



N° d'ordre :

THESE
présentée par

Carole DAUTUN

Pour obtenir le grade de Docteur
de l'Ecole Nationale Supérieure des Mines de Saint-Etienne

Spécialité : Science et Génie de l'Environnement

*Contribution à l'étude des crises de grande ampleur :
Connaissance et aide à la décision pour la Sécurité Civile*

Soutenue à Alès le 14 décembre 2007

Membres du jury

C. ROUX-DUFORT	Professeur, Ecole de Management de Lyon	Rapporteur
J. VIRET	Professeur, Université Montpellier I	Rapporteur
D.GRAILLOT	Professeur, Ecole des Mines de Saint Etienne	Examineur
P. NARDIN	Colonel, Ministère de l'Intérieur	Examineur
J.M. MERCANTINI	Maître de conférences, Ecole Polytechnique Universitaire de Marseille	Examineur
G. DUSSERRE	Maître de recherche, Ecole des Mines d'Alès	Directeur de thèse
J. TIXIER	Maître-assistant, Ecole des Mines d'Alès	Encadrant
A. JOHANNET	Chargé de recherche, Ecole des Mines d'Alès,	Co-encadrant
J. CHAPELAIN	Colonel, Ecole Nationale Supérieure des Officiers des Sapeurs-Pompiers	Invité
F. FONTAINE	Responsable Sûreté, malveillance, terrorisme, INERIS	Invité
P. LAVOIL	Lieutenant-colonel, Institut National des Hautes Etudes de Sécurité	Invité

Remerciements

Je tiens tout d'abord à exprimer ma reconnaissance envers Mr. Christophe Roux-Dufort et Mr. Jean Viret d'avoir accepté d'être rapporteurs et d'avoir évalué ce travail de thèse. Je remercie également Mr. Didier Graillot, Mr. Jean-Marc Mercantini et Mr. le Colonel Philippe Nardin de m'avoir fait l'honneur d'être membres du jury.

J'adresse également mes remerciements à Mr. Gilles Dusserre pour m'avoir accueillie au sein de l'équipe risques industriels et naturels, pour ses conseils ainsi que pour la liberté qu'il m'a laissée sur la conduite de ce sujet de recherche.

Ma reconnaissance va également à Mr. Jérôme Tixier qui pendant ces trois ans a été à l'écoute, disponible et m'a accordé sa confiance pour mener à bien cette thèse.

Je tiens également à remercier Anne Johannet pour m'avoir initiée aux réseaux de neurones et pour toute l'aide qu'elle m'a apportée.

Cette thèse est inscrite dans les problématiques développées par le Groupement d'Intérêt Scientifique d'Aide à la Gestion des Crises. A ce titre, je tiens à exprimer ma gratitude aux membres du conseil scientifique et tout particulièrement à Mr. le Colonel Jean Chapelain, à Mr. François Fontaine et à Mr. le Lieutenant-colonel Philippe Lavoil pour leurs conseils.

L'étude des crises se fonde avant tout sur des observations de terrain. Je tiens à remercier toutes les personnes qui, au travers des différents exercices ou lors des inondations de 2005 dans le Gard, m'ont permis de mettre un pied dans le monde de la sécurité civile et d'observer leurs actions sur le terrain : Mr. le Commandant Beccari, Mr. le Colonel Pizzocarò, Mr. Garrel, le Lieutenant-colonel Jean François Roure, Mr. Sacher, Mr. le Commandant Secqueville, Mr le Préfet Vallaud, Mr le Préfet Bellion,

Je tiens également à remercier toutes les personnes qui ont accepté de me recevoir afin de recueillir leurs expériences: Mme Marie Cécile Barthet, Mr. le Préfet Guyot, Mr. le Colonel Garrigue, Mr. le Colonel Noisette, Mr. le Colonel Mené, Mr le Général Decourtis, Mme Marchetti et Mr Dorison.

Un grand merci à Mr Jean-Noël Tremblay pour les longues discussions que nous avons eues.

Je remercie chaleureusement tous mes collègues de l'équipe risques : Aurélia, Cyrille, Flo, Laurent, Marc, Nicolas, Pierre, Sophie, Vincent, les nouveaux Aurélia et Denis et les

délocalisés, Francis, Emma et Samuel, pour leur bonne humeur, leur écoute dans les moments de doute. Ce fût un plaisir de travailler avec eux.

Un grand merci également à l'ensemble du personnel du LGEI pour ces trois années passées au laboratoire.

Un grand merci également à Sandrine et Franck, Francisco, Cris, Carole, Aurélie, l'abbaye (Jacky, Steph, Virginie, Pierre, Olivier et tous les autres) et les garçons Fabien et Florent pour tous les bons moments passés à Alès.

Ces trois années m'auraient paru plus longues sans l'amitié d'Anne et Benji. Merci pour toutes ces soirées à refaire le monde et les fous rires au « francombat ». Vivement le prochain jeudi...

Une pensée également « aux filles » : j'ai *enfin* fini...

Merci également à Michel et David qui ont su bien avant moi.....

Enfin, je n'aurai pu parvenir jusqu'ici sans la confiance et le soutien que m'ont apporté mes parents et ma sœur Céline. Un grand merci à vous trois.

Sommaire

Liste des figures	- 7 -
Liste des tableaux	- 10 -
Annotations utilisées	- 13 -
Introduction générale	- 15 -
Partie I : La gestion des crises. Formulation des problématiques et apports conceptuels	- 15 -
Chapitre 1 : Contexte et formulation des problématiques	- 17 -
Introduction	- 18 -
1.1. Risques majeurs, accidents et gestion des risques	- 18 -
1.2. La Sécurité Civile : au centre de la réponse d'urgence	- 24 -
1.3. De la théorie à l'opérationnel : illustration par deux observations	- 30 -
1.4. Formulation des problématiques de recherche	- 37 -
Chapitre 2 : Du terrain du risque au terrain de la crise.	- 41 -
Introduction	- 42 -
2.1. Du concept de risque au concept de crise	- 42 -
2.2. Comment naissent, se développent et meurent les crises ?	- 50 -
2.3. L'organisation à l'origine des crises	- 59 -
2.4. Structuration des organisations	- 67 -
2.5. Organisation et processus de décision	- 72 -
Conclusion - Synthèse	- 83 -
Chapitre 3 : Que nous apprennent les événements de ces dix dernières années ?	- 85 -
Introduction	- 86 -
3.1. Synopsis de quelques accidents et crises passés.	- 86 -
3.2. L'origine de ces situations : les facteurs de contingence situationnelle	- 91 -
3.3. Les conséquences de ces situations au niveau des communautés	- 94 -
3.4. Des problématiques organisationnelles et managériales	- 97 -
Conclusion – Synthèse	- 101 -

Chapitre 4 : Comment améliorer la gestion des crises ?	-103-
Introduction	-104-
4.1. Le concept de résilience	-104-
4.2. Améliorer la prévention et la planification des crises	-105-
4.3. Améliorer l'apprentissage organisationnel	-107-
Conclusion - Synthèse	-110-
Partie II : Définition d'un système d'aide à la décision pour anticiper et gérer des crises de grande ampleur	-111-
Chapitre 5 : Les crises de grande ampleur : Définition et approche systémique	-113-
Introduction	-114-
5.1. La crise de grande ampleur – Définition	-114-
5.2. Représenter la crise selon une approche systémique	-115-
5.3. Evaluation des modèles	-125-
5.4. Le système de veille stratégique du territoire : définition et objectifs	-139-
Conclusion - Synthèse	-140-
Chapitre 6 : L'aide à la décision. Méthodes et outils	-141-
Introduction	-142-
6.1. L'aide à la décision : pourquoi, pour qui et comment ?	-142-
6.2. La méthode de décision multicritères de Saaty	-147-
6.3. Les réseaux de neurones	-157-
Conclusion – Synthèse	-169-
Chapitre 7 : Mise en place de la méthode d'aide à l'anticipation et la gestion des crises de grande ampleur	-171-
Introduction	-172-
7.1. Principes généraux de la méthode d'aide à l'anticipation et à la gestion des crises de grande ampleur	-172-
7.2. Les échelles d'évaluation du système de crise	-173-
7.3. Création de la base de données	-180-
7.4. Définition du potentiel de crise au travers de l'utilisation de la méthode de Saaty	-185-
7.5. Définition du potentiel au travers de l'utilisation des réseaux de neurones	-199-
Conclusion - Synthèse	-201-

Partie III : Application, résultats et analyses	-203-
Chapitre 8 : Evaluation du potentiel de crise par la méthode de hiérarchisation multicritères de Saaty	-205-
Introduction	-206-
8.1. Traitement des questionnaires, pondérations et cohérence	-206-
8.2. Présentation des pondérations	-207-
8.3. Quantification du potentiel de crise	-224-
8.4. Qualification du potentiel de crise	-237-
8.5. Limites et perspectives	-243-
Conclusion	-244-
Chapitre 9 : Evaluation du potentiel de crise par les réseaux de neurones	-245-
Introduction	-247-
9.1. Les réseaux de neurones comme classifieur à deux classes	-247-
9.2. Les réseaux de neurones multicouches	-257-
9.3. Limites et perspectives des réseaux de neurones	-266-
Conclusion - Synthèse	-267-
Chapitre 10 : Le potentiel de crise. Synthèse des résultats, limites et perspectives	-269-
Introduction	-270-
10.1. Comparatif de deux approches	-270-
10.2. Représentation en trois dimensions des potentiels de crise	-273-
10.3. Limites de la méthode d'aide l'anticipation et à la gestion des crises	-277-
10.4. Perspective de développement de la méthode d'aide à la gestion des crises et conclusion	-278-
Conclusion générale et perspectives	-281-
Bibliographie	-287-
Liste des annexes	-314-

Liste des figures

Partie I

Figure 1.1 : Représentation simplifiée de la notion de risque sur un territoire	- 19 -
Figure 1.2 : La boucle de la gestion des risques et des crises en France	- 22 -
Figure 1.3 : Organisation pyramidale de la Sécurité Civile	- 28 -
Figure 1.4 : Organisation de la réponse de sécurité civile	- 33 -
Figure 2.1 : Cheminement simplifié de reconnaissance des crises	- 47 -
Figure 2.2 : Le modèle des signaux faibles (Adapté de Ansoff, 1975 in Lesca, 2002)	- 56 -
Figure 2.3 : Les deux approches de la crise : évènement et processus	- 58 -
Figure 2.4 : Modélisation des intervenants et des impliqués selon un référentiel espace-temps	- 69 -
Figure 2.5 : Le processus de décision en situation de crise (Adapté de Parkin, 1996 et Sayech, 2004)	- 77 -

Partie II

Figure 5.1 : Systémographier un phénomène complexe non identifiable (Le Moigne, 1977)	- 116 -
Figure 5.1 : Forme canonique du système général (Le Moigne, 1977)	-116-
Figure 5.2 : Les différents niveaux de modélisation (Le Moigne, 1977)	-117-
Figure 5.3 : Représentation d'un modèle	-118-
Figure 5.4 : Modèle du système global de crise	-119-
Figure 5.5 : Les quatre comportements du système global de crise	-121-
Figure 5.6 : Modèle de l'état initial	-122-
Figure 5.7 : Modèle de l'état de crise de grande ampleur	-123-
Figure 5.8 : Représentation des dynamiques des crises de grande ampleur	-124-
Figure 5.9 : Modèle conceptuel MADS (Adapté de Périlhon, 2000)	-126-
Figure 5.10 : Transposition du modèle MADS	-126-
Figure 5.11 : Synthèse des informations d'évaluation du modèle de crise	-137-
Figure 6.1 : Classes de processus de décision	-144-
Figure 6.2 : Classes de décisions définies pour la problématique de gestion des crises.	-145-
Figure 6.3 : Structuration hiérarchique simplifiée de type complète	-150-
Figure 6.4 : Structuration hiérarchique complexe de type incomplète	-150-
Figure 6.5 : Modèle de matrice pour comparaison binaire (Saaty, 1984)	-151-

Figure 6.7 : Algorithme de choix de la méthode d'agrégation des avis	-153-
Figure 6.8 : Problème de classification à deux classes	-158-
Figure 6.9 : Représentation figurée d'un neurone formel (Dreyfus, 2002 ; Johannet, 2006, a)	-159-
Figure 6.10 : Fonction d'évaluation de type seuil	-160-
Figure 6.11 : Fonction d'évaluation de type sigmoïde	-160-
Figure 6.12 : Réseau de neurones non bouclé à une couche	-161-
Figure 6.13 : Réseaux de neurones non bouclés mult-couches	-162-
Figure 6.14 : Forme canonique des réseaux de type bouclé	-162-
Figure 6.15 : Représentation figurée de l'apprentissage professeur – élève	-164-
Figure 6.16 : Principe de la validation croisée	-167-
Figure 6.17 : Evolution typique des performances d'apprentissage et de validation	-168-
Figure 6.18 : Le potentiel de crise et les quatre indicateurs	-173-
Figure 7.1 : Structuration hiérarchique générale	-186-
Figure 7.2 : Niveau supérieur de la structure hiérarchique permettant l'évaluation du potentiel de crise.	-187-
Figure 7.3 : Structuration hiérarchique permettant l'évaluation de l'indicateur conséquences	-191-

Partie III

Figure 8.1 : Répartition des pondérations en fonction des catégories socioprofessionnelles interrogées	-208-
Figure 8.2 : Pondérations obtenues pour l'indicateur conséquences globales	-213-
Figure 8.3 : Pondérations obtenues pour les critères réseaux vitaux	-214-
Figure 8.4 : Pondérations obtenues pour l'indicateur capacité de réaction des organisations	-215-
Figure 8.5 : Synthèse du potentiel de crise pour une crise naturelle	-216-
Figure 8.6 : Pondération de l'indicateur conséquences globales	-217-
Figure 8.7 : Pondérations des critères et éléments composant les conséquences sur les réseaux vitaux	-217-
Figure 8.8 : Pondération de l'indicateur capacité de réaction des organisations	-218-
Figure 8.9 : Pondérations obtenues pour le potentiel de crise terroriste	-219-
Figure 8.10 : Pondérations de l'indicateur évènement déclencheur – Crises terroristes	-220-
Figure 8.11 : Pondérations obtenues pour l'indicateur conséquences globales	-221-
Figure 8.12 : Pondérations obtenues pour les critères réseaux vitaux	-221-
Figure 8.13 : Pondérations obtenues pour l'indicateur capacité de réaction des organisations	-222-
Figure 8.14 : Quantification de l'indicateur évènement déclencheur	-224-

Figure 8.15 : Quantification de l'indicateur conséquences – Crises industrielles	-225-
Figure 8.16 : Quantification de l'indicateur capacité de réaction des organisations – Crises industrielles	-226-
Figure 8.17 : Quantification des facteurs aggravants pour les situations industrielles	-227-
Figure 8.18 : Potentiel de crise des sept situations d'origine industrielle	-228-
Figure 8.19 : Quantification de l'indicateur évènement déclencheur - Crises naturelles	-229-
Figure 8.20 : Quantification de l'indicateur conséquences – crises naturelles	-230-
Figure 8.21 : Quantification de l'indicateur capacité de réaction des organisations – Crises naturelles	-231-
Figure 8.22 : Quantification des facteurs aggravants	-232-
Figure 8.23 : Quantification du potentiel de crises pour les situations d'origine naturelle	-232-
Figure 8.24 : Quantification de l'indicateur évènement déclencheur pour les crises terroristes	-233-
Figure 8.25 : Quantification de l'indicateur conséquences globales pour les crises terroristes	-234-
Figure 8.26 : Quantification de l'indicateur capacité de réaction des organisations	-235-
Figure 8.27 : Quantification des facteurs aggravants	-236-
Figure 8.28 : Le potentiel de crise des trois situations d'origine terroriste	-236-
Figure 8.29 : Qualification du comportement des retours d'expérience	-238-
Figure 8.30 : Les 3 REX qualifiés de crises de grande ampleur	-239-
Figure 8.31 : Les quatre REX qualifiés de crises conventionnelles	-240-
Figure 8.32 : Les sept REX qualifiés d'accidents majeurs	-241-
Figure 8.33 : Les 2 REX qualifiés d'incident par la méthode de Saaty	-242-
Figure 9.1 : Représentation de l'architecture 1	-249-
Figure 9.2 : Séparation linéaire de deux classes	-253-
Figure 9.3 : Représentation de l'architecture 3	-258-
Figure 9.4 : Résultats du Leave one out pour l'architecture 3	-259-
Figure 9.5 : Résultats après apprentissage (Architecture 3)	-260-
Figure 9.6 : Représentation de l'architecture 4	-262-
Figure 9.7 : Résultat du leave one out pour l'architecture 4	-264-
Figure 10.1 : Représentation en trois dimensions du potentiel de crise	-273-
Figure 10.2 : Organisation versus évènement déclencheur	-274-
Figure 10.3 : Organisation versus conséquences globales	-274-
Figure 10.4 : Conséquences globales versus évènement déclencheur	-274-
Figure 10.5 : Représentation 3D su système global de crise	-275-
Figure 10.6 : Système global de crise : Organisation Versus VIT	-276-
Figure 10.7 : Système global de crise : Organisation Versus Evd et conséquences	-276-
Figure 10.8 : Système global de crise : VIT Versus EvD et conséquences	-276-

Liste des tableaux

Partie I

Tableau 1.1 : Synthèse des dispositifs en fonction de la gravité de l'évènement (DDSC, 2006)	-29-
Tableau 2.1 : Caractéristiques des crises organisationnelles abruptes ou cumulatives	-46-
Tableau 2.2 : Synthèse des caractéristiques des crises	-49-
Tableau 2.3 : Les facteurs de vulnérabilité et de contingence influençant la nature des crises	-53-
Tableau 2.4 : La séquence des évènements concourant à créer une crise	-54-
Tableau 2.5 : Les 39 facteurs aggravants de la gestion de crise en province de Namur (Gatot, 2000)	-64-
Tableau 2.6 : Synthèse des paramètres influençant les comportements des organisations	-67-
Tableau 2.7 : Typologie des comportements des organisations lors d'un désastre (Quarantelli, 1966)	-69-
Tableau 2.8 : Les trois archétypes de gestion de crise (Lalonde, 2004)	-70-
Tableau 2.9 : Synthèse des caractéristiques du modèle d'évitement	-74-
Tableau 2.10 : Modèle générique adapté à la gestion des crises (Boutté, 2006)	-75-
Tableau 2.11 : Les causes d'une faible sensibilité à détecter et prendre en compte les signaux avertisseurs (Adapté de Wissema, 2002)	-80-
Tableau 4.1 : Réalité de la crise versus réalité de la planification actuelle (Mc Connell, 2006).	-105-

Partie II

Tableau 5.1 : Les différents types de modèles	-118-
Tableau 5.2 : Synthèse des trois niveaux de modélisation pour le système de crise	-120-
Tableau 5.3 : Synthèse des trois niveaux de modélisation de l'état initial	-122-
Tableau 5.4 : Les trois niveaux de modélisation de l'état de crise de grande ampleur	-123-
Tableau 5.5 : Catégories des enjeux humains	-129-
Tableau 5.6 : Catégories des enjeux environnementaux	-129-
Tableau 5.7 : Catégories des réseaux vitaux	-130-
Tableau 5.8 : Catégories d'acteurs	-131-
Tableau 5.9 : Facteurs de vulnérabilité des organisations	-131-
Tableau 5.10 : Synthèse des éléments caractérisant le potentiel danger	-133-

Tableau 5.11 : Synthèse des éléments d'évaluation de la capacité de réaction des organisations	-134-
Tableau 5.12 : Liste des facteurs aggravants	-136-
Tableau 5.13 : Synthèse des paramètres d'évaluation du potentiel de crise du système global	-138-
Tableau 6.1 : Les problématiques de références	-146-
Tableau 6.2 : Exemples des méthodes multicritères d'aide à la décision en fonction des approches retenues.	-146-
Tableau 6.3 : Echelle numérique de comparaison binaire	-152-
Tableau 6.4 : Comparatif des deux méthodes d'agrégation des avis et de pondérations des éléments.	-155-
Tableau 6.5 : Exemple d'obtention des pondérations	-155-
Tableau 7.1 : Cotation de la cinétique	-174-
Tableau 7.2 : Echelle de cotation de la gravité pour des phénomènes industriels	-174-
Tableau 7.3 : Echelle du critère importance spatiale	-175-
Tableau 7.4 : Echelle de cotation pour les effets domino	-175-
Tableau 7.5 : Echelle de cotation de la connaissance détenue par les acteurs	-175-
Tableau 7.6 : Echelle de vigilance météorologique	-176-
Tableau 7.7 : Echelle pour le critère vigicrue.	-176-
Tableau 7.8 : Cotation du nombre d'actes terroristes	-177-
Tableau 7.9 : Cotation du délai entre les actes terroristes.	-177-
Tableau 7.10 Cotation de la localisation des actes terroristes.	-177-
Tableau 7.11 : Cotation de la cinétique des évènements terroristes	-177-
Tableau 7.12 : Cotation des sur-accidents	-178-
Tableau 7.13 : Echelle de cotation des conséquences humaines	-178-
Tableau 7.14 : Echelle de cotation des conséquences environnementales	-179-
Tableau 7.15 : Echelle de cotation des conséquences sur les réseaux vitaux	-179-
Tableau 7.16 : Echelle de cotation de l'atteinte des capacités de réaction des organisations	-180-
Tableau 7.17 : Résultats des avis d'expert pour la qualification des retours d'expérience	-184-
Tableau 7.18 : Matrice de comparaisons binaires établie pour évaluer le potentiel de crise	-187-
Tableau 7.19 : Synthèse des entrées définies pour les réseaux de neurones	-200-

Partie III

Tableau 8.1 : Synthèse des pondérations	-209-
Tableau 8.2 : Comparatif des pondérations du potentiel de crise pour les trois types de situations	-223-

Tableau 9.1 : Sous détermination des séparations deux à deux	-250-
Tableau 9.2 : Résultats de la séparation des classes 1 et 2	-252-
Tableau 9.3 : Résultats de la séparation des classes un et trois.	-253-
Tableau 9.4 : Résultats de la séparation des classes 1 et4	-254-
Tableau 9.5 : Résultats de la séparation des classes deux et trois	-255-
Tableau 9.6 : Résultats de la séparation des classes deux et quatre	-255-
Tableau 9.7 : Résultats de la séparation des classes 3 et4	-255-
Tableau 9.8 : Classement des dix-huit retours d'expérience en fonction de l'architecture 3	-256-
Tableau 9.9 : Résultats d'apprentissage et de généralisation pour l'architecture 3	-261-
Tableau 9.10 : Performance de l'architecture 4	-265-
Tableau 10.1 : Synthèse des résultats – méthode de Saaty, réseaux de neurone et experts	-271-

Annotations utilisées

Sigles

BLEVE : Boiling Liquid Expanding Vapour Explosion
COD : Centre Opérationnel Départemental
COGIC : Centre Opérationnel de Gestion Interministérielle des Crises
COZ : Centre Opérationnel Zonal
CPCO : Centre de Planification et de Conduite des Opérations
DDAF : Direction Départemental de l'Agriculture et de la Forêt
DDE : Direction Départemental de l'Equipement
DDSC : Direction de la Défense et de la Sécurité Civiles
DGPN : Direction Générale de la Police Nationale
DICRIM : Document d'Information Communal sur les RISques Majeurs
DOS : Directeur des Opérations de Secours
DRIRE : Direction Régionale de l'Industrie, de la Recherche et de l'Environnement
EMZ : Etat Major de Zone
ERP : Etablissement Recevant du Public
FEMA : Federal Emergency Management Agency
GALA : Gestion d'Alerte Locale Automatisée
IRSN: Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire
MHM : Méthode de Hiérarchisation Multicritères
MIC: Monitoring and Information Centre
PC : Poste de Commandement
PCC : Poste de Commandement Communal
PCO : Poste de Commandement Opérationnel
PMA : Poste Médical Avancé
PPI : Plan Particulier d'Intervention
PSS : Plan de Secours Spécialisé
SAMU : Services d'Aide Médical d'Urgence
SDACR : Schéma Départemental d'Analyse et de Couverture des Risques
SDIS : Service Départemental d'Incendie et de Secours
SGDN : Secrétariat Général de la Défense Nationale
SHAPI : Service Central d'Hydrométéorologie et d'Appui à la Prévention des Inondations
SIDPC : Services Interministériels de Défense et de Protection Civile
SMUR : Services Mobile d'Urgence et de Réanimation

TMD : Transport de Matières Dangereuses

UIISC : Unité d'Instruction et d'Intervention de la Sécurité Civile

Symboles

e_n : Données d'entrées

v : Potentiel du neurone

f : Fonction d'activation d'un neurone

Σ : Somme pondérée des entrées

y : Fonction de sortie

θ : Coefficient synaptique