

Manifester mécontentement en cas d'interdiction de navigation

Demander une indemnisation financière

Informer la population

Influencer la population

Moyens :

Contacter les médias

Manifestations

Propriétés :

Localisation : La Ciotat

COLLECTIF DES ECOLOGISTES

Missions :

Défendre les zones d'intérêt écologique

Manifester mécontentement en cas d'atteinte à la faune et la flore

Informer la population

Influencer la population

Aider à la dépollution éventuelle du littoral

Moyens :

Contacter les médias

Manifestations

Propriétés :

Localisation : Cassis

ARMATEUR – AXU SHIPPING

Missions :

Mettre à disposition le Venusta

Moyens :

Le Venusta (rentre de mission et est sur pratiquement sur la zone)

Propriétés :

Localisation : Grèce

MEDIACTU

Missions :

Reporter les faits

Informer/ Influencer la population

Alerter la population

Moyens :

Presse

Radio

Télévision

Internet

Interview

Reportages

Propriétés :

Localisation : Paris

LA PECHE MARSEILLAISE

Missions :

Défendre l'activité de pêche

Manifester mécontentement en cas d'interdiction de pêche

Informer la population

Influencer la population

Moyens :

Contacter les médias

Manifestations

Propriétés :

Localisation : Marseille

SERVICE DEPARTEMENTAL D'INCENDIE ET DE SECOURS

Missions :

Lutter contre l'incendie

Organiser les moyens de secours

Intervenir en mer

Assurer les secours d'urgence aux personnes victimes d'accidents, de sinistres ou de catastrophe

Assurer la sécurité des populations

Evacuation des populations

Prévenir et évaluer les risques technologiques et naturels

Préparer les mesures de sauvegarde

Moyens :

Marins Pompiers

Centre d'incendie et de secours

Brigade nautique (hommes + matériel)

Véhicule de secours à personne

Véhicules de sauvetage aquatiques

Véhicule feux espaces naturels

Véhicule feux urbains

Véhicules risques technologiques

Véhicules de commandement et de transport

Propriétés :

Localisation : Marseille

SNSM

Missions :

Déployer des moyens

Prêter le matériel aux marins pompiers

Communiquer avec la cellule de crise

Communiquer avec les équipages

Moyens :

Un bateau : La Bonne Mère de Marseille (cf. remorqueurs)

Sauveteurs

Moyens de communication (GPS, Radio)

Propriétés :

Localisation : Toulon

MARINS POMPIERS

Missions :

Mobiliser et déployer des moyens

Evacuer la population

Demander des renforts

Moyens :

16 moyens flottants dont 2 bateaux pompes

70 véhicules de secours à distance aux victimes

Ambulances

Propriétés :

Localisation : Marseille

GUARDIA COSTIERA

Missions :

Intervenir automatiquement (arrivée sur les lieux = 4h si bateaux sont à Marseille)

Survoler la zone RAMOGEPOL

Communiquer avec la Marine Nationale Française

Détecter toute pollution maritime

Lutter contre la pollution dans la zone RAMOGEPOL

Moyens :

Le patrouilleur *Fiorillo*
(longueur 51,70 m, largeur 8,10 m, Déplacement 391 t, Vitesse max 40 nds, Puissance max 3235 CV. Equipage 30 personnes, Capacité d'épandage de dispersants. Mise en œuvre de matériel de récupération d'hydrocarbures à la mer.)

Le Supply Tito, navire
(Longueur 63,1 m, Largeur 13 m, Vitesse max 13,5 Nds, Puissance max 8 800 CV)

1 avion ATR-42 équipé de radar

Equipage 30 personnes

Propriétés :

Localisation : Rome (on considère que les moyens arrivent donc sur zone par l'est)

SECURITE CIVILE

Missions :

Déployer des moyens en cas de pollution maritime

Surveiller et alerter les populations en cas de Sinistre

Moyens :

25 bombardiers d'eau

3 avions de liaison

Sapeurs Pompiers, Marins Pompiers

Personnel des services d'Etat (Police, Gendarmerie)

Militaires (Marine Nationale)

secours publics (sapeurs-pompiers, hôpitaux)

réseau permettant d'appeler ces secours

un réseau de surveillance d'accidents identifiés (pollution, accident chimique…)

associations de bénévoles (secourisme, aide humanitaire, aide sociale)

sirènes pour prévenir la population

radio du service public pour maintenir informées les populations

Propriétés :

Localisation : Vitrolles

GENDARMERIE Maritime

Missions :

Déployer des moyens

Moyens :

3 compagnies (250 hommes)

1 patrouilleur

Propriétés :

Localisation : Marseille

MARINE NATIONALE

Missions :

Mobiliser des moyens

Prévenir la population

Moyens :

3 bateaux pompes

8 remorqueurs

Hélicoptères

Bâtiment de soutient assistance et dépollution

Propriétés :

Localisation : Toulon

SASEMAR (cet agent ne fait pas partie de la V1)

Missions :

Intervenir automatiquement (arrivée sur les lieux = 4h si bateaux sont à Marseille)

Survoler la zone LION

Communiquer avec la Marine Nationale Française

Détecter toute pollution maritime

Lutter contre la pollution dans la zone LION

Moyens :

-le remorqueur-ravitailleur *Punta Mayor*

- la vedette tout temps *Salvamar Sirius*

Propriétés :

METEO FRANCE

Missions :

Surveiller et prévoir la météo

Suivre l'évolution du nuage toxique

Informer la cellule de crise

Moyens :

Instruments de météorologie

Images satellites

Modèles mathématiques

Propriétés :

Localisation : Aix en Provence

DOUANES

Missions :

Déployer des moyens

Moyens :

Dispositif aéronaval

4 avions Polmar

3 hélicoptères

Patrouilleurs

Gardes-côtes

Vedettes de surveillance rapprochée

Propriétés :

Localisation : Marseille

DIRECTION DEPARTEMENTALE DES TERRITOIRES ET DE LA MER (DDTM)

Missions :

Choisir un barrage dans la base de données

Mettre en place des barrages flottants

Eviter les suraccidents

Eviter la pollution sur les voies de circulation

Gérer les déchets polluants

Mettre en œuvre les politiques d'aménagement et de développement durables des territoires

Moyens :

Personnel

Barrages flottants

Propriétés :

Localisation : Marseille

PORT

Missions :

Accueillir des navires si la capacité d'accueil et le tirant d'eau le permettent

Moyens :

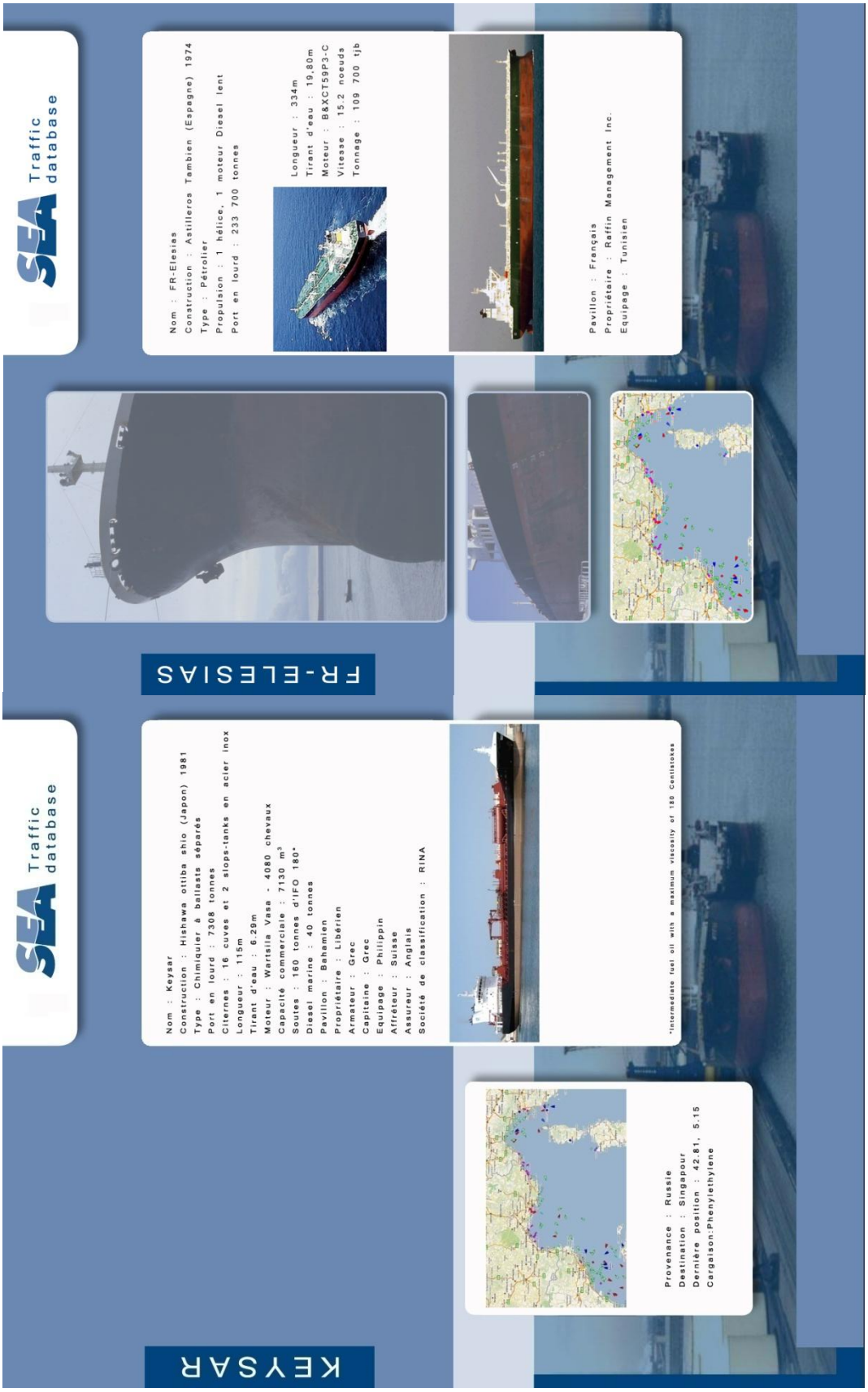
Propriétés :

Localisation : voir fichier des coordonnées géographiques des ports.

Port	Tirant d'eau max admissible		
	quai 1	quai 2	quai 3
Marseille FOS	10 à 11,5m	14,5 à 17m	5m-8m-9m
Treminal pétrolier FOS	22,25m		
Cannes	1,5m (moyen)		
rade de Toulon	au moins 6,20m		
Toulon-Côte-d'Azure	9m	8m	7,5m
Brégaillon/La Seyne	9,5m	6,5m	7m
Port-Vendres	8m		
Port-la-Nouvelle	8m	11,6m	
Sète	11m	13,5m	12,5m
La grande Motte	2,6m		
Carnon (Hérault)	2,5m		
Le Grau-du-Roi	5m		
Hyères Saint-Pierre	3,2m		
Nice	7m		
Menton	7m		

	Longueurs des bateaux (max admissible)		
	quai 1	quai 2	quai 3
Marseille FOS			
Cannes	12m		
rade de toulon			
Toulon-Côte-d'Azure	345m	165m	190m
Brégaillon/La Seyne	215m	140m	320m
Port-Vendres	155m		
Port-la-Nouvelle	145m*22m	190m*31,3m	
Sète			
La grande Motte	5m large		
Carnon	20m		
Le Grau-du-Roi	20m		
Hyères	16m		
Nice	140m		
Menton	25m		

Annexe XXI : cartographies, leaflets et articles de presse simulés.



DOUANES
& DROITS
INDIRECTS

EC135

Passenger transportation		
Configuration	Pilots	Passengers
Standard	1	6 / 7
	2	5 / 6
Corporate	1	6
	2	5
Executive	1	5
	2	4
L'Hélicoptère par Hermès	1	5
	2	4

Air medical transportation			
Configuration	Pilots	Medical Attendants	Stretchers
Casualty evacuation	1	4	1*
	1	3	2
	2	2	2

*2nd stretcher in stowed position possible

Dimensions	
Length (rotor rotating)	12.16 m / 39.9 ft
Fuselage length	10.20 m / 33.5 ft
Main rotor diameter	10.20 m / 33.5 ft
Tail rotor diameter	1.00 m / 3.3 ft

Weights	
Maximum take-off weight	2,910 kg / 6,415 lbs
Empty weight, standard configuration	1,455 kg / 3,208 lbs
Useful load, standard configuration	1,455 kg / 3,208 lbs
Maximum cargo-swing load	1,300 kg / 2,866 lbs
Standard fuel capacity	560 kg / 1,235 lbs

Power plant		
2 turbine engines	Turbomeca Arrius 2B2 or Pratt & Whitney Canada PW206B2	
Maximum power per engine, one engine inoperative (OEI), 30 seconds of power	609 kW / 816 shp	609 kW / 816 shp

Performance at Max. NORMALGROSS WEIGHT, SL, ISA	
Maximum speed (VNE)	259 km/h / 140 kts
Cruise speed	254 km/h / 137 kts
Rate of climb	7.6 m/s / 1,500 ft/min
Hover ceiling IGE	3,045 m / 10,000 ft
Hover ceiling OGE	2,010 m / 6,600 ft
Maximum range with standard tanks	635 km / 342 nm

Operation Limitations	
Maximum operating altitude (2,720 kg)	6,095 m / 20,000 ft
Minimum temperature	- 35°C / -31°F
Maximum temperature	ISA + 39°C / 102.2°F, limited to + 50°C / 122°F

The data set forth in this document is for information purposes only, and may vary with conditions.
For performance data and operating limitation references, refer to the approved flight manual and all appropriate documents.

Données générales :
Dimensions : 63.45 x 14.74 x 6.90 mètres
Jauge brute : 1577 tonneaux
Port en lourd : 2220 tonnes

Détection :
2 radars Racal Decca plein jour

Equipage :
2 équipages de 10 hommes

Energie - Propulsion :
Motorisation : 4 moteurs Diesel quatre temps Atlas-MaK 8 M453 AK (8 cylindres en ligne)
2 helices à pales orientables en tuyères Liaaen entrainées chacune à 150 t/mn par deux moteurs, par l'intermédiaire d'un réducteur-jumeleur Lohmann & Stolterfoht GVA 1250 C avec embrayages pneumatiques;

Propulseurs d'étrave : 2 propulseurs transversaux avant Ulstein de 350 CV chacun
Usine électrique : 2 alternateurs attelés Siemens de 440 kVA chacun, 3 groupes Diesel-alternateurs Caterpillar D353TA/Siemens de 320 kVA chacun.

Puissance : 4 x 2350 kW (12800 CV)
Traction au point fixe : 160 tonnes
Vitesse maximale : 17 nœuds
Distance franchissable : 36000 nautiques

Equipements :
1 treuil de remorquage Norwinch (400 t de charge statique), avec tambour d'une capacité de 1500 m de câble, de 70 mm, tension 150 t
1 treuil de remorquage Norwinch (400 t de charge statique), avec tambour d'une capacité de 1500 m de câble, de 70 mm, tension 150 t
1 treuil à embrayage par friction de 1500 m de câble et de tension constante de 110 t
1 grue de 4t Hydralift

BSAD - JASON

Vitesse maximum : 14 nœuds
Traction au point fixe : 126 tonnes

Dimensions
Longueur ht : 67m
Largeur max : ht 15.40m
Tirant d'eau max : 5.95m

Déplacement
Déplacement lège : 2100 t
Déplacement pc : 2310 t

Energie / Propulsion
2 moteurs diesels quatre temps Caterpillar
1 hélice à pales orientables Schottel de 3,50m de ø
2 propulseurs d'étrave en tunnel Brunvoll de 600 kW
1 propulseur transversal arrière Brunvoll de 600 kW
2 alternateurs attelés de 1600 kW chacun,
2 groupes Diesel-alternateurs Caterpillar 3408 DITA
Puissance : 2 x 4060 kW (2 x 5516 ch) à 750 t/mn

Equipements
1 grue de 2 t à 15 m - charge maxi sur le pont arrière 1200 t
1 treuil de remorquage et de relevage d'ancres hydraulique à deux tourets de 250 t (300 t au frein) chacun (capacité unitaire 2000 m de cable de 77 mm de diamètre chacun)
2 canons incendie à eau alimentés par 2 pompes de 1500 m3/heure chacune à 14 bar
1 système de positionnement dynamique Konsberg

Capacités
Chaines 200 m3, fuel oil 1230 m3, boues liquides 400 m3
Matériaux pulvérulents (4 silos) 250 m3 - Eau de forage 700 m3 - Eau douce 270 m3

Equipage
8 hommes dont le commandant (possibilité d'embarquer jusqu'à 30 passagers).

TRANSPORT & HEAVY LIFT

VENUSTA

Stern Drive variable pitch propeller
35 tonnes bollard pull harbour/coastal tug

General

Bureau Veritas I•HULL•MACH•AUT-UMS tug coastal area	
IMO number	8521701

Dimensions

Length over all	28.60 m
Beam over all	8.70 m
Draught	3.45 m
Gross tonnage	236 tonnes

Engines and propulsion

Main engines	2 x 6FCHD240 SWD
Total power	1765 kW
Propulsion	2 x Promac variable pitch propellers
Generators	2 x Volvo Penta

Performance

Bollard pull ahead	35 tonnes
Speed ahead	13.5 knots

Deck equipment

Towing winch	Van der Giesen, IHC DMN, maximum pull 270 kN on first layer

Tank arrangement

Fuel oil	128 m^3
Fresh water	22 m^3

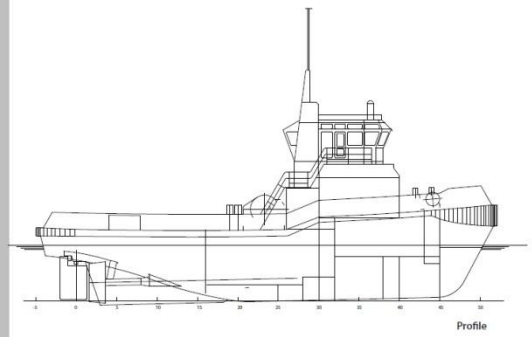
Nautical and communication equipment

Radar	JRC JMA 3806 and JRC JMA 609
Compass	Magnetic Kotter
Satellite compass	Furuno SC 50
Autopilot	Anschutz Girostar 110
GPS	Valsat 02L
Echosounder	Dogger 42
VHF	Sailor RT 2047
VHF portable	Nova Marine
Navtex	JRC NCR 300A

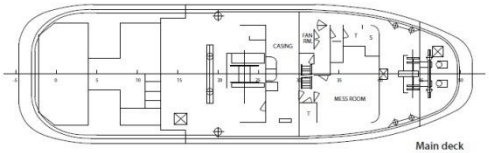
Accommodation

Accommodation for 8 people, fully air-conditioned.

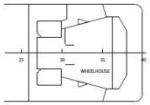
VENUSTA



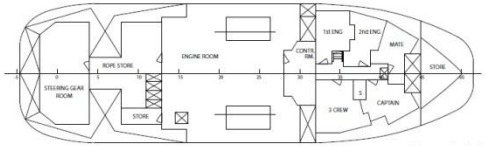
Profile



Main deck



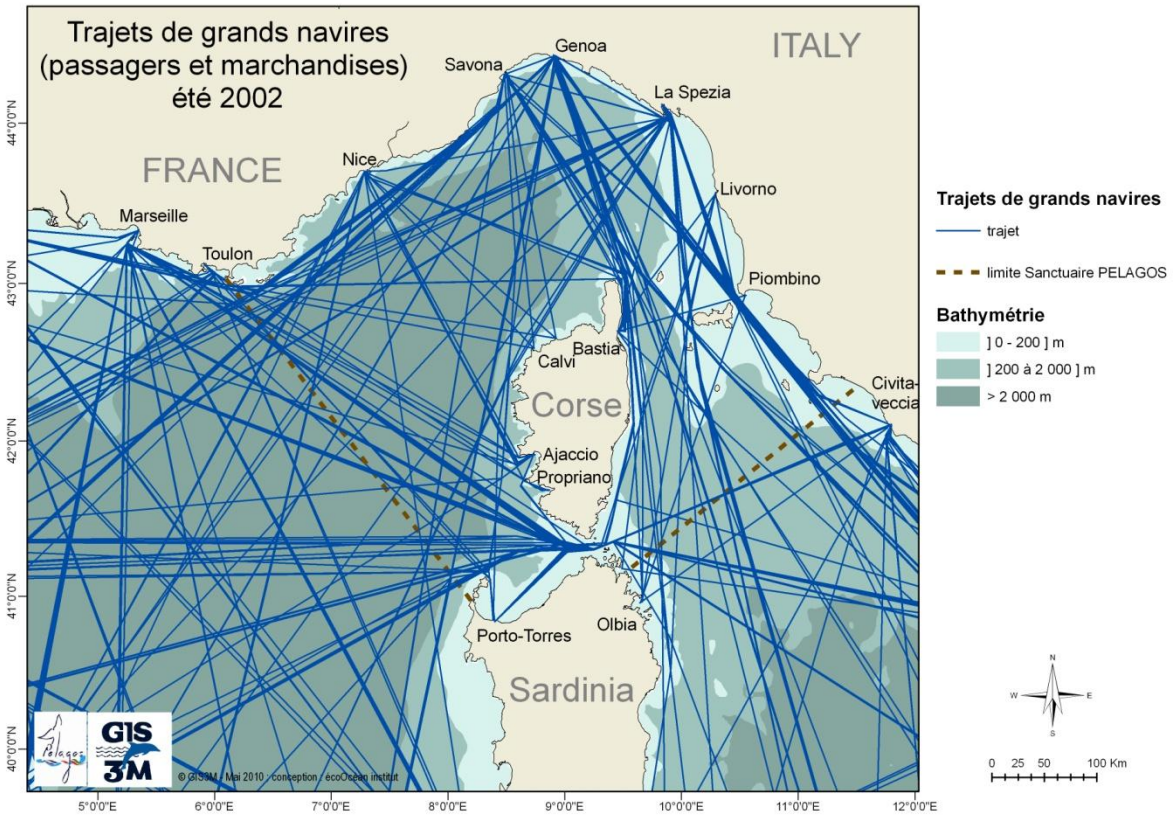
Bridge deck

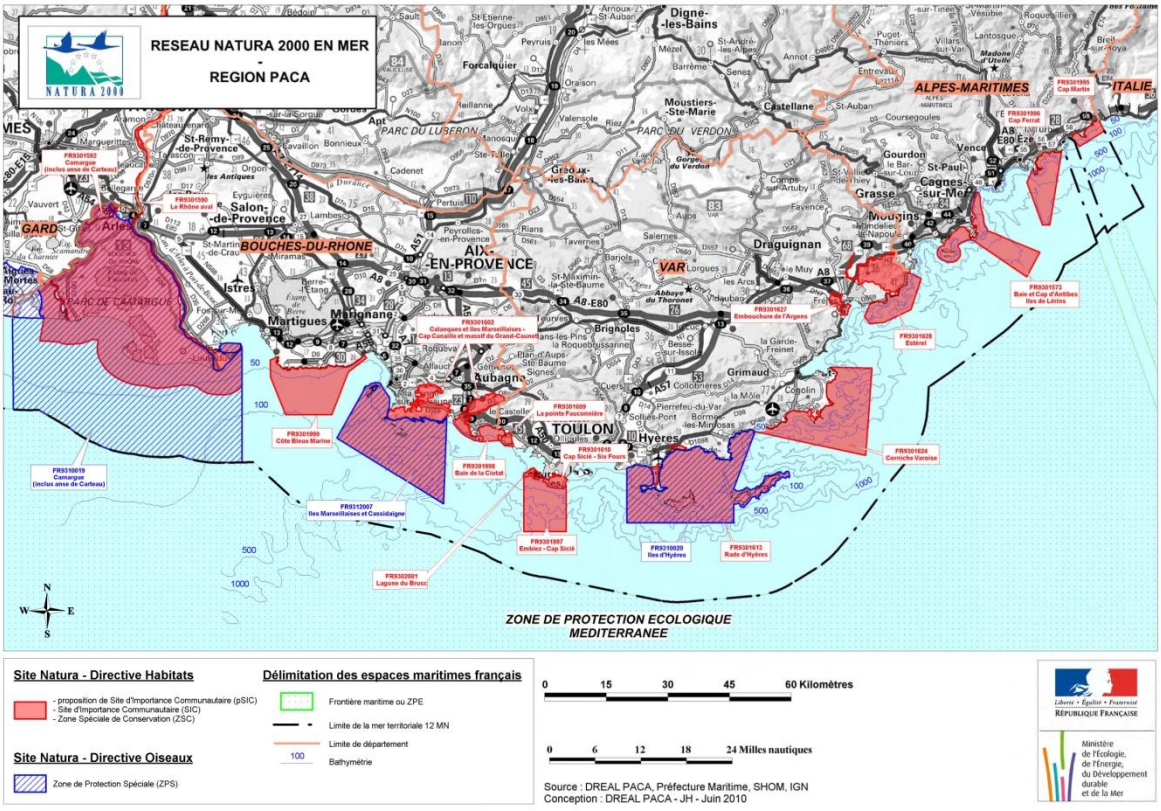


Below main deck

GENERAL PLAN

All details are believed to be correct but not guaranteed.


Trajets de grands navires
(passagers et marchandises)
été 2002
ITALY
FRANCE
Genoa
Savona
La Spezia
Nice
Livorno
Marseille
Toulon
Piombino
Bastia
Calvi
Corse
Civita-
vecchia
Ajaccio
Propriano
Porto-Torres
Olbia
Sardinia
44°0'0"N
43°0'0"N
42°0'0"N
41°0'0"N
40°0'0"N
5°0'0"E
6°0'0"E
7°0'0"E
8°0'0"E
9°0'0"E
10°0'0"E
11°0'0"E
12°0'0"E
© GIS3M / Mai 2010 - conception / ecoOcean institut
Trajets de grands navires
trajet
limite Sanctuaire PELAGOS
Bathymétrie
] 0 - 200] m
] 200 à 2 000] m
> 2 000 m
N
W
E
S
0 25 50 100 Km


RESEAU NATURA 2000 EN MER
-
REGION PACA
NATURA 2000
ALPES-MARITIMES
ITALIE
VAR
BOUCHES-DU-RHONE
GARD
TOULON
ZONE DE PROTECTION ECOLOGIQUE
MEDITERRANEE
Site Natura - Directive Habitats
- proposition de Site d'Importance Communautaire (pSIC)
- Site d'Importance Communautaire (SIC)
- Zone Spéciale de Conservation (ZSC)
Site Natura - Directive Oiseaux
Zone de Protection Spéciale (ZPS)
Délimitation des espaces maritimes français
Frontière maritime ou ZPE
Limite de la mer territoriale 12 MN
Limite de département
Bathymétrie
0 15 30 45 60 Kilomètres
0 6 12 18 24 Milles nautiques
Source : DREAL PACA, Préfecture Maritime, SHOM, IGN
Conception : DREAL PACA - JH - Juin 2010
Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
Ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement durable et de la Mer

Le levoli Sun. Crédits : CEDRE.

MARSEILLE

Syndrome de la peur : les autorités paralysées !

Le préfet maritime ainsi que sa cellule de crise ont actuellement en charge la gestion de l'accident qui s'est produit ce matin entre deux cargos transportant des produits hautement toxiques.

Joints par téléphone, ils ont cependant indiqué n'avoir rien entrepris afin d'acheminer rapidement ces bateaux en lieu sûr !

Rappelons que le 31 octobre 2000, plus de 24 heures après son appel de détresse, le *levoli Sun* sombrait par 70 mètres de fond pendant son remorquage.

Alors que l'histoire nous a enseigné par le passé qu'il était important de réagir vite, il semble aujourd'hui que les autorités ne soient pas en mesure de garantir la sauvegarde des personnes ni même la protection de notre environnement.

Le directeur de cabinet du Premier ministre n'a pas souhaité s'exprimer sur cette question manifestement épineuse pour le gouvernement.

LA PHOTO DU JOUR
Voir
LES ARTICLES DU JOUR
Voir tous les articles du jour
S'inscrire à la Newsletter
Votre e-mail Ok
Voir la Newsletter
Accéder à mon compte
Mot de passe oublié ?
Suivez l'actualité de Mediactu.fr sur twitter
COURRIER des LECTEURS
Vous souhaitez réagir, donner votre opinion, témoigner d'un événement.
Réagir
METÉO
Toutes les prévisions
Voir le trafic en temps réel
Carte des radars
Prévisions Trafic
Tous nos flux RSS

Mediactu.fr
Rechercher un article : Recherche Rechercher
Grand-Sud | Actu | Éco | Sports
Votre commune

L'Abeille Flandre. Crédits : MARINE NATIONALE

MARSEILLE

Remorquage d'un cargo : opération à haut risque.

Un remorqueur affrété par la marine œuvre en ce moment même pour mettre en sécurité un cargo victime d'une avarie de moteur. Cette opération d'assistance fait suite à l'accident ayant eu lieu au large de Marseille il y a quelques heures entre un chimiquier et un pétrolier.

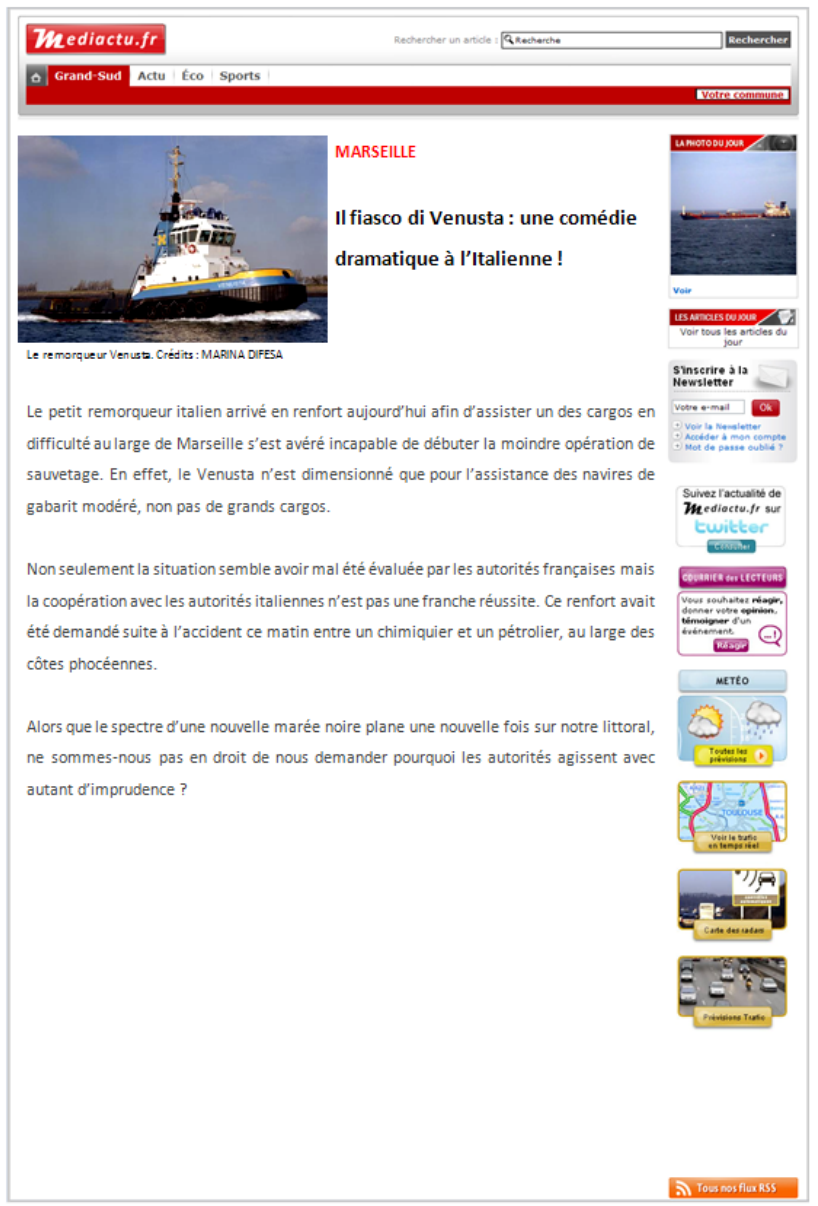
Les conditions météo étant plus que fluctuantes depuis ces dernières heures ralentissent la progression du convoi qui est à une heure d'appareillage au moment où nous écrivons.

La question se pose donc du danger humain et environnemental encouru par cette mission sans filets !

La préfecture maritime de la Méditerranée n'a pas encore souhaité se prononcer sur le sujet.

LA PHOTO DU JOUR
Voir
LES ARTICLES DU JOUR
Voir tous les articles du jour
S'inscrire à la Newsletter
Votre e-mail Ok
Voir la Newsletter
Accéder à mon compte
Mot de passe oublié ?
Suivez l'actualité de Mediactu.fr sur twitter
COURRIER des LECTEURS
Vous souhaitez réagir, donner votre opinion, témoigner d'un événement.
Réagir
METÉO
Toutes les prévisions
Voir le trafic en temps réel
Carte des radars
Prévisions Trafic
Tous nos flux RSS

Mediactu.fr
Rechercher un article :
Recherche
Rechercher
Grand-Sud
Actu
Éco
Sports
Votre commune
MARSEILLE
Accident du Keysar – FR Elesias : les Abeilles de Toulon en bonnes ouvrières.
Le Jason. Crédits : MARINE NATIONALE
Un remorqueur du groupe BOURBON et un bâtiment de soutien, d'assistance et de dépollution affrétés par la marine ont œuvré de concert, aujourd'hui, pour mettre en sécurité un cargo victime d'une avarie de moteur. L'équipage du Keysar n'avait pas eu le temps de signaler que son navire n'était plus manœuvrant avant que le FR-Elesias ne l'aborde.
Afin de prévenir tout danger humain et environnemental, l'Abeille Flandre a entrepris de remorquer le cargo. Mis en alerte quelques heures auparavant afin d'intervenir en cas de besoin, le Jason a finalement rallié le convoi afin de stabiliser le Keysar, les deux coques se chargeant alors intégralement des manœuvres portuaires.
Affrété depuis janvier 2009 par la marine, le Jason est en charge de la sécurité nautique sur la côte méditerranéenne. Il assure cette mission en compagnie de l'Abeille Flandre, qui a été remplacée à Brest, en 2005, par l'Abeille Bourbon.
Après avoir laissé le cargo avarié à ses nouveaux cousins phocéens, l'Abeille Flandre et le Jason ont remis le cap sur Toulon.
LA PHOTO DU JOUR
Voir
LES ARTICLES DU JOUR
Voir tous les articles du jour
S'inscrire à la Newsletter
Votre e-mail
Ok
Voir la Newsletter
Accéder à mon compte
Mot de passe oublié ?
Suivez l'actualité de Mediactu.fr sur twitter
COURRIER des LECTEURS
Vous souhaitez réagir, donner votre opinion, témoigner d'un événement.
Réagir
METÉO
Toutes les prévisions
TOULOUSE
Voir le trafic en temps réel
Carte des radars
Prévisions Trafic
Tous nos flux RSS


Mediactu.fr
Rechercher un article :
Recherche
Rechercher
Grand-Sud
Actu
Éco
Sports
Votre commune
MARSEILLE
Il fiasco di Venusta : une comédie dramatique à l'Italienne !
Le remorqueur Venusta. Crédits : MARINA DIFESA
Le petit remorqueur italien arrivé en renfort aujourd'hui afin d'assister un des cargos en difficulté au large de Marseille s'est avéré incapable de débuter la moindre opération de sauvetage. En effet, le Venusta n'est dimensionné que pour l'assistance des navires de gabarit modéré, non pas de grands cargos.
Non seulement la situation semble avoir mal été évaluée par les autorités françaises mais la coopération avec les autorités italiennes n'est pas une franche réussite. Ce renfort avait été demandé suite à l'accident ce matin entre un chimiquier et un pétrolier, au large des côtes phocéennes.
Alors que le spectre d'une nouvelle marée noire plane une nouvelle fois sur notre littoral, ne sommes-nous pas en droit de nous demander pourquoi les autorités agissent avec autant d'imprudence ?
LA PHOTO DU JOUR
Voir
LES ARTICLES DU JOUR
Voir tous les articles du jour
S'inscrire à la Newsletter
Votre e-mail
Ok
Voir la Newsletter
Accéder à mon compte
Mot de passe oublié ?
Suivez l'actualité de Mediactu.fr sur twitter
COURRIER des LECTEURS
Vous souhaitez réagir, donner votre opinion, témoigner d'un événement.
Réagir
METÉO
Toutes les prévisions
TOULOUSE
Voir le trafic en temps réel
Carte des radars
Prévisions Trafic
Tous nos flux RSS

Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

Toulon, le mardi 27 septembre 2011

PREFECTURE MARITIME DE LA MEDITERRANEE

COMMUNIQUE DE PRESSE

EVACUATION MEDICALISEE AU LARGE DE MARSEILLE

Aujourd'hui mardi 27 septembre 2011 dans la matinée, le CROSS-Med est alerté par le port autonome de Marseille qu'un membre d'équipage du pétrolier *FR-Elesias* (330 mètres), en avarie au large de la rade de Marseille et battant pavillon français, sont inconscients avec des vomissements.

Aussitôt, l'hélicoptère Dragon de la sécurité civile est dépêché sur les lieux avec à son bord un médecin. L'homme de nationalité tunisienne est hélitreuillé et transféré à l'hôpital nord de Marseille.

Préfecture maritime de la Méditerranée
Tel : 04.94.02.01.95
Mobile : 06.82.56.10.78
Fax : 04.94.91.77.92
Web : http://www.premar-mediterranee.gouv.fr/

Mediactu.fr

Rechercher un article : Recherche Rechercher

Grand-Sud | Actu | Éco | Sports

Votre commune

Deepwater Horizon. Crédits : Wikinews.

MARSEILLE

Un pétrolier en feu bloque le trafic aérien de Marignane.

Un incendie fait actuellement rage sur le pétrolier FR-ELESIAS mis en cause dans l'accident maritime qui a eu lieu ce matin avec un chimiquier bahamien. L'épais panache de fumées noires qui se voit depuis les côtes s'élève désormais haut dans le ciel rendant impossible le décollage des avions depuis l'aéroport de Marignane.

« Bien que l'incendie ne soit pas encore maitrisé, les patrouilleurs de la Société Nationale de Sauvetage en Mer sont sur place et ne signalent aucun risque visible de propagation du feu», a déclaré Mickael Zajac, un employé de la société. *« On nous demande de surveiller la situation mais ce n'est facile »*, a-t-il ajouté.

Selon nos informations, il y aurait pourtant bel et bien un risque que le produit toxique qui se déverse en ce moment du chimiquier s'enflamme à son tour rendant ainsi totalement improbable toute extinction du feu par les moyens déployés sur place.

Pour l'heure, aucune information n'a été communiquée au sujet du rétablissement du trafic aérien dans cette zone.

LA PHOTO DU JOUR

Voir

LES ARTICLES DU JOUR

Voir tous les articles du jour

S'inscrire à la Newsletter

Votre e-mail Ok

Voir la Newsletter
Accéder à mon compte
Mot de passe oublié ?

Suivez l'actualité de Mediactu.fr sur twitter

COURRIER des LECTEURS

Vous souhaitez réagir, donner votre opinion, témoigner d'un événement.

Réagir

METEO

Toutes les prévisions

TOULOUSE

Voir le trafic en temps réel

Carte des radars

Prévisions Trafic

Tous nos flux RSS

Annexe XXII : la méthodologie REXAO de retour d'expérience.

Cette méthodologie traite du retour d'expérience sur les accidents, les crises et par extension sur les exercices de gestion de tels évènements [Wybo *et al.*, 2009]. Sur la base du constat que les retours d'expérience sont sources de progrès pour les organisations, cette méthode opérationnelle de retour d'expérience et d'apprentissage organisationnel permet d'identifier la naissance et les phases d'évolution d'un évènement sous différents angles (humains, environnementaux, économiques etc.). Il s'agit en effet de déterminer rétrospectivement quelles actions ont été entreprises, leur impact sur l'évolution de l'évènement, afin d'établir des stratégies éventuellement alternatives permettant de mieux gérer ces situations si elles venaient à se reproduire.

Ces recherches en matière de retour d'expérience et d'apprentissage organisationnel ont notamment permis d'identifier la notion d'atome d'expérience. Un atome d'expérience est vu comme une unité de mémoire et une unité de raisonnement dont la formalisation favorise la capitalisation et la réutilisation de l'expérience [Delaître *et al.*, 2000].

Pour ce faire, il est nécessaire de formaliser les connaissances implicitement mobilisées par les individus, et d'en faciliter le partage ainsi que l'appropriation par ceux-ci. Les techniques de la mise en œuvre de la REXAO peuvent traiter de *« la représentation des situations redoutées au rapport de gestion d'évènements, en passant par la conduite d'entretien(s) et de réunion(s) et le choix des supports de représentation »* [Wybo *et al.*, 2009]. Cette approche se destine préférentiellement aux décideurs et aux responsables appelés à gérer des crises ou à organiser des exercices simulés.

École Nationale Supérieure des Mines

de Saint-Étienne

NNT : 2012 EMSE 0651

Florian TENA-CHOLLET

DEVELOPMENT OF A SEMI-VIRTUAL TRAINING ENVIRONMENT FOR STRATEGIC CRISIS MANAGEMENT, BASED ON MULTI-AGENT SIMULATIONS

Speciality: Environmental Science and Engineering

Keywords: major risk, cooperative learning, strategic crisis management, multi-agent system.

Abstract:

Currently, actors who deal with crisis situations have to make decision under stress and to act in emergency for mitigating the consequences or avoiding the impacts on critical stakes. To achieve this common goal efficiently, these actors must constitute a crisis cell and collaborate in a coordinated way. But crisis management requires skills which depend mainly on experience. That is why, this work aims to propose a set of methods in order to characterize training decision makers. In order to develop a semi-virtual training environment for strategic crisis management, four axes are studied. The first one focuses on a design pattern – based on chronological, systemic and functional analyzes – and leads to the specification of a real generic training platform. The second one defines a methodology for the semi-automatic generation of dynamic crisis scenarios (models, databases, etc.). The third one deals with a simulation model (based on a multi-agent system), and especially a dedicated typology for required events: the phenomena (reactive agents), the operational and tactical actors (archetypical agents), and the pedagogical events (action of trainers). The last one contributes to facilitate the exercises animation and the debriefings management, thanks to three methods of participant assessment. Sixteen indicators are defined and used, in particular, to build capability trees. Finally, three of these four topics have been validated and the first results seem to fit with the aim of the semi-virtual training environment developed.

École Nationale Supérieure des Mines

de Saint-Étienne

NNT : 2012 EMSE 0651

Florian TENA-CHOLLET

ÉLABORATION D'UN ENVIRONNEMENT SEMI-VIRTUEL DE FORMATION À LA GESTION STRATÉGIQUE DE CRISE, BASÉ SUR LA SIMULATION MULTI-AGENTS

Spécialité : Sciences et Génie de l'Environnement

Mots clefs : risque majeur, apprentissage organisationnel, gestion stratégique de crise, système multi-agents.

Résumé :

Les crises projettent la plupart du temps le décideur sur une durée plus ou moins longue dans l'urgence de la décision, avec l'obligation de minimiser les conséquences possibles sur les enjeux. Une équipe de gestion de crise est organisée en cellule et a pour objectif de construire des stratégies de réponse concertées et appropriées. Or, il s'avère que certaines des compétences nécessaires ne peuvent être acquises que par expérience. Ce travail s'attache ainsi à améliorer les processus de formation des décisionnaires en définissant, suivant quatre étapes, un environnement semi-virtuel de formation à la gestion stratégique de crise. Une phase de conception sert tout d'abord de point de départ au cahier des charges d'une implantation physique, d'une ingénierie système et d'une ingénierie pédagogique dédiées. Puis, une étape de modélisation d'un exercice de gestion de crise structure une méthodologie visant à définir les objectifs pédagogiques retenus, et propose une méthode appliquée de génération semi-automatique d'un scénario didactique. Une attention particulière est notamment portée sur l'élaboration d'une typologie d'évènements et d'éléments logiciels permettant la simulation multi-agents de crises virtualisées. Enfin, une méthodologie d'évaluation des participants est proposée dans le but d'enrichir la phase classique de débriefing. Seize indicateurs sont définis et permettent en particulier de construire des arbres de compétences. Une phase de validation porte sur trois de ces quatre axes méthodologiques, et il est montré que les premiers résultats obtenus tendent à valider les spécifications retenues pour l'environnement semi-virtuel de formation développé.