HAL open science

Introduction de connaissances relatives aux comportements des populations dans les systèmes d'alerte précoce

Maude Arru

▶ To cite this version:

Maude Arru. Introduction de connaissances relatives aux comportements des populations dans les systèmes d'alerte précoce. Environnements Informatiques pour l'Apprentissage Humain. Université Paris sciences et lettres, 2019. Français. NNT : 2019PSLED029 . tel-03220675

HAL Id: tel-03220675

https://theses.hal.science/tel-03220675

Submitted on 7 May 2021

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.

THÈSE DE DOCTORAT

de l'Université de recherche Paris Sciences et Lettres
PSL Research University

Préparée à l'Université Paris-Dauphine

Introduction de connaissances relatives aux comportements des populations dans les systèmes d'alerte précoce

École doctorale de Dauphine – ED 543

Spécialité INFORMATIQUE

COMPOSITION DU JURY :

Max CHEVALIER
Université de Toulouse
Rapporteur

Julie DUGDALE
Université Grenoble Alpes
Rapporteur

Denis BOUYSSOU
Université Paris-Dauphine
Membre du jury

André MIRALLES
Irstea Montpellier
Membre du jury

Caroline RIZZA
Télécom ParisTech
Membre du jury

Elsa NEGRE
Université Paris-Dauphine
Directrice de thèse

Camille ROSENTHAL-SABROUX
Université Paris-Dauphine
Directrice de thèse

Soutenue par **Maude ARRU**
le **05.11.2019**

Dirigée par **Camille ROSENTHAL-SABROUX et Elsa NEGRE**

DAUPHINE UNIVERSITÉ PARIS | PSL RESEARCH UNIVERSITY PARIS

Résumé

Cette thèse porte sur l'intégration de connaissances sur les comportements des populations dans la conception et l'évolution des systèmes d'alerte précoce, outils permettant de capter les signaux annonciateurs d'une crise pour les intégrer au cœur des processus de gestion de crise. L'objectif est, d'une part, de fournir un cadre de réflexion aux décideurs sur les questions de la sensibilisation des populations et de la prise en compte de leurs comportements en cas d'alerte, et, d'autre part, d'apporter une aide à la décision en cellule de crise sur les questions relatives à l'alerte et l'information aux populations, en proposant des éléments objectifs et contextualisés.

Dans ces travaux, les comportements des populations sont considérés sous l'angle de leurs déterminants environnementaux et individuels, caractérisés par une liste d'indicateurs pouvant être utilisés dans les systèmes d'alerte précoce. Basée sur ces indicateurs, nous proposons une démarche pour la conception d'un outil d'aide à la décision structurée en quatre étapes : identification des connaissances, structuration et recueil des données, génération d'un modèle de décision, utilisation et mise à jour du modèle.

La démarche s'inscrit dans une approche systémique fortement intégrée à son contexte de recherche, au carrefour entre positivisme et constructivisme. Elle répond à l'esprit du dispositif ORSEC (Organisation de la réponse de sécurité civile) réformé en 2004 par la loi de modernisation de la sécurité civile, qui fournit un cadre de réflexion et des recommandations générales sur la gestion de crise, transformant ainsi les approches précédentes, davantage orientées processus et scénarios.

Mots-clés

Systèmes d'alerte précoce, Aide à la décision, Modélisation des comportements, Gestion de crise, Management des connaissances.

REMERCIEMENTS

J'aimerais remercier avant tout une amie sans qui je ne me serais jamais lancée dans cette thèse et à qui je resterai infiniment reconnaissante. Merci Béla.

Je remercie mes directrices de thèse, Camille et Elsa, qui m'ont fait confiance pendant ces quatre années. J'ai eu beaucoup de chance d'être accompagnée par deux personnes aussi complémentaires. Je remercie également mon laboratoire, le Lamsade, qui m'a permis de réaliser cette thèse dans de très bonnes conditions, et les membres du groupe de travail Sigecad pour leur accueil et les débats animés qui ont pour beaucoup contribué à ma motivation.

Merci, une nouvelle fois, à Max Chevalier, Julie Dugdale, Denis Bouyssou, André Miralles et Caroline Rizza pour avoir accepté de faire partie de mon jury, pour vos remarques et les multiples et fructueux échanges que nous avons eus.

Je remercie toutes les personnes qui m'ont donné matière à progresser dans mes travaux pendant ces années, à la Direction générale de la sécurité civile et de la gestion des crises, merci en particulier à Ludovic Pinganaud et Sandra Guthleben pour votre aide et les portes que vous m'avez ouvertes, aux services de la sécurité civile de la préfecture de Verdun, Michel Lacote, Karine Fievet, Christophe Ithier et de la sous-préfecture de Grasse, Corinne Tardy. Merci encore à François-Xavier Dudouet et à Juliette Rouchier, pour votre aide sur des thématiques qui m'étaient étrangères. Je remercie Aurélie Fradin, directrice du lycée Sainte Anne de Verdun, qui s'est impliquée très activement dans l'enquête menée dans ses locaux, enfin merci à Samuel Gesret pour m'avoir fait profiter de son expérience sur des crises vécues. Merci également à l'équipe du projet de recherche Euridice, sous la direction de Valérie November et de Laurence Créton-Cazanave pour leurs suggestions, et pour m'avoir intégré dans le projet Sequana 2016 qui fut riche d'enseignements et qui a amené de nombreuses discussions sur la gestion de crises en France. Je

remercie l'équipe de direction de l'école thématique « Social Networks and Crisis Management », Caroline Rizza, Anouck Adrot, Valérie November et Elsa Negre pour la qualité des rencontres et des réflexions qui m'ont beaucoup apporté.

Cette thèse a été pour moi avant tout une découverte humaine et des moments inoubliables grâce aux doctorants et aux membres du Lamsade que j'ai rencontrés. Je remercie en particulier Satya, Anaëlle, Fabien, Olivier, Brice, Pedro, Hossein, Paul-Henri, Anne, Hiba et Mehdi. Merci également à Thomas, Ian, Myriam, Linda, Zahra, Saeed, Stéphane, Antoine, Céline, Justin, Diana, Tom, Nathanaël, Marcel, Georges, et j'en oublie...

Enfin merci à toi, Christophe.

TABLE DES MATIÈRES

Remerciements **i**

Table des matières **iii**

Liste des figures **vii**

Liste des tableaux **x**

1 Introduction **1**

1.1 Les populations à l'épreuve des crises 1

1.1.1 Des enjeux humains et matériels avérés 1

1.1.2 Vulnérabilité et résilience des sociétés modernes 4

1.1.3 Intégration progressive des enjeux de résilience des populations en France 7

1.2 Des constats à la problématique 10

1.2.1 Faiblesses du système d'alerte précoce national en France . . 10

1.2.2 Une prise en compte insuffisante des populations dans les EWS à l'échelle mondiale 13

1.2.3 Problématique 15

1.3 Positionnement épistémologique 18

1.4 Synthèse 19

1.5 Plan détaillé 20

2 Cadre contextuel : gestion de crise et systèmes d'alerte précoce 22

2.1 Gestion de crise 23

2.1.1 Les concepts de crise et de gestion de crise 23

2.1.2 Typologies des risques 25

2.1.3 Problématiques liées à la gestion des connaissances 27

2.1.4 Les décisions de crise 29

2.2 Les Systèmes d'Alerte Précoce (EWS) 33

2.2.1 Principes généraux 34

2.2.2 La réponse à l'alerte 36

2.2.3 Diversité des EWS 37

2.2.4 Caractéristiques communes aux EWS 42

2.2.5 Causes fréquentes de l'inefficacité de l'alerte 44

2.3 Cadre général de l'alerte en France 46

2.3.1 La gestion de crise en France 46

2.3.2 Un système national pour l'alerte précoce aux populations . 48

2.3.3 Le processus général de décision de l'alerte 49

2.4 Synthèse 51

3 État de l'art 53

3.1 Différentes approches de l'aide à la décision 54

3.1.1 De l'apport de connaissances à l'aide à la décision 54

3.1.2 Approches non explicatives 58

3.1.3 Approches explicatives 61

3.1.4 Comparatif 65

3.1.5 Synthèse et conclusion sur les approches d'aide à la décision 68

3.2 Comportements des populations en situation de crise 69

3.2.1 Modélisation du comportement 69

3.2.2 Comportements spécifiques en situation de crise 75

3.2.3 Synthèse et conclusion 83

3.3 De l'état de l'art à nos travaux 83

4 Démarche pour la conception d'un outil d'aide à la décision 85

4.1 Périmètre des enjeux de décision en question 86

4.2 Présentation synthétique de la démarche 88

4.3 La démarche étape par étape 91

4.3.1 Première étape : Identification des connaissances 91

4.3.2 Deuxième étape : Structuration et recueil des données 104

4.3.3 Troisième étape : Génération d'un modèle de décision 110

4.3.4 Quatrième étape : Utilisation et mise à jour du modèle . . . 111

4.4 Enjeux éthiques associés 111

4.5 Synthèse 112

5 Trois applications de la démarche 114

5.1 Perception du système d'alerte incendie de l'Université Paris-Dauphine 116

5.1.1 Présentation du système d'alerte incendie de l'Université Paris-Dauphine 116

5.1.2 Recueil des données relatives à la perception du système . . 117

5.1.3 Résultats quantitatifs 119

5.1.4 Résultats qualitatifs 123

5.2 Réactions des populations à un exercice de sécurité civile 124

5.2.1 Présentation de l'exercice PPI (Plan particulier d'intervention) des établissements Inéos du 22 mars 2017 125

5.2.2 Recueil des données relatives aux réactions des populations . 127

5.2.3 Analyse croisée sur différents indicateurs 128

5.2.4 Interprétation des résultats 136

5.3 Génération d'un modèle de décision à partir de cas d'accidents technologiques 137

5.3.1 Recueil des données de contexte (étape 2) 137

5.3.2 Choix des algorithmes utilisés (étape 3) 139

5.3.3 Génération des modèles de décision (étape 3) 139

5.3.4 Interprétation des résultats (étape 4) 142

5.4 Synthèse 144

6 Conclusion et perspectives 145

6.1 Synthèse de la recherche 146
6.1.1 Présentation et analyse des résultats 146
6.1.2 Retour sur la problématique 148
6.2 Perspectives 149
6.2.1 Questionnement sur la structure du système d'alerte français 149
6.2.2 Extensions à de nouveaux enjeux de décision 153

A Questionnaires **154**
A.1 Questionnaire utilisé pour interroger les populations suite à un exercice de sécurité civile 154
A.2 Questionnaire générique à destination des populations ayant vécu une crise majeure 159

Glossaire **163**

Références **163**

LISTE DES FIGURES

1.1 Exposition des populations aux risques climatiques en 2016 [1][DGPR, 2019] 2

1.2 Les communes à risques technologiques en 2011 [2][DGPR, 2011] . . . 4

1.3 Nombre d'articles issus de Web of Science [3]qui intègrent les termes de résilience et de vulnérabilité en association avec les termes d'aménagement, géographie ou urbanisme 6

1.4 Nombre d'articles issus de la Base Factiva [4]qui intègrent les termes de résilience et de vulnérabilité en association avec les termes d'aménagement, géographie ou urbanisme 7

1.5 Architecture technique du projet de Système d'alerte et d'information aux populations (SAIP) [Voguel, 2017] 11

1.6 Facteurs d'impact sur les conséquences d'une crise 16

1.7 La démarche d'aide à la décision en quatre grandes étapes 17

2.1 Le « cycle de la gestion des risques » [Tacnet et al., 2010] 28

2.2 Plusieurs représentations du même concept de risque à partir de la fréquence d'un aléa, son intensité et des dommages potentiels [Tacnet et al., 2010] 35

2.3 Chronologie de la diffusion de l'alerte et de l'information des populations en situation de crise [DGSCGC, 2013a] 38

2.4 Correspondance entre un type de crise donné et le système d'alerte approprié pour y répondre [Arru et al., 2016c] 39

2.5 Classification des EWS 41
2.6 La gestion de crise en France, une organisation hiérarchique [DGSCGC, 2006] 46

3.1 Réseau de neurones multicouches [Zighed and Rakotomalala, 2002] . 58
3.2 Réseau bayésien simplifié modélisant un contexte de déclenchement d'une alarme [Leray, 2008] 60
3.3 Arbre de décision à deux niveaux 62
3.4 Régression linaire - droite d'ajustement des moindres carrés 63
3.5 Plans factoriels discriminants [Zighed and Rakotomalala, 2002] . . . 65
3.6 Classification d'une nouvelle observation 66
3.7 Le modèle OCC original [Ortony et al., 1990] 72
3.8 Architecture BDI [Bratman, 1987] 74
3.9 Typologie des comportements observés selon la temporalité de la catastrophe [Provitolo et al., 2015] 82

4.1 La démarche d'aide à la décision en quatre grandes étapes 89
4.2 Une démarche en quatre étapes 90
4.3 Les trois temporalités différentes dans la mise en œuvre de la démarche 90
4.4 Représentation synthétique des facteurs regroupés par unité et par catégorie en section 4.3.1 99

5.1 Capture d'écran du formulaire de l'étude sur la perception du système d'alerte de l'Université Paris-Dauphine 118
5.2 Distribution des participants selon trois critères (âge, statut et sexe) 119
5.3 Positionnement des résultats de l'indicateur de perception des EWS selon les scores obtenus 122
5.4 Les 26 communes de la communauté d'agglomération du Grand Verdun 126
5.5 Âge des participants (en %) 129
5.6 Catégorie socio-professionnelles des participants (en %) 129
5.7 Lieu de résidence des participants (en %) 130
5.8 Traits de personnalité représentatifs des participants (> 5 % des réponses) 130
5.9 Niveau de risque estimé par les participants lorsque l'alerte est déclenchée en dehors d'un exercice (en %) 131

5.10 Niveau de risque estimé par les participants lorsque l'alerte est déclenchée en dehors d'un exercice en fonction de l'âge des participants (en %) 132
5.11 Activités lors du déclenchement de l'alerte (en %) 132
5.12 Actions menées par des participants qui se sont sentis responsables de personnes proches ou inconnues (en %) 133
5.13 Actions menées par des participants qui se sont sentis responsables de personnes proches ou inconnues selon leur personnalité (en %) . 134
5.14 Émotions ressenties lors de la réception de l'alerte (en %) 135
5.15 Temps écoulé entre le déclenchement de l'alerte et les actions des participants (en %) 135
5.16 Temps écoulé entre le déclenchement de l'alerte et les actions des participants en fonction de leur âge (en %) 136
5.17 Arbre de décision obtenu à partir de l'algorithme J48-C4.5 141
5.18 Arbre de décision obtenu à partir de l'algorithme RandomTree . . . 141

6.1 Représentation séquentielle de la suite d'événements relatifs à la crise, des actions de protection à destination des populations et des réactions des populations 153

LISTE DES TABLEAUX

2.1 Exemples d'aléas pour chacune des catégories des systèmes d'alerte [Mileti and Sorensen, 1990] 40

2.2 Comparatif des moyens d'alerte et d'information 49

3.1 Comparatif des approches présentées 67

3.2 Synthèse de la littérature sur les variables discriminantes en cas d'évacuation. 77

4.1 Indicateurs liés à l'environnement 100

4.2 Indicateurs liés aux individus 101

4.3 Sources des indicateurs relatifs à l'environnement (S pour statique, D pour dynamique) 105

4.4 Sources des indicateurs liés aux individus (S pour statique, D pour dynamique) 106

5.1 Scores de perception moyens détaillés par question et par catégorie de participants 120

5.2 Scores du sentiment détaillés par question 121

5.3 Correspondance entre les scores et les résultats de l'indicateur de perception des EWS 122

5.4 Indicateurs recueillis sur les neuf accidents technologiques constituant le jeu de données et valeurs associées 140

5.5 Tableau de comparaison des résultats de la classification par les algorithmes J48 – C4.5 et RandomTree 142

6.1 Matrice SWOT sur les fonctionnalités des systèmes « reconnus » découlant de leurs structures 152

CHAPITRE 1

INTRODUCTION

Ce chapitre présente le contexte de la thèse. Dans un premier temps, nous précisons quels sont les enjeux directs des crises pour les populations et les raisons pour lesquelles les populations sont aujourd'hui de plus en plus vulnérables pour y faire face. Nous précisons ensuite les motivations de nos travaux, qui concernent plus spécifiquement l'amélioration des systèmes d'alerte précoce (EWS), éléments aujourd'hui essentiels dans les différentes étapes de la gestion de crise. Les motivations de nos travaux ont été établies à partir de différents constats sur les limites identifiées des systèmes existants sur le plan national et international. Cette introduction se poursuit avec une présentation de la méthodologie qui a été mise en œuvre pour développer une démarche d'aide à la décision qui a pour but d'améliorer les EWS. Le chapitre se termine enfin avec le plan détaillé du document.

1.1 Les populations à l'épreuve des crises

1.1.1 Des enjeux humains et matériels avérés

En 2016, la communauté mondiale a investi près de 27 milliards de dollars d'assistance humanitaire pour aider les personnes touchées par des crises (en réponse principalement à des inondations, sécheresses, tempêtes, tremblements de terre ou épidémies) [Lattimer and Swithern, 2017]. Cette aide ne cesse d'augmenter pour répondre en grande partie à l'augmentation du nombre de catastrophes naturelles. En effet, plus de 1100 catastrophes naturelles ont été recensées en 2017

à travers le monde selon l'Observatoire des Catastrophes Naturelles, contre seulement 599 en 2002. A l'échelle mondiale, un nombre croissant de professionnels et de bénévoles s'efforce d'aider à limiter les conséquences des crises, en termes de nombre de vies perdues, de dommages économiques et de personnes affectées [Gaillard and Mercer, 2013], mais celles-ci continuent à croitre.

En France, les risques naturels : inondations, submersions marines et érosions côtières, tempêtes et cyclones, séismes, mouvements de terrain, feux de forêt, éruptions volcaniques et avalanches, etc. et les risques technologiques : risques industriels, nucléaires, transports de matières dangereuses, risques miniers, ruptures de barrage, etc. sont répartis sur tout le territoire. Les figures 1.1 et 1.2 en sont l'illustration, les risques n'épargnent aucune région française. Entre 1982 et 2016, quatre cinquièmes des communes françaises ont été reconnues en état de catastrophe naturelle au moins une fois, représentant un cumul de 107 700 reconnaissances de communes en état de catastrophe naturelle [Insee, 2017].

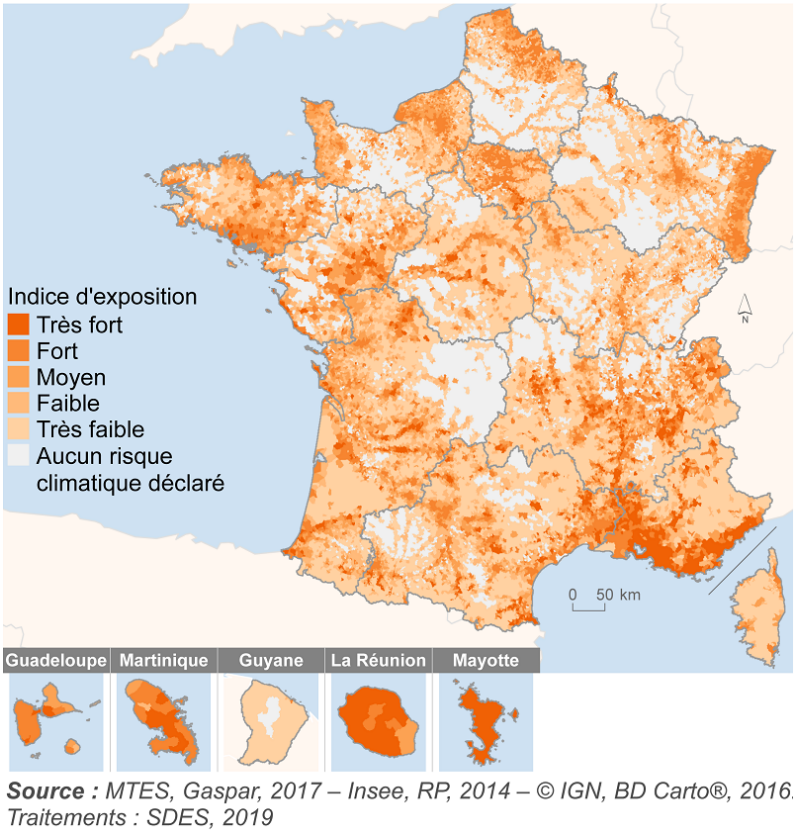


FIGURE 1.1 – Exposition des populations aux risques climatiques en 2016 [1][DGPR, 2019]

1. L'exposition des populations aux risques naturels liés au climat croise des données relatives à la densité de population de chaque commune en France au nombre de risques naturels

Ce constat n'est pas sans conséquences, les dégâts économiques dus aux catastrophes naturelles et aux accidents technologiques sont considérables. Le coût cumulé des dommages assurés liés aux catastrophes naturelles entre 1988 et 2011 a été estimé par la Fédération française des sociétés d'assurances (devenue depuis juillet 2016 la Fédération française de l'assurance par fusion avec le Groupement des entreprises mutuelles d'assurances) à 16 milliards d'euros. Les inondations, dont le risque en particulier couvre tout le territoire, en représentent 46% [2]. Dans le même temps, selon le Commissariat général au développement durable [3] qui fournit annuellement des statistiques précises sur le sujet, les coûts liés à ces catastrophes ne cessent de croître. Le coût par exemple d'une inondation majeure en région parisienne qui en 1910 a représenté l'équivalent de 1,7 milliards serait aujourd'hui multiplié par 10 et toucherait environ 800 000 personnes pour une inondation équivalente [Reghezza, 2006]. Cette évolution est due à l'augmentation de la fréquence des sinistres mais aussi et surtout à l'augmentation des richesses dans les zones à risques.

Malgré le nombre croissant de publications et de connaissances acquises sur le risque, la vulnérabilité des populations, la résilience et les systèmes d'alerte précoce (EWS), les pratiques de gestion des crises restent des sujets extrêmement délicats à penser et à mettre en œuvre [Lagadec, 1991]. En effet, d'une part les crises sont considérées comme des événements à caractère exceptionnel, et d'autre part, pour gérer une crise, un nombre important d'acteurs doit statuer sur des signaux d'alerte qui sont souvent le résultat d'une analyse de processus complexes. Or, plus la complexité des processus sera importante et plus les acteurs seront nombreux et de cultures différentes, plus la gestion d'une crise sera délicate à appréhender.

Face à ces différents constats, les états membres des Nations Unies se sont engagés, lors de la troisième Conférence mondiale de l'Organisation des Nations Unies (ONU) tenue à Sendai en 2015, à réduire la mortalité due aux catastrophes et les pertes économiques directes d'ici 2030. Ces objectifs sont précisés dans cadre d'action de Sendai pour la réduction des risques de catastrophe 2015-2030 [ONU, 2015].

prévisibles recensés dans la même commune (inondations, feux de forêts, tempêtes, avalanches et mouvements de terrain). Les données correspondantes font partie de la base de données GASPAR (Base nationale de gestion assistée des procédures administratives relatives aux risques). https ://www.ecologique-solidaire.gouv.fr/impacts-du-changement-climatique-sante-et-societe

2. https ://www.ffa-assurance.fr/chiffre-cle

3. http ://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr

4. La liste des communes à risques est établie par les services préfectoraux, à partir des données des Dossiers départementaux sur les risques majeurs (DDRM). Cette liste fait partie de la base de données GASPAR. http ://www.donnees.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/lesessentiels/essentiels/risques-techno.html

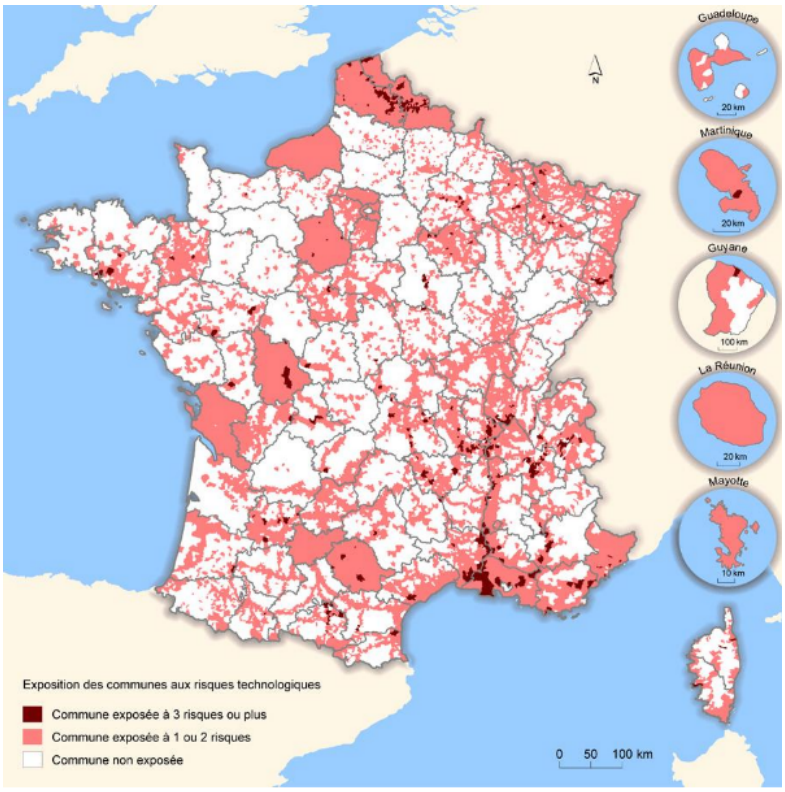


FIGURE 1.2 – Les communes à risques technologiques en 2011 [4][DGPR, 2011]

1.1.2 Vulnérabilité et résilience des sociétés modernes

1.1.2.1 Une vulnérabilité grandissante

Les sociétés modernes sont de plus en plus fragiles face aux crises. Pour prendre l'exemple des inondations, le constat a pu notamment en être fait à l'occasion de l'exercice SEQUANA [November and Créton-Cazanave, 2017] organisé en mars 2016 par la préfecture de police de la ville de Paris. Cet exercice d'une ampleur quasi-inédite en France et en Europe a fait participer plusieurs centaines d'organisations autour de la simulation d'une inondation majeure de la Seine et de la Marne pendant deux semaines [November and Créton-Cazanave, 2017]. Cet exercice a permis de comparer les conséquences de la crue de 1910 avec celles d'une crue similaire sur le même territoire et de même ampleur qui surviendrait à notre époque pour en tirer des enseignements. Une grande leçon de cet exercice a été de constater que les conséquences sociales et économiques d'une telle inondation seraient extrêmement plus importantes aujourd'hui. La multiplication des réseaux complexes (éléctricité, télécommunications, etc), l'affaiblissement des

solidarités interpersonnelles et intergénérationnelles, le manque de connaissances de la part des populations sur leur exposition au risque et sur leurs responsabilités en situation de crise majeure et la métropolisation sont autant de facteurs qui fragilisent les sociétés [Reghezza-Zitt, 2012]. Ces constats qui ont été faits à l'issue de l'exercice SEQUANA sont généralisables et font aujourd'hui l'objet de nombreuses études sur la vulnérabilité des populations pour faire face aux crises [Donner and Rodríguez, 2008, Uitto, 1998, Barredo, 2009].

La vulnérabilité est aujourd'hui au cœur de toutes les études sur le risque, tant dans le domaine de la biologie ou de la physique que dans celui des sciences humaines. Pour revenir aux origines du terme, la vulnérabilité désigne dans l'approche biochimique, l'évaluation des dommages potentiels à partir des critères d'impact, de fragilité et d'exposition au risque. Elle se dinstingue ainsi des approches dites « sociales » qui s'intéressent de manière plus ciblée à la capacité d'une société à anticiper l'aléa, à faire face à l'urgence, à adapter un comportement en temps de crise, et à se reconstruire [Barroca et al., 2013].

1.1.2.2 Vulnérabilité et résilience : deux concepts voisins à ne pas confondre

La résilience est un terme de plus en plus utilisé dans les publications liées aux risques. Alors que ce concept de résilience correspondait originellement à la « capacité pour un corps de retrouver son état initial après une déformation causée par un stress et/ou la capacité de remonter, de se remettre ou de s'adapter facilement au malheur ou au changement » [Barroca et al., 2013], il évolue depuis quelques années vers une définition plus globale. Des enjeux de vulnérabilité y sont progressivement intégrés. Le terme de vulnérabilité a ainsi été progressivement accompagné ces dernières années par le terme de résilience en introduisant une forme de concept flou, ou à géométrie variable [Provitolo, 2009].

La prise de conscience des enjeux de résilience dans la gestion des risques s'observe dans les milieux académiques par une augmentation significative du nombre d'articles publiés sur le sujet depuis 1995 (figures 1.3 et 1.4). Cette évolution répond à la proclamation par l'ONU de la période 1990-1999 comme décennie internationale pour la prévention des catastrophes naturelles (DIPCN). Dans le cadre de cette décennie, l'ONU a fortement encouragé la prise en compte de la résilience pour améliorer la gestion des crises et continue de le faire dans le cadre de la mise en œuvre du Cadre de Sendai pour la Réduction des Risques de Catastrophes 2015-2030. Les objectifs de ces plans de renforcement de la résilience communautaire sont de « prévoir, planifier et réduire les risques de catastrophe pour mieux protéger les êtres humains, les collectivités et les pays, leurs moyens de subsistance, leur santé, leur patrimoine culturel, leurs biens socioéconomiques et leurs écosystèmes, et améliorer ainsi leur résilience » [ONU, 2015]. Une autre raison qui peut permettre d'expliquer

cette évolution est la prise de conscience des besoins des sociétés actuelles à prendre des mesures globales qui permettent de consolider et de structurer une réponse pour faire face à des risques diffus tels que les aléas climatiques ou les conséquences de la pollution urbaine [Dauphiné and Provitolo, 2007].

S'il semble intéressant de prime abord d'opter pour une approche globale du risque en s'intéressant conjointement aux faiblessses du système et à sa capacité « dynamique » à absorber les risques pour rebondir, une approche différenciée peut permettre plus de clarté sur les différentes mesures proposées pour répondre à ces deux enjeux. Certes, il est important d'envisager dans le rapport au risque ces deux aspects de la capacité des systèmes, mais l'effet de mode consistant à utiliser le terme de résilience pour ces deux objets nécessite des précautions [Reghezza-Zitt et al., 2012]. Les deux termes seront donc utilisés de manière différenciée dans ce document.

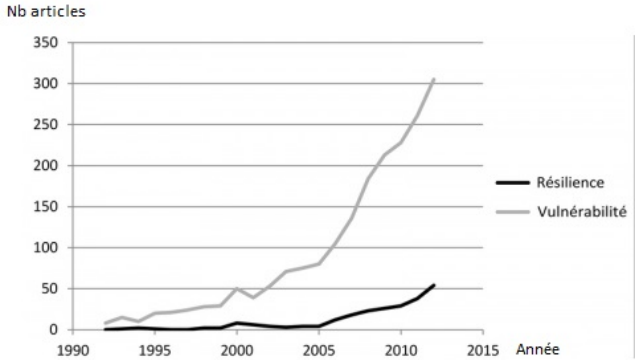


FIGURE 1.3 – Nombre d'articles issus de Web of Science [5]qui intègrent les termes de résilience et de vulnérabilité en association avec les termes d'aménagement, géographie ou urbanisme

1.1.2.3 Les comportements des populations : un facteur de vulnérabilité et un enjeu de résilience

Dans la gestion globale des risques, des mesures de réduction de la vulnérabilité sont ainsi de plus en plus proposées. Dans cette thèse, nous nous intéressons aux mesures de réduction de la vulnérabilité sociale, qui concernent notamment la capacité des populations à faire face au risque à travers leurs comportements.

5. Web of sciences est une base de données scientifique donnant accès aux références d'articles de plus de 10 000 revues multidisciplinaires (sciences et techniques, sciences économiques et sociales, sciences humaines, arts..) et de plus de 120 000 actes de conférences.

6. Factiva est une base de données qui concerne l'actualité internationale, donnant accès en texte intégral à une grande partie de la presse généraliste et économique de plus de 150 pays (telle que Médiapart, Libération, Le Figaro, Les Echos, The New York Times, El Païs).

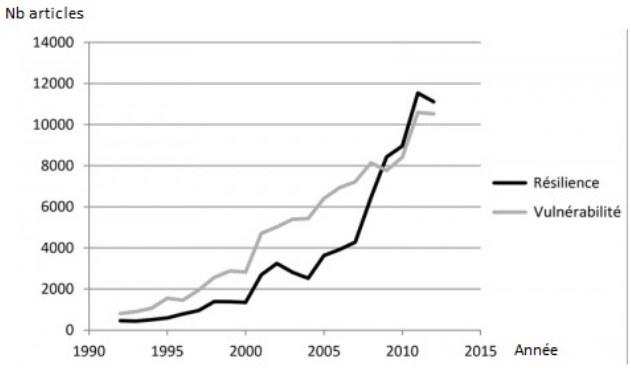


FIGURE 1.4 – Nombre d'articles issus de la Base Factiva [6] qui intègrent les termes de résilience et de vulnérabilité en association avec les termes d'aménagement, géographie ou urbanisme

Nous considérons ici les comportements des populations en réaction à une alerte ou à une crise autant comme un facteur de vulnérabilité des sociétés que comme un enjeu de résilience. En effet, certaines tendances individuelles ou mouvements collectifs, tels que des phénomènes de panique, des réactions individualistes ou la diffusion de rumeurs, peuvent à la fois nuire à la réponse lors d'une crise et avoir des conséquences fortes à plus long terme. Ces conséquences peuvent être diverses, psychologiques, politiques ou économiques par exemple, et rendre difficile le retour à une situation normale.

Dans ce document, nous ne considérons pas la résilience dans son sens classique, qui correspond à la capacité d'un objet à intégrer dans son fonctionnement une perturbation et à se remettre d'un choc pour revenir à son état initial [Kastler et al., 1991]. Nous y intégrons également la capacité du système à rebondir et à se transformer pour devenir moins vulnérable.

1.1.3 Intégration progressive des enjeux de résilience des populations en France

1.1.3.1 Obstacles à la diffusion de nouvelles pratiques de gestion de crise axées sur les populations

Plusieurs concepts tels que la résilience des populations ou la résilience communautaire ont émergé ces dernières années, accompagnés en France de diverses initiatives telles que la participation des populations aux exercices de sécurité civile, afin de réinvestir les populations dans la gestion des crises. Or, des verrous opérationnels et scientifiques freinent la diffusion de ces bonnes pratiques. Les craintes de panique, de pillage et d'indifférence impactent l'attitude des secours profession-

nels et des dirigeants envers les civils confrontés à une catastrophe. Ce point de vue subjectif et pessimiste peut entrainer des décisions politiques prises au détriment des populations sinistrées [Richard and Laclemence, 2014]. Ces craintes ont pour conséquence des plans de préparation et de gestion des crises qui prennent malheureusement trop peu en compte le rôle des populations et cherchent à les garder éloignées [Oberijé, 2007]. Différents retours d'expérience sur des événements majeurs et exceptionnels ont pourtant permis de dresser trois constats importants concernant directement les populations [Richard and Laclemence, 2014]. Premièrement, l'action des secours organisés nécessite un délai de mise en œuvre durant lequel la population est livrée à elle-même. Deuxièmement, si de nombreuses pertes sont dues à des réactions inappropriées, des comportements qui sauvent sont dans le même temps mis en œuvre, et des initiatives de solidarité émergent. Malgré le manque de connaissances sur les comportements des populations en situation de crise, l'analyse des solidarités et des initiatives d'entraide spontanée constitue d'ailleurs aujourd'hui un enjeu majeur dans la conduite des opérations de gestion de crise en France. Enfin, la numérisation des échanges, en temps réel, constitue un levier d'information et de mobilisation majeur pour la population. Ce dernier constat étant à relativiser du fait de la dépendance de ce type d'échanges aux réseaux téléphonique et électrique. En cas de rupture du réseau téléphonique, bien que ce soit un événement relativement rare, l'estimation des dégâts et l'organisation des secours sont gravement impactées. Les populations ont pu en faire l'expérience lors du passage de l'ouragan Irma dans les villes de Saint-Martin et Saint-Barthélémy [7] en 2017.

1.1.3.2 Des mesures concrètes pour une meilleure intégration des populations dans la réponse aux crises

La prise de conscience des enjeux de résilience par les acteurs français s'est également traduite par des mesures opérationnelles concrètes. Celles-ci ont notamment été engagées suite à la promulgation de la loi du 13 août 2004 de modernisation de la sécurité civile. En effet, cette loi encourage des actions visant à responsabiliser le citoyen, allant à l'encontre du paradigme du « tout protection » par l'État, qui, en France, a historiquement conduit à l'idée qu'il était possible de protéger les populations des crises de manière absolue [Beucher and Reghezza-Zitt, 2008]. La loi de modernisation de la sécurité civile propose également de penser les enjeux de la gestion de crise de manière globale. Les risques ne sont plus seulement envisagés indépendamment les uns des autres en terme de procédures et de processus spécifiques mais de manière holistique par rapport aux enjeux qui y sont associés :

7. Îles françaises situées au nord des Petites Antilles.

> « La politique de sécurité civile doit permettre de s'attaquer résolument aux risques en les anticipant davantage, de refonder la protection des populations et de mobiliser tous les moyens encourageant les solidarités (...)
>
> La sécurité civile est l'affaire de tous. Tout citoyen y concourt par son comportement. Une véritable culture de la préparation au risque et à la menace doit être développée (...)
>
> Le plan ORSEC [8] s'articulera désormais autour d'une organisation de gestion de crise commune et simplifiée, assortie d'un recensement des risques. L'organisation des secours se composera des dispositions générales et modulables de gestion de crise applicables en toutes circonstances (tronc commun ORSEC) et des dispositions spécifiques propres à certains risques préalablement identifiés, complétant les dispositions générales (les plans de secours spécialisés, les plans particuliers d'intervention, le plan rouge [9], etc.) (...)
>
> Refonder la notion de protection des populations, c'est confirmer que la personne secourue est au cœur de toute politique de sécurité civile. Mais c'est aussi pouvoir compter sur le comportement de citoyens informés et responsables, préparés à affronter les risques et les menaces par une connaissance effective du danger et des consignes de prévention et de protection, et capables de s'intégrer utilement dans l'organisation collective au stade de la réponse. »

Ainsi, des efforts ont été faits en terme de communication institutionnelle, à travers une refonte du système d'alerte notamment, par l'intégration d'outils numériques avec une application dédiée à l'alerte aux populations (mise en téléchargement en juin 2016), et à travers des communications de plus en plus diversifiées sur les sites institutionnels, mais également sur les réseaux sociaux comme Twitter ou Facebook plus récemment. Les efforts ont également porté sur les exercices de sécurité civile qui intègrent de plus en plus la participation des populations.

Pour une réelle efficacité, la prise en compte de ces enjeux de résilience doit être intégrée à chaque étape de la gestion de crise, que ce soit pendant la phase de prévention, de préparation à la crise, de réponse, de post-crise et de réparation. Pour chacune de ces étapes, des mesures spécifiques doivent être envisagées, dont certaines ont commencé à être mises en place en France. Nous intégrons dans ces mesures à envisager les apports de l'aide à la décision et de la gestion des connaissances.

8. Organisation de la réponse de sécurité civile

9. Le plan rouge, aujourd'hui appelé plan NOVI, est un plan d'urgence destiné à secourir un nombre important de victimes dans un même lieu.

1.2 Des constats à la problématique

L'objectif de ce document est d'apporter une réponse aux besoins de résilience des populations en situation de crise. Il repose sur plusieurs constats non exhaustifs quant aux faiblesses du système d'alerte français et la prise en compte insuffisante des comportements des populations dans la gestion de crise à une échelle internationale.

Ce document porte uniquement sur l'alerte aux populations, qui doit être pensée dans les étapes de prévention, de préparation et de réponse à une crise. Nous limitons le champ d'étude aux crises majeures qui peuvent avoir lieu sur le territoire français et qui relèvent du plan ORSEC départemental. De manière plus restreinte, nous nous intéressons aux crises involontaires, à cinétique rapide, dont les premiers signaux sont perceptibles par les populations et pour lesquelles l'alerte a un rôle majeur. Les inondations à cinétique rapide, les accidents technologiques dont des signaux en annoncent l'imminence, les tremblements de terre, incendies ou épidémies sont quelques exemples de crises qui correspondent aux critères précités. Nous excluons du champ d'étude les crises liées à un conflit ou à une intention telles que les guerres, les attaques terroristes ou les émeutes qui génèrent des représentations collectives particulières.

1.2.1 Faiblesses du système d'alerte précoce national en France

Nous ne nous intéressons ici qu'au système national français, en excluant la multiplicité de systèmes mis en place à des échelles locales, municipales ou départementales, généralement limités à un seul type de risque et faisant appel à des procédures spécifiques.

1.2.1.1 Bref historique de l'alerte en France

Avant la seconde guerre mondiale, le moyen pour alerter les populations face à un risque majeur était le tocsin qui interrompait l'activité sociale des populations et leur permettait de réagir rapidement. Il a été ensuite progressivement remplacé par des sirènes qui constituent depuis 1948 le RNA (Réseau national d'alerte). Ces sirènes étaient initialement conçues pour protéger spécifiquement les gens contre les menaces aériennes. Le système national d'alerte repose aujourd'hui encore sur le réseau de sirènes constituant le RNA. Ce réseau est pourtant largement insuffisant : les sirènes sont en partie obsolètes, ne couvrent pas l'ensemble du territoire, ne permettent pas d'informer les populations et ne sont pas synchronisées avec l'ensemble des autres moyens d'alerte [DGSCGC, 2013a, Voguel, 2017]. Le projet

SAIP (Système d'alerte et d'information aux populations) a ainsi vu le jour pour pallier ces insuffisances, dont les premières expérimentations ont eu lieu courant 2009. Ce projet consiste à permettre le déclenchement de l'ensemble des moyens d'alerte pertinents sur une plate-forme unique comme indiqué figure 1.5.

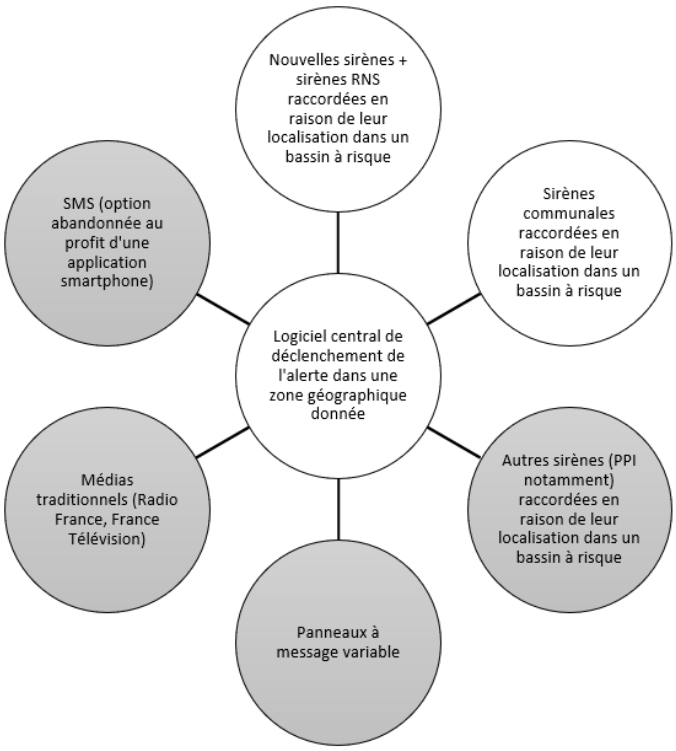


FIGURE 1.5 – Architecture technique du projet de Système d'alerte et d'information aux populations (SAIP) [Voguel, 2017]
Les parties grisées correspondent aux volets dont la mise en œuvre n'avait pas commencée en 2017.

Suite aux attaques terroristes en France en janvier et novembre 2015, la solution technique permettant la diffusion, en toutes circonstances, de SMS d'alerte et d'information en liaison avec les opérateurs de téléphonie mobile a été remplacée, en 2015, et dans la perspective de l'« Euro 2016 », par le développement d'une application smartphone en libre téléchargement sur l'Apple Store et sur Google Play. Cette application permettait d'envoyer des notifications géolocalisées aux personnes présentes sur une zone touchée par une crise majeure de sécurité civile.

D'autres moyens d'alerte, qui évoluent avec le développement des outils de communication, complètent ce réseau, tels que les automates d'appel, les mégaphones ou les envois d'email, qui permettent à un niveau plus local d'alerter les populations.

1.2.1.2 Critiques du système d'alerte précoce national actuel

Le système d'alerte français fait depuis quelques années l'objet de nombreuses critiques [Voguel, 2017, Kouadio and Douvinet, 2016, Douvinet et al., 2017], il est régulièrement qualifié de « vétuste » [Calvet and Manable, 2015] ou obsolète. Les critiques portent sur deux points majeurs, celui des moyens d'alerte d'une part et celui de l'éducation aux populations sur les risques auxquels elles sont exposées d'autre part. Dans de nombreux cas, le système d'alerte s'est montré inopérant, engendrant de mauvaises interprétations des signaux [Roussel, 2013], des manquements dans la coordination des acteurs de l'alerte, un défaut d'anticipation ou des messages contre-productifs voire mortels comme cela a été le cas lors de la tempête Xynthia qui a touché la France en février 2010 [Calvet and Manable, 2015]. Un rapport sénatorial, le rapport Voguel [Voguel, 2017] publié en 2017, critique longuement et précisément les failles du système d'alerte actuel, et notamment la décision prise de continuer à privilégier le RNA considéré comme obsolète ; impliquant ainsi la rénovation les sirènes au détriment du développement de moyens d'alerte plus ciblés tels que la diffusion cellulaire [10] (ou *cell broadcast*). Le rapport remet en cause également les choix qui ont été faits sur le déploiement d'une application smartphone qui doit être téléchargée préalablement par les utilisateurs, qui s'appuie sur des données transmises par internet (contrairement à la diffusion cellulaire qui repose sur la géolocalisation) et qui nécessite d'être ouverte en arrière-plan pour pouvoir diffuser les alertes. L'application a d'ailleurs été abandonnée en juin 2018 au profit d'une communication sur les réseaux sociaux et les grands canaux de communication [Prévot, 2018].

Mais le système d'alerte ne se limite pas aux moyens de l'alerte, il inclut également toutes les connaissances relatives aux risques, les moyens permettant de suivre les indicateurs concernés, les plans d'action et la sensibilisation des populations. Or, sur ce dernier aspect, le système national est encore considéré comme défaillant. La population française connait très mal les risques auxquels elle est soumise et ne se considère que faiblement impliquée dans la réponse à apporter face aux crises [Godfrin, 2005, BVA, 2016] ; cela malgré les mesures de sensibilisation préventive mises en œuvre à travers des plaquettes ou sites d'information. On peut noter par ailleurs que ces mesures ne sont que partiellement relayées par les médias locaux et nationaux. Si des efforts sont faits en terme de communication institutionnelle, sur les réseaux sociaux notamment, les médias français font très peu référence aux comportements à adopter en cas d'alerte ou lors d'une crise [Godfrin, 2005]. Si la prévention des risques incombe en premier lieu à la puissance publique, elle sous-tend parallèlement l'implication de chaque citoyen pour rendre

10. La diffusion cellulaire, est une technique qui permet d'envoyer via un réseau de téléphonie mobile le même message à tous les abonnés inscrits à ce service, à l'intérieur d'une zone géographique donnée.

efficaces les politiques de prévention. La responsabilisation de chacun est inscrite comme fondement dans la loi du 13 août 2004 de modernisation de la sécurité civile [11]. Ce texte encourage à un engagement individuel dans l'action publique qui va à l'encontre des conceptions classiques de la sécurité civile qui reposent sur une démarche institutionnelle de prévention.

1.2.2 Une prise en compte insuffisante des populations dans les EWS à l'échelle mondiale

1.2.2.1 Des constantes dans les réactions des populations face à une catastrophe

Sur la scène internationale, se pose de manière plus générale le problème de la prise en compte des populations dans les systèmes d'alerte. Un système d'alerte ne peut fonctionner efficacement que si les personnes qui reçoivent les alertes sont capables d'y réagir de manière appropriée [Kreibich et al., 2016]. Les alertes doivent être délivrées à temps et atteindre les populations concernées, mais elles doivent également pouvoir être comprises, acceptées et déclencher des comportements de sauvegarde de la part des populations. Or, les chiffres résultant des études sur la capacité à réagir des populations sont alarmants. Selon Boyd (1981), dans la plupart des catastrophes « 15% des individus manifestent des réactions pathologiques patentes, 15% conservent leur sang-froid et 70% manifesteraient un comportement apparemment calme mais répondant en fait à un certain degré de sidération émotionnelle et de perte de l'initiative qui relève du registre pathologique ». Tyhurst fait un constat relativement similaire [Tyhurst, 1957] en estimant que 10 à 25% des individus présentent des comportements inadaptés (confusion, anxiété paralysante ou comportements hystériques par exemple), 12 à 25% réagissent de façon réfléchie et calme, et 75 % ont une réaction apparemment normale mais sont en réalité sidérés et dans un état de choc.

1.2.2.2 Des propositions pour mieux tenir compte des populations dans les EWS

Une première manière d'intégrer les populations et leurs comportements dans les systèmes d'alerte est de créer des systèmes communautaires. Ce sont des systèmes qui intègrent et font participer des représentants de la population à différentes étapes des processus de gestion de crise. De nombreuses recommandations et expérimentations vont dans ce sens [Basher, 2006, Luneta and Molina, 2008, of Red Cross and (IFRC), 2012, Jacks et al., 2010, David et al., 2017].

11. https ://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do ?cidTexte=JORFTEXT000000804612

Travailler à améliorer l'anticipation des perceptions et des réactions des populations en phase d'alerte est une autre manière de répondre à la prise en compte insuffisante des populations dans les EWS. Elle nécessite de comprendre comment les populations se comportent en situation d'alerte et de crise, or ce champ de recherche est encore largement ignoré. En France, le point de vue traditionnel n'est pas de chercher à comprendre mais de blâmer le manque de connaissances et la mauvaise compréhension des populations en réaction à l'alerte [Rogers et al., 2007]. En réaction à une alerte ou pendant une crise, les individus réagissent selon leurs propres schémas d'interprétation [Mileti and Sorensen, 1990], et ceux-ci n'étant pas toujours appropriés à des situations de risque, ils peuvent conduire à des mises en danger des individus ou de la communauté.

Certains auteurs font au contraire l'hypothèse que si ce manque de connaissances et de compréhension est constaté, les raisons sont à rechercher dans le manque d'efforts réalisés par les acteurs de la gestion de crise pour les comprendre. Selon Becker (2004), les décisions prises sur la diffusion des informations aux populations peuvent avoir un impact crucial sur la résolution d'une crise. Un flux rapide et efficace de l'information transmise au public est essentiel pour faciliter et encourager des mesures de protection appropriées, réduire les rumeurs et les réactions de peur, maintenir la confiance et l'assurance du public et réduire la morbidité et la mortalité. Ainsi, le phénomène peut être appréhendé par des observations sur la manière dont la société est structurée [Sassen, 2005, Bourdeau-Lepage and Tovar, 2013], ou bien sur la façon dont les individus interprètent les faits qui leurs sont perceptibles [Arduin, 2013].

La façon dont se comportent les populations en réaction à une alerte ou à une crise n'est pas toujours bien appréhendée ou connue des acteurs de la sécurité civile, mais également du monde scientifique. C'est un sujet complexe, les comportements des populations étant déterminés par de nombreux facteurs, individuels et environnementaux, qui évoluent de manière très rapide, notamment avec les pratiques numériques de communication de l'information. Bien que la compréhension des comportements des populations en situation de crise soit un sujet qui émerge depuis les années 2000 [Provitolo et al., 2015, Becerra et al., 2013], peu de travaux font état de la dynamique des mouvements collectifs et de la façon dont sont déterminés les comportements des populations dans ces situations [Twigg, 2003, Sorensen, 2000]. Beaucoup évoquent un sujet complexe mais néanmoins important à aborder, la recherche d'information et de données pertinentes en constituant un point central. Sur l'enjeu spécifique de l'alerte, des recherches sur l'intégration d'indicateurs de vulnérabilité dans les EWS proposent de prendre en compte plus d'informations sur les populations concernées [Comes et al., 2015]. Enfin, de nombreux travaux s'intéressent à la modélisation de comportements spécifiques.

Ainsi, à une échelle internationale, les systèmes d'alerte présentent des difficultés à s'adapter aux comportements des populations pour la protection desquelles ils

sont créés.

1.2.3 Problématique

Ces différents constats sur l'obsolescence du EWS français et sur la prise en compte insuffisante des populations dans ce type de système nous amènent à trois questions qui constituent le cœur de la problématique de ce document :

— « Comment améliorer le EWS français ? », une réponse que nous proposons à cette question est de mettre les populations au cœur du système, ce qui amène la question suivante :

— « Comment positionner les populations au cœur du système ? », une réponse que nous proposons à cette question est de prendre en compte les comportements des populations, ce qui amène la question suivante :

— « Comment prendre en compte les comportements des populations dans le EWS ? », une réponse que nous proposons à cette dernière question est d'apporter une démarche d'aide à la décision sur les questions relatives à l'alerte aux populations.

Cette problématique est en concordance avec la façon de s'intéresser aux organisations du groupe de recherche Sigecad (Système d'information, gestion des connaissances et aide à la décision) du Lamsade, de l'Université Paris-Dauphine. Ce collectif place les connaissances humaines au cœur des systèmes.

La crise, écrit Edgard Morin [Salomon, 1981], se reconnaît « non seulement à la progression des incertitudes et de l'aléa, mais aussi à la rupture des régulations, c'est-à-dire au déferlement des antagonismes et des processus incontrôlés s'auto-accélérant et s'auto-amplifiant d'eux-mêmes ». Ainsi, les modélisations qui permettent de représenter une situation de crise doivent à la fois permettre de mettre en place des plans d'actions mais doivent également aider à comprendre le risque et les situations diverses auxquels les acteurs sont susceptibles d'être exposés. C'est cet objectif que nous poursuivons à travers la proposition présentée dans ce document. Il s'agit en effet d'intégrer de nouveaux déterminants contextuels dans le EWS français pour améliorer la représentation de la situation de crise à laquelle les acteurs sont confrontés. Ces nouveaux déterminants qui concernent les comportements des populations ont un impact direct sur les conséquences d'une crise, tout comme les ressources allouées à la gestion de crise et les actions menées par les opérations de secours, comme indiqué figure 1.6.

La démarche proposée répond ainsi aux enjeux d'amélioration de la résilience des populations en France. L'objectif est d'intégrer de nouvelles connaissances dans les EWS, à travers des prédictions, pour aider les décideurs à tenir compte des comportements des populations. Les connaissances sont considérées dans ce document

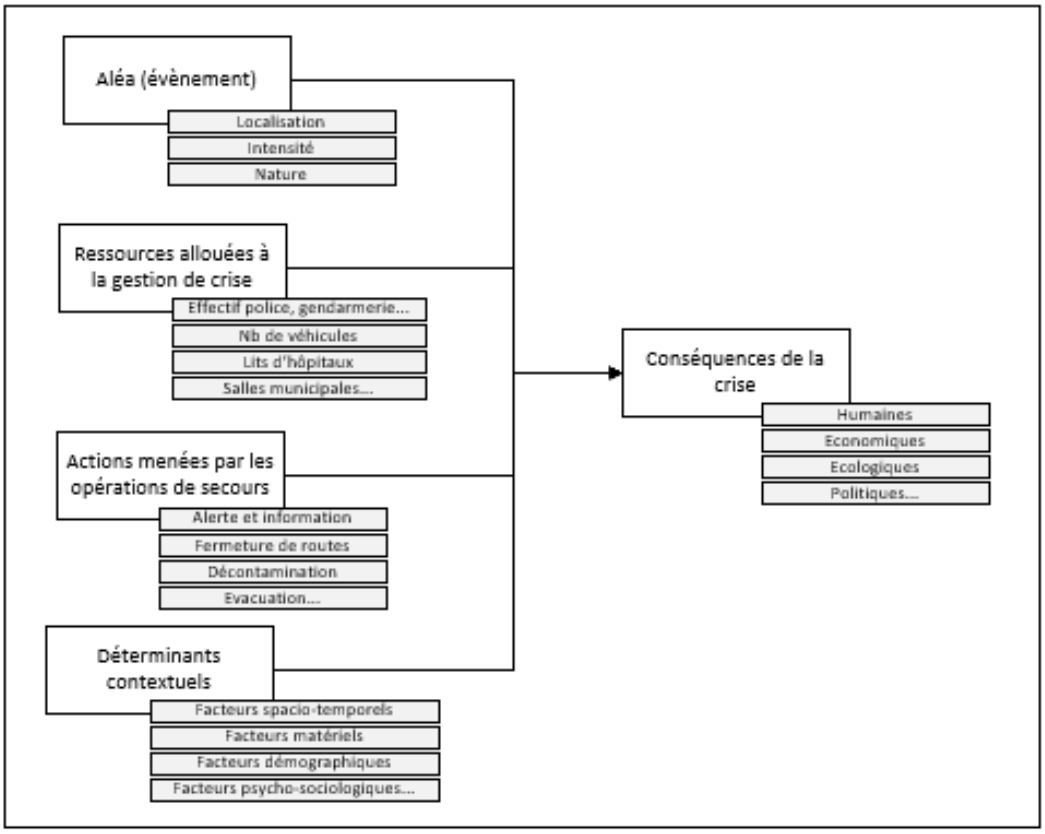


FIGURE 1.6 – Facteurs d'impact sur les conséquences d'une crise

Nous faisons l'hypothèse dans ce document que les caractéristiques des crises, le contexte dans lequel elles se produisent et les ressources et actions menées dans le cadre de la gestion de crise influencent très fortement les comportements individuels et collectifs dans leurs réactions premières, et que ces réactions peuvent avoir un impact très fort sur les conséquences à la fois humaines mais aussi matérielles, économiques et politiques d'une crise.

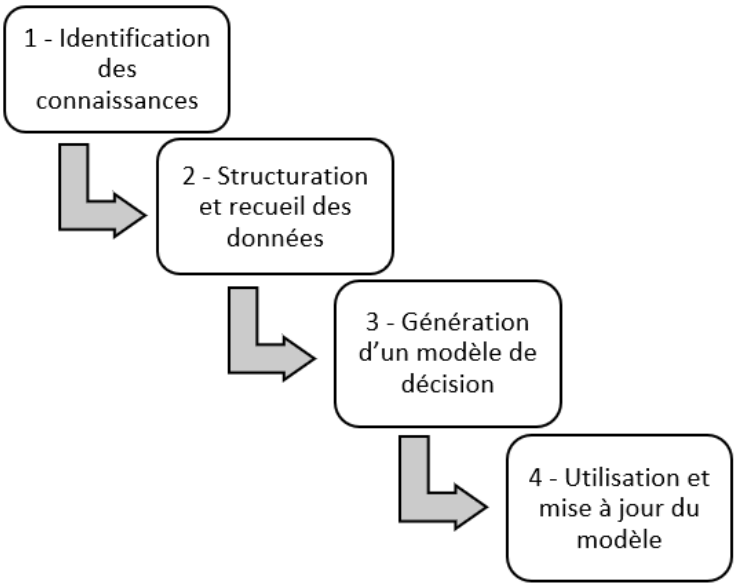


FIGURE 1.7 – La démarche d'aide à la décision en quatre grandes étapes

à la fois comme une ressource qui permet de formaliser les comportements des populations, et à la fois comme un ensemble de capacités qui permet aux décideurs de prendre des mesures pour répondre à une crise. Nous précisons que la démarche pourrait s'appliquer dans d'autres pays, en tenant compte des différences démographiques et culturelles.

La démarche d'aide à la décision proposée dans ce document s'inscrit enfin dans une perspective holistique, qui répond aux recommandations de la loi du 13 août 2004 de modernisation de la sécurité civile. Elle est composée de quatre grandes étapes, que l'on peut observer dans la figure 1.7 (ces étapes seront détaillées dans le chapitre 4). La première étape consiste à identifier les connaissances pertinentes sur les déterminants du comportement des populations. Dans une seconde étape, des données sont recueillies sur les crises passées correspondant aux risques pour lesquels sont mis en place le système. Les données recueillies permettront dans une troisième étape de générer un modèle de décision compréhensible par les décideurs, qui permet de fournir des prédictions sur les comportements des populations. Enfin la dernière étape correspond à l'utilisation du modèle généré sur les cas qui se présentent, et à la mise à jour du modèle à partir des données qui doivent être actualisées régulièrement. En effet, les comportements des populations et la gestion des crises sont amenés à évoluer, le modèle doit être mis à jour en parallèle.

Cette thèse s'inscrit donc dans un projet interdisciplinaire. Les croisements sont nombreux entre les domaines de l'informatique, de la sociologie, de la psychologie et de la gestion de crise.

Pour proposer une prédiction sur les comportements des populations au moment de l'alerte et au début de la crise potentielle, il est sous-entendu qu'une généralisation est possible et que les comportements collectifs des populations dans ces situations admettent une certaine régularité.

1.3 Positionnement épistémologique

La démarche d'aide à la décision proposée dans cette thèse se base sur des indicateurs contextuels qui ont été identifiés comme ayant un impact sur les comportements des populations en situation de crise. Des données correspondant à ces indicateurs sont collectées pour permettre une analyse prédictive des comportements. Ces données sont relatives à des crises qui se sont déroulées dans le passé. Elles sont donc relatives à des événements rares, présentant des caractéristiques d'une grande variabilité et extrêmement dépendantes du contexte dans lequel ils se produisent. Pour cette raison, nous inscrivons cette démarche dans une approche systémique, dans le sens où elle fait appel à des connaissances issues de différentes disciplines pour identifier et intégrer un maximum d'éléments de contexte.

Les données utilisées dans les applications de la démarche présentées dans ce document sont principalement issues de sites web et d'enquêtes de terrain à base de questionnaires. Elles pourront à terme être issues de différentes sources : communications orales, réseaux sociaux, études de vulnérabilité, capteurs des signaux précurseurs du risque, capteurs de mouvements individuels et collectifs et données issues de fouilles du web. Pour reprendre une définition classique de l'aide à la décision [Roy and Bouyssou, 1993], l'objectif est, à partir de ces données, d'apporter des prédictions pour « aider le décideur à obtenir des éléments de réponse pour éclairer une décision ou un ensemble de décisions en favorisant un comportement du décideur qui améliore la cohérence du système par rapport à ses objectifs, et au système de valeurs dans lequel il s'inscrit ». Il ne s'agit pas de fournir une décision. Enfin, la démarche proposée ne constitue pas un processus d'automatisation dans le sens où elle doit être adaptée aux différentes situations et aux décideurs concernés.

Le problème de l'anticipation du comportement des populations dans les systèmes d'alerte est aujourd'hui abordé principalement à travers les connaissances subjectives des décideurs. Notre objectif est de proposer un socle de connaissances « objectives » au sens de Popper [Blanchot et al., 1999], c'est-à-dire basé sur des données observées ou expérimentales qui existent indépendamment de la relation que nous avons avec elles. Nous nous basons en effet sur des données correspondant à des indicateurs reconnus pour avoir un impact sur les comportements des populations en cas d'alerte et de crise. Cette reconnaissance s'appuie sur des théories et des travaux scientifiques ayant été menés et validés pour identifier les déterminants environnementaux et individuels des comportements des populations. Ils

proviennent de travaux dans les domaines de l'intelligence artificielle, mais également de la psychologie ou des sciences économiques.

Les données collectées sont structurées dans une base de données qui permet de définir un modèle de décision à partir d'algorithmes d'apprentissage. Les modèles de décision générés sont mis à jour selon l'évolution de la base de données d'observations et d'expériences. Ainsi les résultats de cette approche, construite à partir de théories scientifiques établies et de données empiriques, sont constitués d'approximations successives corrigées par les observations et expériences nouvelles. Le cadre est celui non pas de la vérité mais de la vraisemblance scientifique pour reprendre une dernière fois les mots de Popper : « une théorie aisément réfutable, mais qui n'est pas réfutée, est une théorie scientifique vraisemblable » [Popper et al., 1985].

La démarche proposée se positionne ainsi au carrefour entre positivisme et constructivisme. En effet, elle fait d'une part appel aux hypothèses ontologiques et déterministes de Le Moigne (1995) qui sont à l'origine des épistémologies positivistes (à travers l'apport de connaissances objectives, basées sur des déterminants ayant fait l'objet de validations scientifiques) ; et d'autre part, la démarche fait appel à des hypothèses phénoménologiques et théologiques, à travers les données empiriques à l'origine des modèles utilisés qui font, elles, référence à des épistémologies de type constructiviste. La démarche s'inscrit ainsi dans une « position épistémologique partagée » [Thiétart, 2014]. Cette position considère que le décideur doit se baser sur ses interactions avec une réalité complexe mais en tenant compte d'éléments qui la caractérisent objectivement [Gartiser and Dubois, 2005]. Elle permet de sortir du débat très contesté entre positivisme et constructivisme [Nguyên-Duy and Luckerhoff, 2006].

1.4 Synthèse

Au niveau mondial, les populations sont de plus en plus fragilisées lorsqu'une crise survient. Cela représente aujourd'hui un coût humain et économique pour les collectivités conséquent. En France en particulier, les risques naturels et technologiques sont répartis sur tout le territoire et leurs coûts ne cessent de croître. La montée des inégalités économiques, l'urbanisation croissante, les dérèglements climatiques sont autant d'éléments qui fragilisent les sociétés et les rendent vulnérables.

Des outils existent pour répondre à ces fragilités. Les systèmes d'alerte précoce, développés pour permettre aux populations d'adopter des comportements de sauvegarde, en cas de crise majeure notamment, sont très utilisés en réponse à des risques spécifiques. En France, il existe un dispositif général pour l'alerte précoce, qui comprend diverses faiblesses. Une de ces faiblesses partagée par de nombreux

EWS dans le monde est de ne pas tenir compte des populations, et notamment de leurs réactions à l'alerte. Les actions préventives, destinées à informer les populations des risques qu'elles encourent, échouent souvent à obtenir des participants une meilleure adéquation aux comportements attendus en situation de crise. D'autre part, les populations sont rarement considérées comme actrices lors de la conception des EWS, notamment en ce qui concerne la création des indicateurs. Les difficultés à comprendre leurs comportements sont un frein supplémentaire à leur intégration.

Dans la suite de ce document, nous proposons une démarche qui permet de répondre à ces problématiques. Cette démarche introduit un outil d'aide à la décision basé sur des données historisées, relatives aux réactions des populations lors de crises passées, en phase d'alerte et de réponse. Elle permet de faire des prédictions sur les réactions des populations basées sur un modèle de décision compréhensible par les décideurs.

1.5 Plan détaillé

Ce document est structuré de la manière suivante :

Le chapitre 2 précise le contexte dans lequel s'inscrit la démarche. Il présente dans un premier temps la façon dont sont gérées les crises en France et ce que sont les particularités des décisions de crise. Dans un deuxième temps est proposée une définition de ce que sont les EWS et de la façon dont ils s'inscrivent dans la gestion de crise.

Le chapitre 3 propose deux états de l'art, l'un sur les travaux relatifs aux différentes approches de l'aide à la décision, et le second sur les comportements que les populations peuvent avoir en situation d'alerte et de crise avec un descriptif de modèles utilisés dans des domaines allant des sciences économiques aux sciences humaines et à l'intelligence artificielle.

Le chapitre 4 présente notre contribution à travers la création d'une démarche pour la construction d'un outil d'aide à la décision. Cette démarche vise à aider les décideurs, dans la phase prodromique d'une crise, à identifier les zones d'alerte et les moyens à mettre en œuvre, ainsi que l'information à diffuser. Elle se base sur des déterminants environnementaux et humains, relatifs aux comportements des populations en cas d'alerte ou de crise.

Dans le chapitre 5, nous présentons les résultats de l'application de la démarche sur trois cas différents. Il s'agit du système d'alerte incendie de l'Université Paris-Dauphine, de l'organisation et du déroulement d'un exercice de sécurité civile et d'exemples choisis d'accidents technologiques survenus en France entre 1981 et 2013 ; tous ces cas se rapportant au cadre général de la gestion de crise sur le territoire français.

En conclusion, le chapitre 6 apporte une synthèse générale et propose plusieurs perspectives à nos travaux.

CHAPITRE 2

CADRE CONTEXTUEL : GESTION DE CRISE ET SYSTÈMES D'ALERTE PRÉCOCE

Sommaire

1.1 Les populations à l'épreuve des crises 1

1.1.1 Des enjeux humains et matériels avérés 1

1.1.2 Vulnérabilité et résilience des sociétés modernes 4

1.1.2.1 Une vulnérabilité grandissante 4

1.1.2.2 Vulnérabilité et résilience : deux concepts voisins à ne pas confondre 5

1.1.2.3 Les comportements des populations : un facteur de vulnérabilité et un enjeu de résilience . . . 6

1.1.3 Intégration progressive des enjeux de résilience des populations en France 7

1.1.3.1 Obstacles à la diffusion de nouvelles pratiques de gestion de crise axées sur les populations . . 7

1.1.3.2 Des mesures concrètes pour une meilleure intégration des populations dans la réponse aux crises 8

1.2 Des constats à la problématique 10

1.2.1 Faiblesses du système d'alerte précoce national en France 10

1.2.1.1 Bref historique de l'alerte en France 10

1.2.1.2 Critiques du système d'alerte précoce national actuel 12
1.2.2 Une prise en compte insuffisante des populations dans les EWS à l'échelle mondiale 13
1.2.2.1 Des constantes dans les réactions des populations face à une catastrophe 13
1.2.2.2 Des propositions pour mieux tenir compte des populations dans les EWS 13
1.2.3 Problématique 15
1.3 Positionnement épistémologique 18
1.4 Synthèse 19
1.5 Plan détaillé 20

Dans ce chapitre, nous présentons le cadre général de la gestion de crise en France en commençant par en préciser les concepts et par détailler ce que sont les spécificités des décisions de crise. Suit une présentation de ce que sont les systèmes d'alerte précoce (EWS), terme très utilisé dans la littérature internationale. Enfin le cas spécifique de la France est abordé, avec une présentation générale des différentes institutions qui assurent la gestion de crise, puis le descriptif du processus de décision lié à l'alerte aux populations.

2.1 Gestion de crise

2.1.1 Les concepts de crise et de gestion de crise

2.1.1.1 Définitions

Avant d'aborder plus en détail les éléments de contexte, les concepts élémentaires de la gestion de crise doivent être définis.

L'étymologie du mot crise renvoie directement au concept de décision, il dérive du grec ancien *κρισις* qui peut se traduire par juger, ou exercer une séparation [1]. Il fait également référence au moment décisif, dans l'évolution d'un processus incertain, qui permet le diagnostic [Morin, 1976]. Ce terme était notamment employé dans ce sens par le corps médical pour désigner la phase grave d'une maladie. Sa définition a beaucoup évolué au cours des siècles, en glissant progressivement de la notion de décision et de résolution vers celui de l'atteinte à une structure ou à une organisation, et ceci dans toutes les sphères de la vie : sociale, économique,

1. XMLittré v2, https ://www.littre.org

politique ou écologique pour ne citer qu'elles. Comme le souligne Edgar Morin, aujourd'hui le terme de crise renvoie à l'indécision, « au moment où, en même temps qu'une perturbation, surgissent les incertitudes » [Morin, 1976]. Le concept général de crise englobe aujourd'hui des objets très hétérogènes qui partagent tous une idée d'incertitude liée à la présence d'un moment clé nécessitant la prise de décisions importantes. En effet, pour citer quelques exemples, on retrouve ces éléments dans les crises d'identité, d'ordre psychologique et à l'échelle de l'individu, dans les crises de civilisation, tout comme les crises liées à des phénomènes naturels tels que les inondations ou les attentats, ou encore dans les crises économiques et les crises de générations (ou les crises de rire).

D'un point de vue historique, il est possible de dater l'approche scientifique des crises au début du XXème siècle avec les travaux de William James sur le tremblement de terre de San Francisco en 1906 [James, 1911]. William James a su observer, au-delà des actions individuelles de sauvegarde, des phénomènes internes et conséquents à la crise. Aujourd'hui une pluralité de disciplines s'intéressent au domaine, regroupées notamment au sein des cindyniques (ou « sciences du danger ») [Cousteau et al., 1991], qui étudient à la fois l'événement en lui-même, ce que révèlent les crises, ce qu'elles génèrent comme représentations et la façon dont elles sont gérées.

2.1.1.2 Différentes façons de penser la crise et de la gérer

Depuis longtemps, les fondements des crises suscitent des controverses et polémiques, pour beaucoup toujours d'actualité [Reghezza-Zitt, 2012, Dedieu, 2015]. Une des illustres controverses sur le sujet remonte à l'opposition entre Voltaire et Rousseau à propos du tremblement de terre de 1755 qui a détruit la plus grande partie de Lisbonne et fait plusieurs dizaines de milliers de victimes. Pour expliquer cet événement, alors que Voltaire évoquait le hasard et la fatalité, Rousseau dans sa Lettre sur la providence [Rousseau, 1756] évoquait déjà l'irresponsabilité des comportements humains : « convenez, par exemple, que si la nature n'avait point rassemblé là vingt mille maisons de six à sept étages, et que si les habitants de cette grande ville eussent été dispersés plus également, et plus légèrement logés, le dégât eût été beaucoup moindre, et peut-être nul ». Pour Rousseau ce n'est pas Dieu, ni le hasard ou la fatalité qui sont à l'origine des catastrophes mais l'intervention de l'homme à travers ses installations. Aujourd'hui, ce type de polémique suscite toujours des débats et discussions à travers les critiques récurrentes sur la vulnérabilité des territoires et la recherche de responsables à qui faire payer la survenue et les conséquences des catastrophes. François Dedieu détaille dans un ouvrage paru en 2015 [Dedieu, 2015] les critiques relayées massivement par les médias français sur la gestion de la canicule de 2003 en France, mettant en cause le fonctionnement des dispositifs officiels de prévention. Il évoque également les reproches faits à la

suite de l'ouragan Katrina, qui a atteint les côtes des États-Unis en 2005, sur le rôle des autorités fédérales et les lenteurs administratives à gérer la crise. Ces exemples mettent par ailleurs en relief l'importance aujourd'hui considérable du pouvoir de la communication dans la façon de penser la crise, et la façon dont les populations peuvent la vivre.

La façon dont est pensée une crise affecte la manière dont elle est préparée et gérée. Il est évident que si une crise est pensée de manière fataliste, les plans d'actions seront moins précis et les secours moins préparés que si elle avait été pensée de manière déterministe. De manière plus subtile, c'est un réel enjeu pour l'ensemble des acteurs de la gestion de crise que d'adopter une vision commune sur la crise et l'ensemble des moyens qu'elle nécessite. Pour faire référence à cet enjeu, nous avons choisi, parmi de nombreuses définitions, de retenir celle formulée par Patrick Lagadec qui insiste sur la mise en œuvre d'outils formalisés, souligne l'importance de la préparation aux crises et les impacts qu'elles peuvent avoir :

> « La gestion de crise regroupe l'ensemble des techniques, des modes d'organisation et des moyens à mettre en œuvre pour permettre aux services de l'État de se préparer et de faire face à un événement impactant la sécurité des personnes et des biens » [Lagadec, 1995].

La gestion de crise doit permettre de faire face à un ou plusieurs types de risques donnés et de s'adapter à une situation unique.

2.1.2 Typologies des risques

Comme le soulignent Dauphiné et Provitolo, le risque est une fiction : c'est un potentiel en attente de se réaliser [Dauphiné and Provitolo, 2013], et c'est de sa réalisation qu'émerge la crise. Les crises peuvent être classifiées suivant différentes typologies, en fonction de la nature des risques auxquels elles se rapportent ou en fonction de l'événement auquel elles sont associées.

— Le service d'information du gouvernement, à travers le site officiel consacré à la prévention des risques majeurs en France, [2] propose de classifier les risques majeurs dans les catégories suivantes : menace terroriste, risques sanitaires, risques technologiques (accident industriel, nucléaire, biologique, etc.), risques naturels (glissement de terrain, incendie, inondation, ouragan, tremblement de terre, etc), et risques cyber.

— Une autre typologie est proposée par l'Etat dans le guide ORSEC G1 - Méthode Générale [DGSCGC, 2006] édité par le ministère de l'Intérieur. Ce guide différentie risques technologiques fixes (nucléaire, industriel, grands barrages, etc) et non fixes (pollutions terrestres, aériennes, aquatiques, etc),

2. www.risques.gouv.fr

risques ferroviaires, autoroutiers, aéronautiques, fluviaux, maritimes (interface terrestre), naturels et sanitaires.

— La classification de l'Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire (IRSN) [3] reconnaît, quant à elle, quatre grands groupes de risques, selon les perceptions qu'en ont les français (relatives à l'importance perçue du risque, la confiance dans les autorités françaises et la véracité perçue de l'information reçue) [BVA, 2016].

- Risques individuels : ils sont toujours perçus comme relativement élevés, l'information qui y est associée est jugée crédible et pour ce type de risques, la confiance est plutôt élevée dans les pouvoirs publics. Exemples : tabagisme et obésité des jeunes, drogue, accidents de la route, sida.
- Risques relatifs aux pollutions diffuses : ils sont perçus comme élevés. Contrairement aux autres risques, l'information mise à disposition sur les risques de cette catégorie est jugée peu crédible et la confiance dans les actions publiques mises en œuvre pour y faire face est très faible. Exemples : pollution de l'air ou de l'eau, pollution des sols, retombées radioactives en France de l'accident de Tchernobyl (1986).
- Risques collectifs non industriels : ils sont perçus comme plutôt faibles, avec une information jugée bonne et un niveau de confiance dans les pouvoirs publics au-dessus de la moyenne. Exemples : accidents domestiques, canicules, bruits, inondations.
- Risques technologiques attachés à des sites et des actions identifiables : le point commun des risques inclus dans cette catégorie est d'associer un niveau de confiance dans les pouvoirs publics toujours supérieur à la confiance dans la vérité des informations transmises. Dans cette famille, les niveaux de risque sont variables. Exemples : radiographies médicales, accidents de radiothérapie, produits alimentaires, lignes à haute tension, incinérateurs de déchets ménagers, nanoparticules, transports de matières dangereuses, centrales chimiques, installations chimiques, déchets radioactifs ou chimiques.
  Sur le cas particulier des risques technologiques attachés à des sites et des actions identifiables, l'IRSN souligne que la perception des risques par les populations est très diverse.

Enfin, certaines typologies proposent de classifier les crises selon leurs caractéristiques. Elles sont ainsi classifiées dans le guide ORSEC « Méthode générale », édité par le ministère de l'Intéreur, selon les propriétés des événements qui y sont associés une fois ces événements survenus [DGSCGC, 2006], ces événements pouvant être :

3. www.irsn.fr

- localisés, multi-sites, touchant une partie, la totalité du département ou au-delà ;
- d'une durée de quelques heures, de un à plusieurs jours, de quelques jours, de quelques semaines, ou encore dans le cas des risques diffus de plusieurs mois, années, décennies, etc. ;
- générateurs ou non de conséquences immédiates, de conséquences à long terme et de conséquences évolutives.

Ainsi le concept de crise n'est pas figé, et sa catégorisation diffère selon les organisations. Les crises peuvent être déterminées par le type de risque ou bien par les caractéristiques de l'événement associé. L'IRSN permet d'établir une première analyse des risques à travers les catégories qu'elle identifie, en liant les concepts de niveau de risque, de crédibilité de l'information transmise et de confiance dans les autorités sur leur prise en charge. Chacun des types identifiés correspond à une perception subjective du risque et de manière plus générale à une représentation particulière des populations interrogées.

Pour appréhender plus en détail ce que sont les crises, au-delà de ces typologies, nous proposons dans la section suivante de nous intéresser aux connaissances qui permettent de les gérer, partagées tout au long des étapes de la crise par des acteurs nombreux et de cultures différentes.

2.1.3 Problématiques liées à la gestion des connaissances

Dans la littérature, beeaucoup de propositions permettent de structurer les différentes étapes de la gestion de crise. Une vision simple consiste à définir pour chaque type de risque, des processus de gestion de crise selon trois grandes étapes : (i) perception du phénomène, (ii) mobilisation du système, et (iii) organisation de la conduite générale de la réplique [Lagadec, 1995]. De manière plus globale et plus classique, on y inclut souvent les phases de prévention, de post-crise et de réparation. La succession des étapes de gestion de crise peut être formalisée dans un processus itératif. Ces étapes s'inscrivent dans un cadre temporel composé alors des cinq phases de prévention, préparation, réponse, post-crise et réparation. En théorie, à la fin de chaque phase de réparation un nouveau cycle est relancé, enrichi par les connaissances acquises lors du précédent cycle. La figure 2.1 [Tacnet et al., 2010] illustre ces différentes étapes, chacune d'entre elles étant associée à des actions spécifiques à réaliser.

Toutes ces étapes nécessitent un réel alignement des flux de communication et d'information, des processus de décision et des structures de coordination [Swithern, 2014]. Or, ces derniers sont pourtant le plus souvent considérés séparément, affaiblissant le système dans son ensemble. Cette gestion des flux d'information représente un enjeu organisationnel fort (bien plus que matériel), qui se

FIGURE 2.1 – Le « cycle de la gestion des risques » [Tacnet et al., 2010]

.

décline à différents niveaux : au sein même des organisations, entre différentes organisations, des organisations vers les populations, des populations à destination des organisations, au sein de systèmes d'organisation spécialisés dans un domaine particulier. A tous ces niveaux, des défauts de communication de l'information sont identifiés : surcharge des systèmes de communication, définition préalable insuffisante des processus de communication de l'information, difficulté à identifier des interlocuteurs, manque de précision de l'information, etc. Ces défauts de mise à disposition de l'information sont souvent à l'origine de déficiences dans les prises de décision [Quarantelli, 1988].

Un autre aspect de la gestion des connaissances mérite d'être interrogé, qui est celui de l'expertise scientifique. Selon le type de crise, les experts scientifiques sont souvent amenés à émettre un avis sur une situation de risque. Leur rôle est d'anticiper l'avenir et de donner un avis sur des décisions à prendre. Or, le temps de l'expertise est différent du temps de la crise, celui de l'expertise est un temps long qui permet de produire des analyses arrivant souvent trop tard pour permettre au décideur de construire un point de vue objectif sur une situation.

La neutralité et l'objectivité des expertises méritent également d'être questionnées [Merad, 2010]. Lorsque le risque est potentiel, les connaissances scientifiques, souvent partielles et hypothétiques, sont sujettes à controverse [Godard et al., 2002]. Il n'est pas rare que plusieurs expertises se contredisent, nombreux sont les cas où plusieurs experts ont émis un avis contraire sur une même situation. Le débat de la Soufrière en est un exemple emblématique, avec la dis-

corde bruyante entre Haroun Tazieff et Claude Allègre en 1976, lorsque le volcan situé sur l'île de la Guadeloupe entre en ébullition après des années de calme. Leur évaluation opposée du risque d'éruption volcanique et donc de la nécessité d'évacuer des milliers de personnes à été très médiatisée [Reisse, 2011]. D'autres cas sont régulièrement médiatisés dans les domaines du risque sanitaire ou médical [Keck, 2009, Hatzfeld, 2006]. De manière plus fréquente, les décideurs reçoivent régulièrement des avis divergents de la part des agences ou cabinets d'experts auxquels ils font appel, qui sont par ailleurs plus ou moins conscients de la responsabilité qui leur est confiée [Rosenthal and Hart, 1991]. Ces résultats viennent alors contrarier les décideurs quant à leurs attentes de certitudes [Lagadec, 1991].

2.1.4 Les décisions de crise

2.1.4.1 Spécificités de la décision en gestion de crise

L'urgence d'une situation de crise impose que les décisions prises pour y faire face soient rapides et efficaces [Altemaire and Renaudin, 2007]. Pour répondre à cela, des cellules de crises sont mises en place pour réunir les acteurs concernés autour d'une même table afin qu'ils puissent échanger les informations qu'ils détiennent. Au sein d'une cellule de crise, les décisions sont conditionnées par de fortes incertitudes, un nombre élevé d'intervenants, des durées parfois extrêmement courtes pour mettre en place des actions, des problèmes de communication, et des enjeux importants dépassant de loin les seuls aspects opérationnels immédiats [Lagadec, 1995].

Qu'elles soient ou non intégrées dans des plans de sauvegarde, de nombreuses décisions doivent y être prises. Elles le sont généralement de manière collective, selon les réponses données aux questions ci-dessous (dans l'ordre). Nous avons extrait ces questions des entretiens menés avec des décideurs dans le cadre de la thèse :

— Quelles sont les sources de danger ?
— Quelles sont les cibles potentielles : populations, environnement et biens matériels ?
— Quels sont les vecteurs entre sources de danger et cibles potentielles, ou comment l'impact est-il possible ?
— A quels niveaux peut-on intervenir, quelles sont les actions qu'il est possible de réaliser ?
— Quelles sont les ressources nécessaires et les ressources disponibles ?
— Et comment établir des priorités dans les actions à mener ?

Les décisions portent ainsi essentiellement sur le choix des actions à réaliser et des ressources à allouer à ces actions. Elles sont régulièrement réévaluées en fonction de l'évolution de la situation, par un nouveau cycle de questions.

Un individu isolé n'est bien entendu pas légitime pour prendre de telles décisions, même si son expérience et ses compétences sont avérées. Les décisions sont prises en collectif, par une multiplicité de parties prenantes.

A titre d'exemple, lors de l'exercice de gestion de crise auquel j'ai participé, organisé le 29 juin 2017 à Grasse [4], et simulant un incendie généralisé avec émission de fumées toxiques dans un site industriel, de nombreux acteurs étaient présents et répartis sur trois cellules de crise : la préfecture des Alpes-Maritimes, les sapeurs-pompiers de Grasse, les services de police et de gendarmerie, le parquet de Grasse, la Direction départementale des territoires et de la mer, le Réseau de transport d'électricité, le Bureau de la communication interministérielle et des relations publiques, l'Agence régionale de santé, l'entreprise SA Robertet, la Direction régionale et interdépartementale de l'environnement et de l'énergie (DREAL) et la ville de Grasse. Cette multiplicité de parties prenantes génère souvent des difficultés dans la mise en œuvre des politiques publiques. Bien qu'en cas de crise il existe un responsable unique désigné comme commandant des opérations de secours (COS), il doit interagir avec des interlocuteurs de cultures professionnelles différentes, pas toujours présents sur le même lieu. Selon Pressman et Wildavsky [Pressman and Wildavsky, 1974], cette multiplicité des acteurs entraîne quasi mécaniquement une augmentation des possibilités de désaccords et de retards, et des différences dans la hiérarchie des priorités. Patrick Lagadec souligne également cette difficulté en évoquant le rôle croissant que tiennent aujourd'hui les médias grâce à la rapidité avec laquelle ils ont accès à l'information. Leur nouveau statut d'acteurs à part entière dans la gestion de la crise représente une épreuve qui peut être « déstabilisante » pour les décideurs [Lagadec, 1991]. Ainsi les décisions ne font pas toujours consensus.

2.1.4.2 Influence des biais cognitifs sur la prise de décision

La prise en compte des facteurs individuels et psychologiques dans l'analyse des décisions et plus spécifiquement des décisions en situation de risque a longtemps été éludée. On doit aux travaux de Kahneman et Tversky menés à la fin des années 70 [Kahneman and Tversky, 1979] une restructuration des théories du comportement économique, nourrie par les apports de la psychologie expérimentale. Bien que des travaux précédents aient déjà mis en évidence l'importance de « caractéristiques superficielles » [Gollier et al., 2003] dans la prise de décision [Lichtenstein and Slovic, 1971], leurs travaux les plus célèbres sur la théorie des prospectives [Kahneman and Tversky, 1979] ont permis de préciser différents mécanismes non rationnels en jeu dans les prises de décisions. Ces mécanismes procèdent de la position et de l'expérience du décideur, de la focalisation attentionnelle, du

4. Commune française située dans le département des Alpes-Maritimes en région Provence-Alpes-Côte d'Azur

rôle de l'affect et de l'évaluation toujours relative d'une situation par rapport à un point de référence individuel.

Sur la question de l'alerte, les décisions prises vis-à-vis des populations se basent sur des éléments d'informations qui ont été recueillis quant à la nature de la crise (potentielle ou certaine), sur des analyses d'impact plus ou moins précises, et selon donc des facteurs non rationnels liés au contexte de décision et aux appréciations humaines des décideurs. Il a été démontré que les décisions prises dans ce contexte de gestion de crise en particulier sont soumises à des « biais cognitifs » qui peuvent avoir un impact dans l'efficacité de la réponse :

— illusions positives entrainant une vision optimiste de la situation,
— dissonances cognitives,
— erreurs d'appréciation de son propre comportement ou du comportement des autres,
— aversion ou propension au risque,
— biais liés au collectif [Johnson and Levin, 2009].

Tous ces éléments peuvent avoir des conséquences dramatiques, que ce soit en phase prodromique de la crise, en période de réponse ou en phase de post-crise [Comes, 2016]. Lagadec en fournit de nombreux exemples dans la description de différentes « pathologies » [Lagadec, 1995].

Ainsi, malgré le caractère incertain et imprécis des expertises scientifiques, celles-ci sont néanmoins nécessaires pour enrichir des analyses factuelles et aider à objectiver les décisions prises en contexte de crise. Elles sont notamment importantes dans des cellules de crise au fonctionnement codifié et régi par des relations hiérarchiques fortes.

2.1.4.3 Les apports de l'aide à la décision dans le contexte particulier de l'application des politiques publiques

Une nouvelle discipline pour répondre à l'évolution des politiques publiques Des changements dans les attentes de la société civile sur le rôle de l'État transforment peu à peu la nature et les règles des politiques publiques. Plusieurs facteurs en sont responsables, tels que la fragilisation du lien social, la perte de confiance des populations dans les compétences de leurs élus ou le partage de l'information experte à travers des outils de communication numérique dont font partie les réseaux sociaux. Différentes réponses ont été apportées à ces évolutions ces dernières décennies dans la façon d'organiser et de mettre en œuvre les politiques publiques. On peut citer la mise en place de politiques de décentralisation à travers les deux vagues de 1982 et de 2003-2004, les politiques de privatisation et de déréglementation amorcées en France dès les années 80, ou la loi du 31 janvier 2007 de modernisation du dialogue social.

Pour analyser et accompagner ces évolutions dans les politiques publiques, dont le rapport aux populations est au cœur des enjeux, une discipline nouvelle a émergé ces dernières années sous le nom de *policy analitics* [Tsoukias et al., 2013] (aide au pilotage des politiques publiques). Ce domaine nouveau de recherche propose la formulation d'un cadre méthodologique interdisciplinaire pour la conception, la mise en œuvre et l'évaluation des politiques publiques ainsi que vers la production de recommandations raisonnables, notamment dans la réponse aux crises majeures. Les problèmes concernés, gestion de crise incluse, partagent des propriétés communes :

— usage de ressources publiques ;

— multiplicité des parties prenantes ;

— réalités d'un horizon à long terme ;

— enjeux de légitimité et de responsabilité ;

— intégration de délibérations dans la prise de décision.

Les *policy analytics* s'appuient sur les outils et méthodes de l'aide à la décision pour proposer des méthodologies capables de tenir compte des spécificités et des propriétés des processus d'élaboration des politiques publiques.

Application au domaine de la gestion de crise Dans le domaine de la gestion de crise, il existe une littérature abondante sur l'utilisation d'outils formels d'aide à la décision basés sur des expertises tels que les analyses coûts-bénéfices, ou les méthodes basées sur des données ou sur des faits *evidence-based policy making* (élaboration de politiques fondées sur des faits). Néanmoins, ces outils ne sont pas toujours bien perçus et acceptés par les décideurs pour des raisons intrinsèques à ces modèles, du fait de leur caractère opaque d'une part, et de la difficulté à légitimer leur utilisation auprès des décideurs eux-mêmes et auprès des populations. Des systèmes de gestion traditionnelle des connaissances (*Knowledge Management*, KM) peuvent également être développés pour accompagner le travail des acteurs de la gestion de crise. Basées sur des cycles longs qui permettent de faire émerger et de valoriser les connaissances, ils ne sont quant à eux pas toujours adaptés et structurés pour faire face à des situations de catastrophe qui impliquent diverses structures institutionnelles, des cadres financiers restreints et une réelle complexité à évaluer les risques et les vulnérabilités en jeu [Sperling and Szekely, 2005].

Une des propositions des *policy analytics* est de baser les décisions des acteurs publics sur la prise en compte d'un maximum d'informations et d'acteurs clés, à chaque étape du développement des processus de décision. C'est dans cette optique que la proposition formulée dans ce document s'inscrit. La méthodologie pour la mise en œuvre de la démarche proposée repose sur des données jugées pertinentes, qui participent à gérer un événement dans sa globalité, en tenant compte des valeurs, de la culture et des structures de pouvoir entre les différents acteurs. Pour un

risque donné, la perception des experts et celle des décideurs peuvent considérablement différer, sans parler de la perception des populations concernées par le risque comme l'ont démontré de nombreuses situations telles que l'accident nucléaire de Fukushima (Japon) en 2011 [Gisquet, 2015] ou lors de l'affaire Lubrizol en 2013 en France [Roussel, 2013]. Lors de la gestion de crise, il semble évident que ces différences de perception doivent être prises en compte.

2.2 Les Systèmes d'Alerte Précoce (EWS)

La gestion de crise, comme l'a souligné Lagadec, intègre des techniques et outils qui permettent entre autres fonctions de capter les signaux annonciateurs de crises pour en limiter les conséquences. Les EWS en font partie et ont démontré leur efficacité dans de nombreux domaines tels que la finance [Cheang, 2009], l'environnement [Angermann et al., 2010], l'humanitaire [Bakker, 2001], la biologie [Genovesi et al., 2010] ou encore l'éducation [Heppen and Therriault, 2008].

Plusieurs définitions ont été proposées des EWS [UNISDR, 2005, Waidyanatha, 2009]. Ce sont des systèmes qui permettent d'alerter et d'informer des populations sensibilisées et des organisations préparées, afin de prendre les mesures nécessaires pour anticiper, éviter ou réduire les conséquences matérielles et humaines d'une crise à venir. Ce sont des systèmes intégrés, qui associent une multitude d'activités et d'organisations impliquées dans leur mise en œuvre. Dans ces systèmes, les indicateurs correspondent à des marqueurs annonciateurs d'un événement qui constitue une menace pour l'environnement et les populations qu'il risque de toucher.

Ces systèmes peuvent également intégrer des indicateurs relatifs à des caractéristiques démographiques voire sociologiques qui ne sont pas liées directement à l'événement constituant une menace, mais qui permettent d'apporter des éléments d'information sur son impact. Le système d'alerte précoce (EWS) utilisé pour identifier une canicule par exemple, intègre outre les indicateurs biométéorologiques liés aux pics de température, des indicateurs sanitaires sur les décès enregistrés par les communes, le nombre de sorties des pompiers pour assistance à personnes à domicile ou le nombre de primo-passages aux urgences.

De manière plus concise, un EWS est un ensemble d'outils pour prédire des aléas [United Nations, 2006, Quansah et al., 2010], comprendre et réagir de manière adéquate aux signaux d'alerte précoce, avant que les événements se manifestent et que les besoins de secours ne deviennent aigus [Swithern, 2014].

L'appellation EWS n'est pas toujours utilisée, on parle parfois seulement de systèmes d'alerte ou des acronymes sont utilisés, par exemple TREIRS pour le EWS taïwanais de lutte contre les tremblements de terre ou ProMED-mail dans la

lutte contre les maladies émergentes.

2.2.1 Principes généraux

L'UNISDR [5] (Bureau des Nations Unies pour la réduction des risques de catastrophe) définit l'alerte précoce comme la mise à disposition d'une information efficace qui permet aux organisations et aux individus de prendre les mesures nécessaires pour éviter ou réduire les risques auxquels ils sont exposés et se préparer à répondre de manière efficace au danger [UNISDR, 2005]. L'objectif est de fournir suffisamment à temps les informations nécessaires pour agir de manière appropriée afin de réduire les risques de blessures, de morts, de dommages à la propriété et à l'environnement et des pertes de moyens de subsistance.

Tout risque implique l'exposition d'un environnement, avec des caractéristiques géographiques (relief, littoral, etc.), culturelles ou organisationnelles, à un ou plusieurs événements pouvant avoir des conséquences néfastes [Rasmussen, 1997]. De manière formelle, le risque peut être compris comme l'association de toutes les conséquences possibles d'un événement, avec les différents états dans lesquels peut se trouver l'environnement concerné au moment de l'événement. Dans une situation complexe, il est cependant impossible de prédire pour un événement aléatoire e tous les états possibles de l'environnement x, leurs probabilités et les conséquences associées à l'événement. Afin d'accompagner les décideurs qui ont à faire face à des risques complexes, une modulation du concept de risque a été introduite qui substitue l'ensemble des états possibles de l'environnement aux états de vulnérabilité du système. Cette définition considère le risque R pour un système s (qui peut représenter par exemple, une communauté, une région, une entreprise, etc) de la manière suivante [Comes et al., 2014] :

$$R(e, s) = h(e, s) \cdot v(e, s) \tag{2.1}$$

où $h(e, s)$ correspond à la probabilité et la gravité de l'événement e de frapper le système s, et $v(e, s)$ à la vulnérabilité qui combine l'exposition, ou la valeur des actifs à risque, et la fragilité du système s à résister à e.

Il existe bien d'autres manières de représenter ce croisement entre les différentes composantes du risque. La figure 2.2 en est l'illustration, elle offre deux représentations différentes du risque basée sur quatre même composants : la fréquence de l'évènement, son intensité, les dommages (ou conséquences potentielles) et leurs valeurs associées. Les représentations du risque correspondent ainsi bien souvent à des variantes d'une même définition du concept [Tacnet et al., 2010].

5. https ://www.unisdr.org/we/inform/terminology

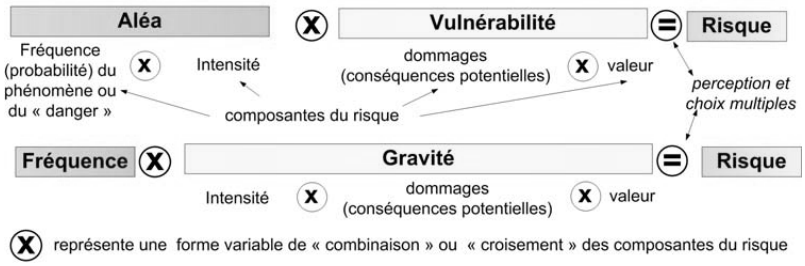


FIGURE 2.2 – Plusieurs représentations du même concept de risque à partir de la fréquence d'un aléa, son intensité et des dommages potentiels [Tacnet et al., 2010]

Les EWS permettent de limiter les risques, ils sont conçus pour déclencher des alertes précoces. Selon l'Organisation des Nations Unies [United Nations, 2006], un EWS complet et efficace comprend quatre éléments :

— Connaissance des risques : connaissance préalable des risques encourus et planification du système de contrôle en terme de mesures, échelles, seuils, capteurs, etc. L'évaluation et la cartographie des risques aide à prioriser les besoins du EWS et à guider les préparatifs d'intervention et de prévention des catastrophes. Cette évaluation des risques est fondée sur l'expérience historique et humaine des risques, mais peut l'être aussi sur des critères scientifiques, sociaux, économiques, et de vulnérabilité du territoire.

— Services d'alertes : maintenance technique et surveillance des indicateurs en temps réel, prédiction des risques potentiels et émissions d'alertes aux acteurs compétents pour y réagir. Les indicateurs, auxquels il faut donner un sens, sont parfois désignés par les termes de « signaux faibles » ou « signaux précurseurs ».

— Diffusion des alertes : les alertes doivent être compréhensibles et accessibles pour les populations, les organisations et toutes les personnes qui doivent y répondre. Les avertissements doivent atteindre leurs destinataires par des canaux de diffusion appropriés et être accompagnés autant que possible d'une information claire et précise pour ne pas causer de panique ou de comportements inadaptés, mais pour faire en sorte que les personnes agissent de manière éclairée.

— Capacité de réponse et préparation à agir : mise à jour et élaboration de plans d'action régulièrement testés. Il est également essentiel que les personnes comprennent et connaissent les risques auxquels elles sont exposées, elles doivent respecter le service d'alerte et savoir comment réagir. Des actions de sensibilisation de la population aux risques et aux comportements de sauvegarde doivent être menés.

Dans cette liste séquentielle, chacun des éléments a un double lien direct avec ses éléments voisins et interagit avec les autres éléments. Une défaillance dans un des

éléments du système implique la défaillance du système dans son ensemble.

Le dernier élément, qui correspond à la capacité de réponse et à la préparation à agir, implique directement les populations. Il joue un rôle qui ne doit pas être négligé dans les EWS. Des rapports sur le tsunami dans l'Océan Indien survenu en décembre 2004 ont notamment démontré l'importance que peuvent avoir les connaissances des populations sur les actions à mener en cas de crise. Perez (2005) explique que les Indiens Moken de Thaïlande et Gunung Sitoli sur l'île de Nias, en Indonésie, ont signalé moins de cas de décès et de blessures que sur le reste des territoires touchés. Selon lui, cela est dû à leur connaissance et à leur compréhension du monde et de la nature et à leurs pratiques traditionnelles de gestion des ressources : « Bien que notre compréhension scientifique des phénomènes naturels ait augmenté et que les technologies de l'information soient devenues très puissantes, nous avons perdu notre instinct de survie. Nous avons beaucoup à apprendre de la conscience environnementale aiguë que de nombreux peuples autochtones possèdent. ». Ces connaissances ancestrales, implicites, sont toutefois souvent imparfaites. D'autres travaux relatifs à cette crise sur les communautés de pêcheurs en Thaïlande ou sur les stations touristiques, ont également démontré le rôle majeur que peuvent jouer les connaissances acquises par l'expérience ou l'éducation sur les dégâts causés par des catastrophes [de León et al., 2006]. Un cas souvent cité en exemple est celui d'une jeune écolière britannique, qui se trouvait en Thaïlande pour un séjour touristique près de Phuket en 2004. La jeune fille a reconnu que la mer agitée et le bruit excessif que faisaient les vagues annonçaient un tsunami [Owen, 2005]. Elle a alerté ses parents et d'autres personnes présentes du danger, et a permis de sauver la vie de plusieurs personnes. La jeune fille a été capable de reconnaître les signes annonciateurs du tsunami grâce aux cours qu'elle avait suivis quelques temps plus tôt sur le sujet dans son école. L'éducation, qu'elle s'exerce dans un cadre formel ou informel, responsabilise les gens en fournissant une base solide pour la compréhension et l'action [de León et al., 2006].

2.2.2 La réponse à l'alerte

Les signaux d'alertes précoces ont pour objectif de déclencher des actions spécifiques pour prévenir les conséquences d'une crise : évacuation ou confinement de la population ; déploiement des équipes de secours ; pré-positionnement des moyens humains et matériels, etc. Ces actions sont décidées lors de la phase de réponse à la crise. Pour qu'une alerte soit jugée utile, elle doit fournir suffisamment de temps pour que les populations et les organisations puissent décider de leurs actes et agir. En effet, la réaction aux alertes n'est généralement pas immédiate. Selon l'organisation météorologique mondiale [6], le processus de réaction à l'alerte par les individus

6. https ://public.wmo.int/en

se fait par étapes [Davidson and Alex, 2002] :

1. réception du message ;
2. compréhension du message ;
3. adhésion à la réalité du message et à l'exactitude du contenu ;
4. confirmation du contenu par d'autres sources ;
5. évaluation du risque à sa situation personnelle ;
6. décision d'une action jugée appropriée ;
7. réponse.

Plus tôt une alerte est lancée, plus les acteurs concernés disposent de temps pour déclencher des actions. Malheureusement les informations sur le danger sont souvent peu précises dans la phase prodromique d'une crise, elles ne le deviennent qu'au fur et à mesure que le temps passe et qu'en même temps, la menace se fait de plus en plus concrète. Les alertes qui ne sont pas suivies de crises doivent pourtant être évitées, ce qui implique de respecter un équilibre entre principe de précaution et volonté de ne pas inquiéter inutilement. Cet équilibre dépend fortement du type d'événement à prédire : pour les tornades, l'anticipation possible est de l'ordre de quelques minutes alors que pour les ouragans, il est possible de les prédire des heures ou des semaines à l'avance.

L'idéal est que le point d'anticipation, qui correspond au moment où le seuil d'atteinte de l'intégrité physique des populations apparait très probable soit identifié le plus précocement possible. Ce point d'anticipation correspond à la limite entre la phase de vigilance et la phase d'alerte comme illustré en figure 2.3. Il est important de capitaliser sur les connaissances des experts et des décideurs pour déterminer ce point de la manière la plus précise possible.

2.2.3 Diversité des EWS

Selon la nature d'une crise, il peut être décidé de mettre en place un système d'alerte, un EWS ou aucun système d'alerte. Le système d'alerte étant limité aux catastrophes imprévisibles, dans des conditions où aucun signal ne peut être interprété à l'avance pour évaluer la crise et préparer les populations. Dans le cas des avalanches par exemple, la complexité des prévisions et la rapidité avec laquelle la crise survient ne permettent pas de prévoir l'événement suffisamment en amont pour évacuer la population. Les experts peuvent seulement déclencher des avalanches préventivement, dresser des cartes de risques, planifier des actions de prévention ou alerter les populations lorsque l'événement survient véritablement. Les EWS permettent au contraire de prédire une crise suffisamment tôt pour que les acteurs concernés puissent agir et se protéger. La figure 2.4, propose une classification qui permet d'identifier les cas où un EWS peut être utilisé comme outil de

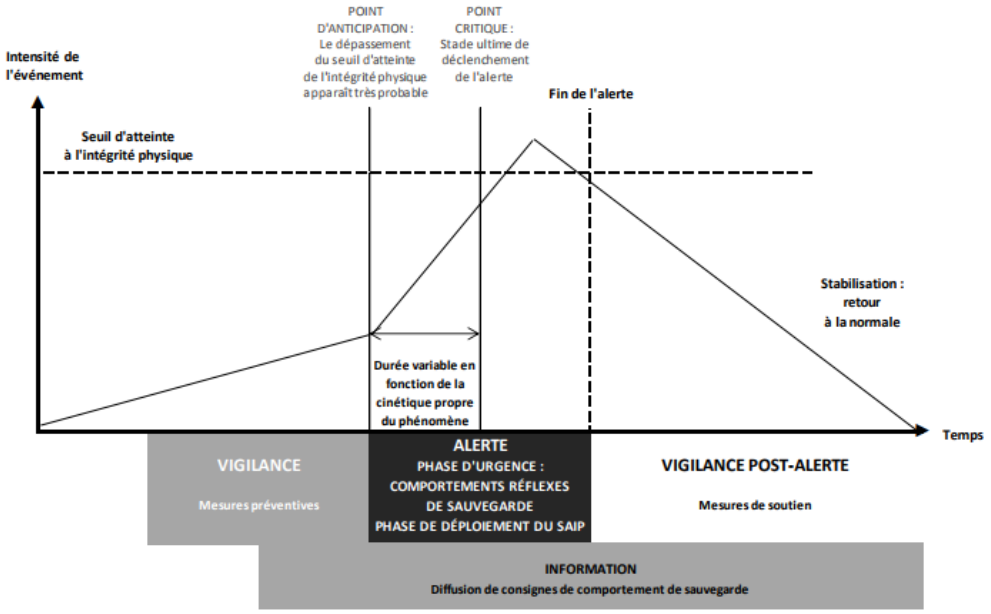


FIGURE 2.3 – Chronologie de la diffusion de l'alerte et de l'information des populations en situation de crise [DGSCGC, 2013a]

L'évolution de l'intensité d'une crise dans le temps permet de définir une chronologie dans la diffusion des messages aux populations. Les messages sont adaptés selon la phase correspondant au moment de diffusion : vigilance, alerte ou vigilance post-alerte.

réponse à une crise [Arru et al., 2016c]. Des ontologies sur les catastrophes ont déjà été proposées dans cet esprit [Jihan and Segev, 2013, Babitski et al., 2009] mais à notre connaissance, elles ne sont pas orientées vers la représentation des systèmes.

2.2.3.1 Diversité des systèmes selon les caractéristiques des prédictions

Mileti et Sorensen (1990) ont proposé de classifier les systèmes d'alerte et les EWS de manière plus fine selon trois grandes caractéristiques liées au risque : le temps de la prédiction, la connaissance de la zone et de la nature des impacts et la facilité couplée à la rapidité à prédire les impacts. Bien que certains risques puissent correspondre à plusieurs catégories de systèmes, cette classification illustrée en figure 2.5 permet de proposer une réelle typologie des systèmes.

A titre d'exemple, Mileti et Sorensen font correspondre un certain nombre d'aléas dans ces différentes catégories, ces exemples sont repris dans le tableau 2.1. Pour chacune de ces catégories, Mileti et Sorensen précisent la structure du système d'alerte correspondant la plus fréquente, ses faiblesses et ses forces. Ils proposent également des recommandations pour adapter ces systèmes, notamment en ce qui

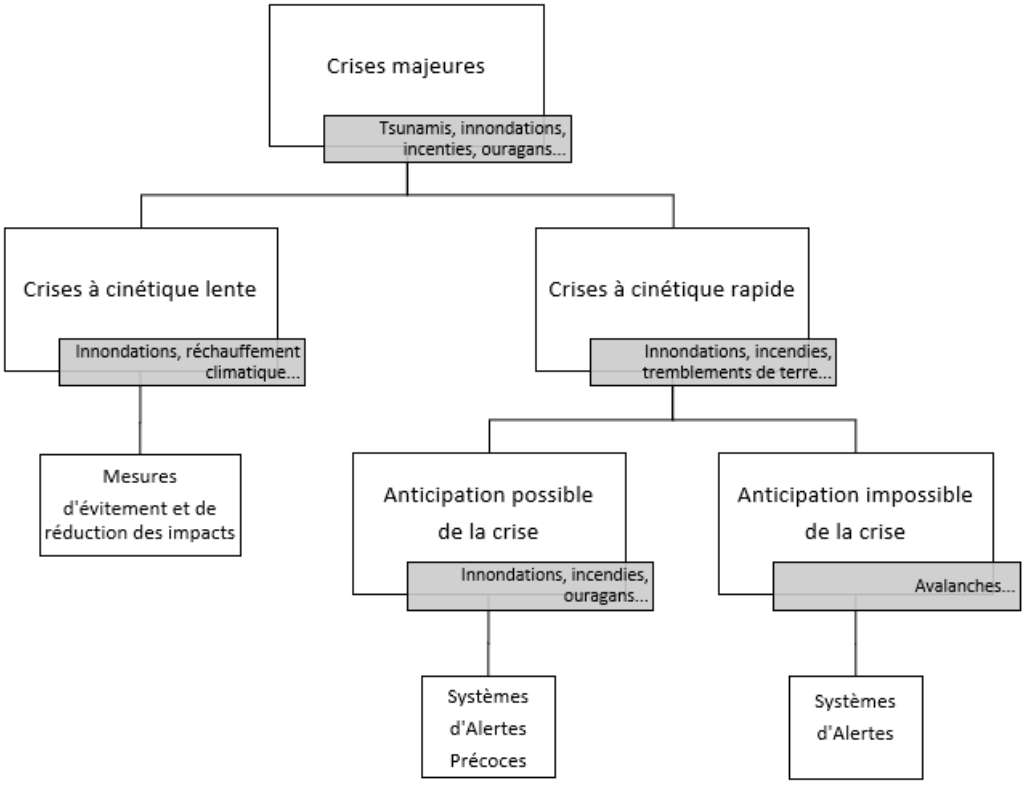


FIGURE 2.4 – Correspondance entre un type de crise donné et le système d'alerte approprié pour y répondre [Arru et al., 2016c]
Deux grands critères permettent de décider de la pertinence de mettre en place un système d'alerte ou un système d'alerte précoce pour répondre à une crise : la cinétique de la crise et la capacité d'anticipation. Pour les crises à cinétique lente, des mesures d'évitement et de réduction des impacts sont privilégiés. Pour les crises à cinétique rapide qu'il est possible d'anticiper, des systèmes d'alerte précoce peuvent être mis en place. Des systèmes d'alerte sont utilisés dans les autres cas.

concerne les chaines de décisions, le contenu et la forme des alertes. Les catégories de risque et la structuration des EWS correspondant que l'on peut déduire de cette classification pourraient correspondre à des comportements différents de la part des populations.

2.2.3.2 La diversité des EWS à travers quatre exemples

Les EWS se caractérisent par une extrême diversité, quand bien même ils sont conçus pour répondre à un même type de risque ils peuvent correspondre à des

Types de EWS	Aléas correspondants
Type 1	
Météorologique	Inondation fluviale
Géologique	Irruption volcanique à cinétique lente, tremblement de terre
Technologique	Rupture de barrage à cinétique lente, accident nucléaire à cinétique lente
Sécurité nationale	Aucun
Type 2	
Météorologique	Aucun
Géologique	tremblement de terre
Technologique	Accident nucléaire, accident à cinétique lente lié au transport de matières dangereuses sur site fixe
Sécurité nationale	Aucun
Type 3	
Météorologique	Ouragan
Géologique	Tsunami distant
Technologique	Aucun
Sécurité nationale	Aucun
Type 4	
Météorologique	Sécheresse
Géologique	Aucun
Technologique	Accident liés au transport de matières dangereuses
Sécurité nationale	Attaque nucléaire, incident terroriste prolongé
Type 5	
Météorologique	Aucun
Géologique	Aucun
Technologique	Aucun
Sécurité nationale	Aucun
Type 6	
Météorologique	Inondation à cinétique rapide
Géologique	Irruption volcanique à cinétique rapide
Technologique	Accident à cinétique rapide lié au transport de matières dangereuses sur site fixe
Sécurité nationale	Aucun
Type 7	
Météorologique	Aucun
Géologique	Aucun
Technologique	Aucun
Sécurité nationale	Aucun
Type 8	
Météorologique	Tornade, avalanche
Géologique	Tsunami local, glissement de terrain
Technologique	Accident lié au transport de matières dangereuses
Sécurité nationale	Attaque nucléaire, attentat terroriste, sabotage

TABLEAU 2.1 – Exemples d'aléas pour chacune des catégories des systèmes d'alerte [Mileti and Sorensen, 1990]

A ce jour, lorsque le temps entre la prédiction de la crise et ses impacts est court, il n'existe pas de système qui permette de prédire facilement et rapidement ses impacts (types 5 et 7).

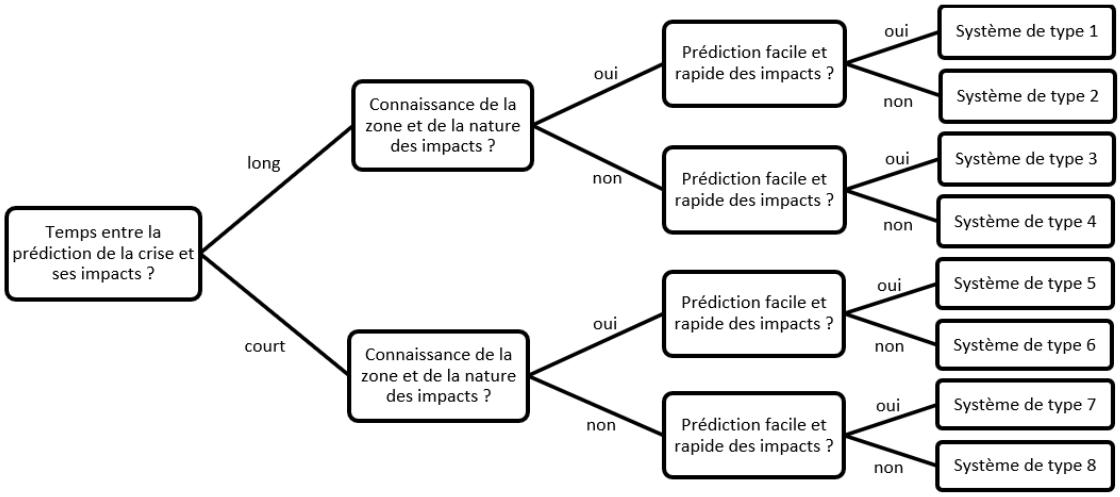


FIGURE 2.5 – Classification des EWS
Les catégories ont été reprises et adaptées de la classification des systèmes d'alerte de Mileti et Sorensen (1990).

implémentations et à des objectifs très différents, selon la zone géographique pour laquelle ils ont été conçus, les caractéristiques du risque concerné et les acteurs impliqués dans le système. Nous illustrerons cette diversité à travers quatre exemples, en se limitant aux EWS conçus pour alerter sur les inondations.

Le EWS communautaire de la ville de Dagupan aux Philippines (171 000 habitants en 2015) [Luneta and Molina, 2008] La création du EWS a été très influencée par le projet national PROMISE de lutte pour une culture de la sécurité et de la résilience dans lequel il s'inscrit. La particularité de ce EWS est dans sa mise en place. Deux ans de travail collaboratif dans des réunions de quartier, avec la participation de la ville, des associations, des groupes religieux ou des médias ont permis de valider les différentes étapes du projet, de l'identification des zones et des populations les plus vulnérables au test du plan d'action. L'implication locale a permis d'accélérer la mise en place du EWS, d'identifier des problèmes tels que la perception inadéquate des différents niveaux de risque, la vulnérabilité accrue de nuit et des problèmes de coordination. Elle a également favorisé la création de nouveaux projets de réduction des risques et de préparation matérielle, et la mise en place d'un centre des opérations d'urgence ouvert tous les jours. Le coût de ce projet pour la création de la structure a été de 185 000 $, il représente 46 000 $ de frais de fonctionnement annuel sur le budget de la ville (5 % du budget de la ville).

Le EWS national allemand de protection contre les inondations [7] En Allemagne, le système d'alerte contre les inondations est décentralisé. Ce sont les 16 états fédérés qui sont en charge de la préparation et de l'alerte inondation. Presque tous les États ont leur propre centre de prévision et d'alerte, souvent soutenu par plusieurs centres régionaux, en coopération avec des organismes fédéraux. L'alerte est pilotée par des structures administratives, et se base sur des modèles de prévision propres aux bassins hydrographiques des différentes régions.

Le EWS vétuste de la République démocratique du Congo [8] Le EWS MettelSat est un exemple de système ancien, qui est devenu inefficace par manque d'entretien et de mises à jour des dispositifs et procédures. Au début des années 1960, MettelSat disposait d'un réseau de 125 stations synoptiques, 700 stations pluviométriques, 6 stations en altitude et d'autres infrastructures. Il ne dispose plus actuellement que de 22 stations synoptiques manuelles et de 27 stations météorologiques automatiques. Le système de communication, basé sur des signaux radio à haute fréquence, des courriers électroniques et la distribution régulière par la poste, est très simple, peu fiable et n'a pas vocation à fonctionner en temps réel. Les installations de maintenance et d'étalonnage sont obsolètes, seuls le thermomètre et les chambres d'humidité fonctionnant toujours. Il n'existe aujourd'hui aucun accord, aucune identification d'exigences ni aucune procédure permettant une collaboration efficace entre les services techniques et la protection civile.

Le système de prédiction des inondations européen (EFAS) [9] Ce système a été développé pour améliorer les prédictions des systèmes nationaux des pays européens et pour alerter ainsi plus tôt les populations lors d'une inondation majeure, en particulier pour les bassins hydrographiques transnationaux. Il est composé de quatre centres : un centre de calcul, un centre de diffusion, un centre de collecte de données hydrologiques et un centre de collecte de données météorologiques. Le système fournit une information complémentaire aux systèmes nationaux, jusqu'à 10 jours avant leurs prédictions.

Ces quatre exemples illustrent qu'il est possible de lutter contre un même risque, à travers l'utilisation de EWS, à des échelles très différentes.

2.2.4 Caractéristiques communes aux EWS

Les EWS sont spécifiques au contexte et au type de risque pour lequel ils sont créés. Beaucoup de facteurs peuvent influer sur leur structure et leur fonc-

7. https ://www.imprex.eu/
8. https ://www.crews-initiative.org/
9. https ://www.imprex.eu/

tionnement (réception des alertes, prises de décision, etc). Ces facteurs peuvent être culturels, environnementaux, économiques ou encore psychologiques. De fortes contraintes économiques par exemple peuvent conduire des agriculteurs à ignorer les alertes si elles sont lancées pendant des périodes de récolte, cette période pouvant être essentielle pour la survie de leur famille [Buchanan-Smith, 2000] ; le contexte électoral également peut avoir une influence dans la réception des alertes, elle peut inciter un gouvernement à bloquer la communication sur un risque élevé de famine comme cela a été le cas en 1992 au Kenya [Buchanan-Smith, 2000] ; l'appartenance à une culture à contexte haut ou à contexte bas [10] peut également influencer les comportements des personnes avant et pendant une catastrophe [Ryan, 2011]. La liste est longue. Dans de telles conditions, il peut être considéré que l'alerte précoce est un « art pas une science » [Buchanan-Smith, 2000], les prédictions permettant de construire les alertes et le contexte de l'alerte sont soumis à de tels aléas que la prise de décision admettra toujours une part de subjectivité.

En dépit de tous ces facteurs contextuels, huit propriétés communes aux EWS doivent être recherchées dans tous les contextes [Glantz, 2003] : continuité des opérations, temps juste de l'alerte, transparence, intégration des moyens d'alerte, capacité humaine appropriée, flexibilité, définition d'un mécanisme de déclenchement des alertes, indépendance de la sphère politique. Ces propriétés peuvent être définies de la manière suivante :

— continuité des opérations - bien que les évènements concernés soient relativement rares, le système ne doit cesser de fonctionner.

— temps juste de l'alerte (voir section 2.2.1) - une alerte lancée trop tard peut ne pas laisser suffisamment de temps aux populations pour mener des actions de sauvegarde, cela peut également être source de peur.

— transparence - un processus transparent permet de participer à maintenir la confiance des acteurs concernés et de la population dans les pouvoirs en charge du système.

— intégration des alertes - un EWS doit être considéré comme une entité interactive au sein du système socio-économique, culturel et politique qui le concerne.

— capacité humaine appropriée - les personnes participant au fonctionnement du système doivent être compétentes à prendre les décisions appropriées.

— flexibilité - un EWS doit pouvoir étendre ses activités à des risques et à des fonctions qui n'ont pas été envisagées en amont.

10. Les concepts de *high-context* (contexte haut) et *low-context* (contexte bas) ont été développés par l'anthropologue américain Edward T. Hall [Hall, 1989]. Dans les cultures à contexte haut, les relations sociales sont très étroitement liées avec un rôle prédéfini par la société alors que, à l'opposé, dans les cultures à contexte bas, la communication est plus directe, la clarté du message est au centre de la conversation et les facteurs non explicites sont délaissés.

— définition d'un mécanisme de déclenchement des alertes - les conditions de déclenchement des alertes doivent être définies, qu'elles soient attachées à un ensemble d'indicateurs quantitatifs ou à une observation anecdotique.

— indépendance de la sphère politique - le système ne doit pas être influencé par les politiques nationales et internationales.

Ces caractéristiques orientent fortement l'architecture des données, de l'information et des connaissances qui soutiennent les EWS. Pour y correspondre, l'information la plus précise possible sur l'événement doit être recherchée, les actions possibles identifiées et classifiées et les ressources recensées.

2.2.5 Causes fréquentes de l'inefficacité de l'alerte

Bien que les propriétés essentielles des systèmes d'alertes aient été bien détaillées dans la littérature et que des orientations pour la mise en place de systèmes efficaces soient largement diffusées, les systèmes opérants présentent aujourd'hui encore certaines faiblesses.

Prise en compte des populations limitée Comme cela a été précisé en section 1.2.2, les EWS ne sont pas suffisament orientés vers les populations, ils ne font pas suffisamment participer les populations aux différentes phases de création, d'évolution ou d'activation du système et ne tiennent pas suffisamment compte de différents facteurs pouvant affecter les comportements des populations en réaction à l'alerte [Basher, 2006, Luneta and Molina, 2008, of Red Cross and (IFRC), 2012, Jacks et al., 2010, David et al., 2017]. Certains systèmes dits communautaires vont dans ce sens mais ils restent minoritaires et localisés [Luneta and Molina, 2008, Cross, 2009].

Des exercices et une sensibilisation sous-exploitée Les exercices liés à l'alerte ne sont pas toujours organisés de façon régulière, et ils sont surtout la plupart du temps inadaptés à la préparation à l'imprévu [Lagadec, 2015]. Généralement organisés de manière partielle (sans intégrer les populations), ils sont structurés autour de scénarios convenus et plus ou moins réalistes. Les exercices sont des événements qui nécessitent toujours beaucoup d'investissement et une mise en difficulté des acteurs qu'appréhendent voire refusent certains d'entre eux.

Les limites de l'expertise Les experts ont une connaissance et une rationalité limitée, ils filtrent le risque en fonction de leur perception. D'autre part les nombreux modèles de simulation qu'ils utilisent dans le travail de préparation à une crise ne sont qu'une représentation imparfaite de la réalité, calibrés sur les données disponibles, ils sont souvent inadaptés pour anticiper les phénomènes rares [Merad, 2010].

Des délais dans les processus de décision Le temps écoulé entre les premiers

signaux d'une crise et le moment de l'alerte aux populations peut être très long au regard du temps dont disposent alors les populations pour réagir. Beaucoup de conséquences dues aux tsunamis, notamment celui qui s'est produit en décembre 2004 dans l'océan Indien, auraient pu être évitées si les décisions d'alerter avaient été prises plus rapidement. Les connaissances actuelles permettent aujourd'hui d'alerter à temps les populations pour qu'elles puissent se protéger de glissements de terrain, d'inondations ou de tsunamis précédés de tremblements de terre [Einstein and Sousa, 2007].

L'importance des fausses informations véhiculées par les médias L'information n'est plus l'apanage des médias traditionnels (télévision, radio, journaux). Elle passe aujourd'hui beaucoup par les réseaux sociaux. Le contenu des informations diffusées sur les réseaux sociaux se différencie par son immédiateté, sa concision, et malheureusement l'imprécision voire la propagation d'informations fallacieuses ou erronées (les *fake news*). Des associations luttent aujourd'hui au niveau mondial pour que la communication de crise sur les réseaux sociaux soit très vite associée à des informations provenant des sources officielles ou puissent être supprimées par les autorités pour mettre fin à la diffusion d'informations erronées ou sources de stress pour les populations. La diffusion de l'information dans les réseaux sociaux et sur internet représente aujourd'hui encore un enjeu. Patrick Lagadec définit parfois les médias comme un contre-pouvoir qui a la capacité d'influencer les populations à court terme dans leurs perceptions du risque et leurs réactions à l'alerte mais qui a aussi des effets à plus long terme sur cette même perception et sur l'anticipation du risque par les populations (sans parler des conséquences politiques et économiques qui ne font pas partie de cette étude) [Lagadec, 1991].

Manque d'adaptation et de créativité Au delà de la définition de procédures et de simulations bien calibrées pour se préparer à faire face à une catastrophe, Quarantelli insiste sur l'importance de développer des réflexes et une attitude créative pour faire face à un risque établi [Quarantelli, 1988]. Très rares sont les cas où les prédictions liées à des événements rares se sont avérées exactes. Les choses ne se déroulent jamais comme prévu et ce sont bien souvent les effets dominos qui suivent un événement prédit qui se révèlent à l'origine des événements aux conséquences les plus désastreuses. Cela s'est produit de manière manifeste à Fukushima en 2011. Le séisme du 11 mars enregistré au large des côtes Est du Japon a entrainé un tsunami qui a provoqué la mort de milliers de personnes et une rupture de courant accompagnées d'un endommagement des quatre réacteurs de la centrale de Fukushima-Daiichi qui ont entrainé une série d'explosions, une contamination de l'eau rejetée dans l'océan et la formation de nuages radioactifs. Ces conséquences dans les jours qui ont suivi le séisme ont entrainé à plus long terme de très lourdes conséquences sociales, économiques et politiques à un niveau planétaire.

2.3 Cadre général de l'alerte en France

2.3.1 La gestion de crise en France

L'organisation de la gestion de crise en France repose sur le principe de subsidiarité, elle s'appuie sur les échelons communal, départemental et national tels que représenté de manière simplifiée dans la figure 2.6 (le niveau zonal étant un niveau de coordination).

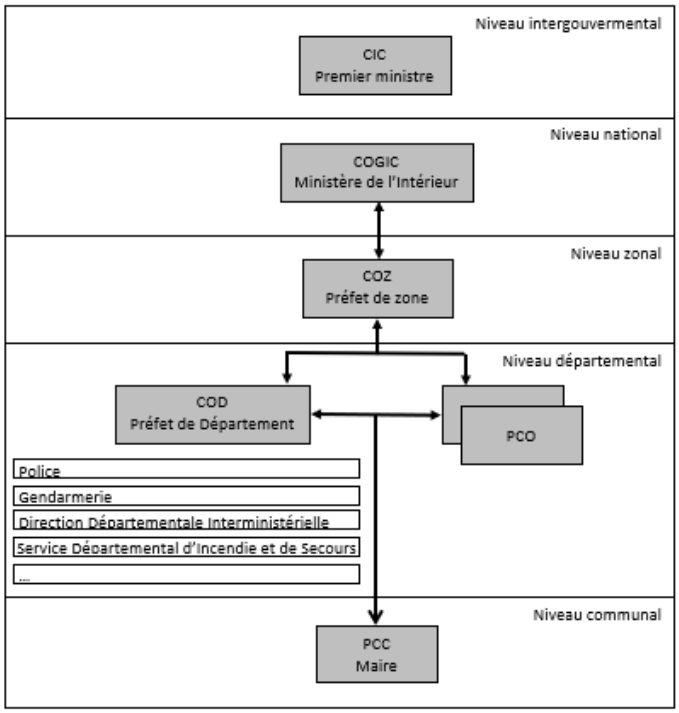


FIGURE 2.6 – La gestion de crise en France, une organisation hiérarchique [DGSCGC, 2006]

Le niveau national est un niveau stratégique, dont la gouvernance incombe au Premier Ministre. Le dispositif gouvernemental de planification de sécurité nationale est piloté par le Secrétariat général de la défense et de la sécurité nationale (SGDSN). Le système de gestion de crise s'appuie au niveau stratégique sur la Cellule interministérielle de crise (CIC) située au ministère de l'Intérieur, place Beauvau, et regroupant l'ensemble des ministères concernés. La gestion de crise des grands ministères régaliens se structure autour de centres opérationnels de recueil des informations, de planification des opérations et de gestion de crise activés en permanence. Pour le ministère de l'Intérieur par exemple il s'agit du COPN (Chef des opérations de la police nationale) de la police, du CROGEND (Centre de renseignement opérationnel de la gendarmerie) de la gendarmerie et du COGIC

(Centre opérationnel de gestion interministérielle des crises) de la sécurité civile. Le rôle de la CIC est de produire des synthèses interministérielles reposant sur des évaluations et analyses multisectorielles pertinentes, de prendre des décisions stratégiques en veillant à la cohérence d'ensemble de la réponse, dans une approche systémique (globale) plutôt que sectorielle, et de proposer une stratégie de communication gouvernementale coordonnée.

Rattachée au ministère de l'Intérieur, la structure centrale, responsable de la gestion des risques en France est la Direction générale de la sécurité civile et de la gestion des crises (DGSCGC) qu'il s'agisse des accidents de la vie courante ou des catastrophes majeures. Elle est notamment chargée de garantir la cohérence de la sécurité civile au plan national, d'en définir la doctrine et d'en coordonner les moyens.

Dans ce système, le niveau régional n'a pas de compétence opérationnelle ni de structure spécifique pour la gestion de crise. Le niveau zonal est reconnu comme l'échelon déconcentré de premier niveau pour la sécurité nationale et la gestion de crise. Il s'organise autour d'un état-major interministériel de zone (EMIZ) et d'un centre opérationnel zonal (COZ) qui détiennent le rôle d'animateur et de soutien de l'échelon départemental.

Le niveau départemental est le deuxième échelon interministériel de planification, de préparation et de gestion de crise, il est le niveau tactique. Le préfet de département est, lorsqu'une crise dépasse l'échelon communal, le directeur des opérations de secours (DOS) ce qui lui confère des responsabilités régaliennes et pénales dans la gestion de la crise. Le niveau départemental s'articule autour d'un centre opérationnel départemental (COD) et d'un poste de commandement opérationnel (PCO).

Le niveau communal de gestion de crise enfin s'appuie sur un poste de commandement communal (PCC). L'organisation du PCC n'est pas formalisée dans une documentation règlementaire, sa structure dépend de la taille de la commune et de ses possibilités humaines et financières à armer une telle structure.

Cette organisation fait partie du dispositif ORSEC. En France, l'organisation de la direction des secours pour la mobilisation des moyens publics et privés nécessaires à la gestion de toutes les situations d'urgence est définie par ce dispositif. Il ne s'agit pas d'un plan figé, il permet de s'adapter pour faire face à des événements uniques. C'est le préfet de département qui décide de l'activation du dispositif ORSEC et qui le dirige. Le dispositif permet de garantir une cohérence entre l'organisation et les actions réalisées dans les cinq phases du cycle de la gestion des risques : prévention, préparation, réponse, post-crise et réparation.

2.3.2 Un système national pour l'alerte précoce aux populations

En France, la protection contre les accidents et les crises est une des fonctions assurées par l'État. Sur le plan opérationnel, ce sont principalement les équipes de la sécurité civile qui sont en charge de cette mission. Ces équipes reposent sur des services spécialisés tels que les sapeurs-pompiers, les unités militaires de formation et d'intervention, les pilotes d'avions et d'hélicoptères ou encore les experts du déminage. Leurs actions sont dirigées par la DGSCGC, sous la tutelle du ministère de l'Intérieur. Cette direction est également en charge de la conception des plans et mesures d'évaluation des risques, de la préparation aux crises, la coordination et l'application des plans et mesures. Elle est en charge du système d'information et d'alerte aux populations, de la prévention des risques civils de tous types et de la planification des mesures de sécurité civile. L'organisation de ces activités est définie par la loi n° 2004-811 du 13 août 2004 de modernisation de la sécurité civile, qui précise notamment les contours du plan ORSEC, l'organisation, les plans d'action et les processus relatifs à la réponse de la sécurité civile à la crise. Cette organisation repose sur les 101 préfectures présentes sur le territoire français.

En France, les quatre parties du système d'alerte (connaissance des risques, services d'alerte, diffusion des alertes, capacité de réponse et préparation à agir) sont pensées et gérées indépendamment les unes des autres. Le cœur du système d'alerte qui concerne la diffusion de l'alerte et de l'information aux populations est néanmoins clairement défini par une doctrine d'état qui a fait l'objet d'un guide ORSEC défini par le ministère de l'Intérieur [DGSCGC, 2006]. Y sont définies de manière générale les éléments justifiant la diffusion d'une alerte, les comportements attendus des populations, le processus d'alerte, les moyens d'alerte, les contenus des messages et les zones et bassins d'alerte.

Outre le RNA (Réseau national d'alerte), la France dispose de différents moyens pour alerter et informer ses populations. Chacun de ces moyens présente des atouts et des limites qui en font des instruments plus ou moins pertinents de la gestion de crise, selon la situation. La pertinence des moyens d'alerte est relative à leurs capacités à alerter et à informer les populations et à leurs capacités de diffusion (qu'elles soient massives ou ciblées). Les moyens d'alertes existants en France ou qui pourraient être déployés sont présentés tableau 2.2. Ces moyens permettent ou bien d'alerter les populations uniquement, ou bien de leur fournir de l'information sur le risque et les comportements à adopter, ou encore remplir ces deux fonctions. Chacun de ces moyens admet des limites. Elles peuvent être relatives aux zones du territoire couvertes, à la nécessité de mettre à jour des informations de fonctionnement ou à l'investissement représenté.

	Alerte	Info.	Limites	Diffusion massive	Diffusion ciblée
Sirènes fixes	x		Couverture limitée	x	
Automates d'appel	x	x	Annuaires incomplets	x	x
Médias traditionnels (radio, TV)	x	x	Nécessite d'être en marche	x	
Internet (réseaux sociaux et sites web)		x	Nécessite une consultation Ciblage difficile	x	
Boîtiers d'alerte [11]	x	x	Investissement financier	x	x
Services de diffusion cellulaire [12](cell broadcast)	x	x		x	x
Ensembles Mobiles d'Alerte [13]et mégaphones	x	x	Couverture et périmètre limités		x
Panneaux à messages variables		x	Nécessite une consultation		x
Porte-à-porte	x	x	Périmètre limité Moyens nécessaires importants		x
Diffusion de courriel		x	Nécessite une mise à jour de la base de données	x	x
Tocsin	x		Risque de mauvaise interprétation et couverture limitée	x	

Tableau 2.2 – Comparatif des moyens d'alerte et d'information
Source : IRMa, janvier 2013

2.3.3 Le processus général de décision de l'alerte

La décision de déclenchement de l'alerte relève de l'exercice d'un pouvoir de police administrative générale, conformément aux dispositions légales et réglementaires en vigueur. L'alerte s'intègre dans un ensemble de mesures de protection des populations, intimement liée à la gestion de crise. Lors d'une opération de secours, l'alerte est une des responsabilités associées à la direction des opérations de secours (DOS). Elle est, sauf cas exceptionnels, exercée par le maire dans le cadre de ses

pouvoirs de police administrative générale ou par le préfet.

Le maire est l'autorité de droit commun chargée de prendre la décision de déclencher l'alerte, conformément à l'article L.2212-2-2 du Code général des collectivités territoriales. La jurisprudence du Conseil d'État précise le champ d'intervention du maire en établissant qu'il incombe au maire, au titre de ses pouvoirs de police générale, de préparer les situations de crise susceptibles de se présenter sur le territoire de sa commune, et notamment de mettre en œuvre les mesures d'alerte et d'information des populations (arrêt du Conseil d'État du 22 juin 1987). Le plan communal de sauvegarde fixe l'organisation nécessaire à la diffusion de l'alerte et des consignes de sécurité.

Le préfet de département dispose également d'une compétence en la matière qui intervient dans l'un des quatre cas suivants :

— en cas de danger sur le territoire de plusieurs communes au sein d'un même département,

— en cas de carence du maire (pouvoir de substitution du préfet),

— en cas d'événement qui dépasse les capacités de la commune,

— en cas d'événement de vaste ampleur qui justifie à ses yeux qu'il prenne la direction des opérations de secours.

L'alerte est alors diffusée directement ou ordonnée au maire par le préfet de département. Quand le préfet est à l'origine du déclenchement de l'alerte, le maire peut être amené à compléter sa diffusion par tous les moyens à sa disposition (mégaphones, panneaux à message variable, diffusion de courriels, etc). Dans l'hypothèse où le préfet prend la direction des opérations de secours, dès lors que l'urgence de la situation l'exige, le maire demeure compétent pour déclencher l'alerte, par tous les moyens à sa disposition. Il doit en informer le préfet. Enfin, au niveau national, le Premier Ministre (titre III de la constitution), le ministre de la défense et le ministre de l'Intérieur (articles L.1142-1 et L.1142-2 du code de la défense), disposent de la possibilité de décider du déclenchement de mesures d'alerte. En toute cohérence, ces interventions sont limitées généralement à des situations particulièrement graves concernant une zone géographique importante. En tout état de cause, quelle que soit l'autorité investie du pouvoir de décider de l'alerte, celle-ci est libre de choisir les vecteurs de diffusion de cette alerte. L'obligation attachée à cette mission est une obligation de résultat, non de recourir à des moyens particuliers (sirènes, plutôt qu'automates d'appel, par exemple).

13. Les boîtiers diffusent des signaux et messages d'alerte directement chez les habitants, au sein de chaque foyer équipé du système

13. Ces services permettent la diffusion d'un message d'alerte sur l'ensemble des téléphones portables dans une zone géographique donnée sans inscription préalable sur un quelconque registre

13. Systèmes de haut-parleur installés sur le toit d'un véhicule et permettant de diffuser un signal ou un message

Des adaptations du plan ont été définis pour plusieurs cas particuliers : les exploitants de certains sites, présentant des risques de nature particulière pour les populations environnantes ou en cas de péril imminent.

Ainsi, en France, la décision d'alerter les populations incombe en premier lieu au préfet de département, qui met en œuvre l'alerte conjointement avec le maire. Les acteurs disposent pour la mise en œuvre de l'alerte d'une grande liberté dans le choix des moyens de diffusion.

2.4 Synthèse

La crise est une notion complexe, plusieurs typologies en ont été proposées, en fonction des caractéristiques associées, de la cause du risque ou selon des perceptions des populations concernées. Des processus communs de gestion de crise permettent de les encadrer, que nous définissons dans ce document pour reprendre la formule de Lagadec comme « l'ensemble des techniques, des modes d'organisation et des moyens à mettre en œuvre pour permettre aux services de l'État de se préparer et de faire face à un événement impactant la sécurité des personnes et des biens » [Lagadec, 1995]. La gestion de crise est également un enjeu de politiques publiques, qui implique de nombreux acteurs et des processus de décision soumis à divers biais cognitifs. Des cellules de crise sont généralement mises en place pour réunir les acteurs concernés et permettre de prendre les décisions les plus éclairées possible.

Dans ce cadre, les acteurs disposent de différents outils pour anticiper une crise et y répondre, dont font partie les systèmes d'alerte précoce (EWS). La particularité de ces outils est d'aider à la résolution de crises de différentes natures, à travers la surveillance d'aléas par des indicateurs, l'évaluation de risques, la diffusion d'alertes, la définition de plans d'action et la préparation des individus, communautés, gouvernements, entreprises et autres organisations à prendre des mesures appropriées en cas d'alerte pour réduire les conséquences d'une crise majeure. Ainsi, les EWS sont des outils présentant des caractéristiques (et des propriétés) communes mais qui peuvent être très différents selon la nature de la crise pour laquelle ils ont été mis en place. Malgré l'utilisation de EWS pour l'anticipation des crises majeures et les leçons tirées des crises passées, ces systèmes présentent encore des limites : une prise en compte des populations limitée, une préparation à travers des exercices et des actions de sensibilisation sous-exploitée, un recours à des experts de manière parfois inappropriée, des délais dans les processus de décision et l'influence considérable que peuvent prendre les médias.

En France, le système d'alerte précoce s'inscrit dans un cadre général régi par plusieurs lois. Le système d'alerte et d'information aux populations en est la base, qui a pour mission de fournir aux populations les éléments nécessaires à la mise

en œuvre de comportements réflexes de sauvegarde. Elle s'articule selon le dispositif ORSEC départemental au sein d'une structure hiérarchisée, dont le maire est l'autorité de droit commun chargée de prendre la décision de déclencher l'alerte.

Le cadre contextuel dans lequel s'inscrit ce document est ainsi contraint par le concept de risque et l'incertitude qui y est attachée. Cette incertitude touche en particulier les décisions qui concernent les populations. En effet, les populations ne sont généralement pas représentées lors de la conception des EWS, dans les exercices de simulation de crises ou dans les décisions prises en cellule de crise. Elles sont considérées comme un acteur à part, mais directement concerné par l'alerte qui doit les amener à adopter des comportements de sauvegarde, comportements qui ont un impact majeur dans les conséquences des crises. Dans cette thèse, nous proposons une démarche pour aider les décideurs à alerter les populations de manière à ce qu'elles adoptent des comportements appropriés. Cela nous amène dans le chapitre suivant à définir de quelle manière proposer cette aide à la décision, et à identifier les connaissances qui peuvent en être le support.

CHAPITRE 3

ÉTAT DE L'ART

Sommaire

2.1 Gestion de crise 23

2.1.1 Les concepts de crise et de gestion de crise 23

2.1.1.1 Définitions 23

2.1.1.2 Différentes façons de penser la crise et de la gérer 24

2.1.2 Typologies des risques 25

2.1.3 Problématiques liées à la gestion des connaissances . . . 27

2.1.4 Les décisions de crise 29

2.1.4.1 Spécificités de la décision en gestion de crise . 29

2.1.4.2 Influence des biais cognitifs sur la prise de décision 30

2.1.4.3 Les apports de l'aide à la décision dans le contexte particulier de l'application des politiques publiques 31

2.2 Les Systèmes d'Alerte Précoce (EWS) 33

2.2.1 Principes généraux 34

2.2.2 La réponse à l'alerte 36

2.2.3 Diversité des EWS 37

2.2.3.1 Diversité des systèmes selon les caractéristiques des prédictions 38

2.2.3.2 La diversité des EWS à travers quatre exemples 39

2.2.4 Caractéristiques communes aux EWS 42

2.2.5 Causes fréquentes de l'inefficacité de l'alerte 44

2.3 Cadre général de l'alerte en France 46

2.3.1 La gestion de crise en France 46
2.3.2 Un système national pour l'alerte précoce aux populations 48
2.3.3 Le processus général de décision de l'alerte 49
2.4 Synthèse 51

Ce chapitre est consacré à une présentation non exhaustive des différentes approches de l'aide à la décision en commençant par bien définir le concept de connaissance et la façon dont il est employé dans ce document comme fondement de l'aide à la décision. Nous proposons ensuite un aperçu des travaux de modélisation réalisés sur les comportements des populations en situation de crise. Ces modèles sont issus de la littérature en sciences économiques, sciences humaines et en intelligence artificielle. Les éléments d'état de l'art présentés donnent lieu enfin à un positionnement de nos travaux par rapport à ces derniers.

3.1 Différentes approches de l'aide à la décision

3.1.1 De l'apport de connaissances à l'aide à la décision

3.1.1.1 La connaissance comme ressource

Le terme de connaissance est souvent confondu avec les termes d'information ou même de donnée. L'étude Delphi menée entre 2003 et 2005 [Zins, 2007] illustre bien la difficulté à définir ces concepts. Un panel international et interculturel de 57 participants venant de 16 pays différents ont proposé leur définition des termes de donnée, information et connaissance à partir de questions fermées et ouvertes. Cette étude a permis d'identifier 130 définitions différentes, plus ou moins complètes et cohérentes, qui ont été organisées selon une carte de concepts. La géographie de cette carte illustre bien la complexité à établir une vision unifiée de la gestion de données, en particulier dans des contextes internationaux.

Nous basons notre définition des connaissances sur l'hypothèse de Tsuchiya (1993) relative à la capacité de création de connaissances. Tsuchiya explique que si les termes « données », « informations », et « connaissances » sont souvent utilisés indifféremment, il existe une distinction claire entre eux. Quand un sens est fourni à une donnée ou à un ensemble de données, elle devient de l'information, et lorsque l'information est interprétée par une personne, elle devient de la connaissance ([Tsuchiya, 1993], page 88). En d'autre termes, nous pouvons dire que la connaissance résulte du sens fourni, à travers des schémas d'interprétation individuels, aux données perçues à travers les informations qui sont transmises [Arduin et al., 2015]. Ces définitions sont basées sur les concepts de « *sense-giving* »

et « *sense-reading* » que Polanyi définit de la manière suivante : ce sont les deux façons dont nous dotons nos propres termes par notre entendement et dont nous attribuons du sens aux énoncés des autres. Ce sont des « actes » de connaissance tacite [Polanyi, 1967].

Or un des enjeux majeurs pour toute organisation est de capitaliser sur ses connaissances. Cet enjeu a été formulé dès 1991 par Thomas A. Stewart (1991) pour alerter les entreprises sur la nécessité pour elles d'exploiter leur potentiel en investissant sur les connaissances. Il déclare que le capital intellectuel est en train de devenir l'atout le plus précieux de l'entreprise et peut être son arme concurrentielle la plus efficace. Le défi consiste pour les entreprises à repérer ce dont elles disposent et à en faire usage [1]. Stewart a ainsi ouvert la voie à tout un domaine de la gestion des connaissances basé sur la création de méthodes d'aide à la décision, telles que la méthode GAMETH [Grundstein and Rosenthal-Sabroux, 2004]. Des travaux d'envergure, basés sur des réseaux d'acteurs, peuvent également tirer bénéfice de la capitalisation sur les connaissances. Les travaux de pilotage menés par Vernier et al. sur des programmes agro-environnementaux [Vernier et al., 2017] en sont un exemple récent.

Dans notre approche, le comportement d'un individu découle directement des connaissances et informations dont il dispose. Un des objectifs de la démarche, qui est présentée dans le chapitre 4, est de faire le lien entre les connaissances qui sont directement à l'origine des comportements des populations et les données permettant de les « caractériser ». Il s'agit d'un processus de gestion de connaissances [Arduin et al., 2013].

3.1.1.2 Connaissances tacites et connaissances explicitées

En référence à [Arduin et al., 2015] notre définition des connaissances est ainsi basée sur trois postulats que nous allons détailler ci-après : (1) la connaissance n'est pas un objet, (2) la connaissance est liée à l'action et (3) la connaissance d'entreprise comprend deux catégories de connaissance que sont les connaissances explicitées et les connaissances tacites. Nous considérons pouvoir appliquer ces postulats au contexte de la gestion de crise, dans la mesure où nous considérons les EWS comme des systèmes d'information et de connaissances (SICO) [2] [Arru et al., 2016b, Arru et al., 2018a]. Ces trois postulats sont définis comme suit :

1. *La connaissance n'est pas un objet* : la connaissance réside dans l'interaction

1. « Intellectual capital is becoming corporate America's most valuable asset and it can be its sharpest competitive weapon. The challenge is to find what you have – and use it » [Stewart, 1991]

2. Un SICO peut être compris comme l'interaction entre un système d'information, qui en constitue le support technique, et un système de connaissances, pour permettre de répondre à un enjeu donné.

entre un schéma d'interprétation et des données. Ce postulat est basé sur les théories développées par [Tsuchiya, 1993], qui s'intéresse à la construction des connaissances tacites des individus. Les connaissances ne peuvent pas être traitées comme des objets. Elles résultent de la rencontre entre données et sont traitées selon le schéma d'interprétation du sujet. Cette connaissance individuelle tacite peut être exprimée ou ne pas l'être. Elle devient collective dès lors qu'elle est partagée par d'autres personnes, dont les schémas d'interprétation sont « commensurables », c'est-à-dire des schémas qui permettent un niveau d'interprétation commun minimal, partagé par un grand nombre. Dans un contexte de gestion de crise, les connaissances sont difficilement partageables par l'ensemble de l'organisation. Les acteurs impliqués doivent néanmoins communiquer suffisamment pour assurer une vision globale commune des processus.

2. *L'action est liée à la connaissance* : Dans une organisation, l'action effectuée dépend de la connaissance acquise et l'action génère la création de connaissances, celles-ci étant essentielles pour assurer le bon fonctionnement des projets et des processus. Dans la gestion de crise, ce postulat est particulièrement critique. Les éléments de contexte tels que l'environnement socio-économique ou le temps écoulé depuis la dernière crise de même type peuvent avoir un impact considérable sur les actions menées. Or, la connaissance contextuelle au sens large et sur un temps qui peut être très long (plusieurs années peuvent s'écouler entre deux catastrophes) est particulièrement difficile à acquérir.
3. *La connaissance d'entreprise comprend deux grandes catégories de connaissance* : Au sein d'une organisation, la connaissance comprend l'ensemble des connaissances explicitées d'une part, composées de tous les éléments tangibles (appelés « savoir-faire »), et d'autre part des connaissances tacites, intangibles (appelés « compétences »). Les éléments tangibles sont formalisés sous forme physique (dans des bases de données, procédures, plans, modèles, algorithmes, documents d'analyse, etc) et sont intégrés ou non dans des systèmes de gestion automatisés. Les éléments intangibles sont pour leur part inhérents aux individus qui les portent, en tant que « routines » - processus individuels ou collectifs non-écrits, ou en tant que connaissances personnelles (compétences, arts, expérience, etc). Les acteurs doivent agir aussi bien selon des connaissances explicitées, des mesures de capteurs, des documents par exemple, que selon des connaissances tacites souvent acquises par l'expérience.

3.1.1.3 L'aide à la décision fondée sur les connaissances

L'aide à la décision a pour objectif de fournir des éléments de réponse rationnels, sous forme d'informations, à des décideurs confrontés à un ou plusieurs problèmes complexes. Ils peuvent être complexes de part le contexte dans lequel ils s'ins-

crivent, ou de part les solutions possibles au problème et les conséquences qu'elles impliquent. Ainsi l'aide à la décision peut s'avérer utile dans des problèmes d'évaluation, de planification, d'allocation de ressources, de dimensionnement, d'optimisation, etc.

L'aide à la décision est définie par Roy et Bouyssou (1993) comme « l'activité de celui qui, prenant appui sur des modèles clairement explicités mais non nécessairement complètement formalisés, aide à obtenir des éléments de réponse aux questions que se pose un intervenant dans un processus de décision, éléments concourant à éclairer la décision et normalement à recommander, ou simplement à favoriser, un comportement de nature à accroitre la cohérence entre l'évolution du processus d'une part, les objectifs et le système de valeurs au service desquels cet intervenant se trouve placé d'autre part ». L'objectif dans le processus de décision est de proposer au décideur des éléments de réponse pour éclairer la décision ou pour favoriser un comportement qui améliore la cohérence du système par rapport à des objectifs ou un système de valeurs. Il ne s'agit pas de fournir une décision ni de délivrer un processus d'automatisation. Il peut s'agir, par contre, de permettre au décideur de légitimer une décision qu'il puisse défendre objectivement et faire accepter par un ensemble d'acteurs. La décision se justifie ou bien au moment de la décision ou bien *a posteriori*. « La décision n'est rien sans ce processus intellectuel qui la fait émerger ; l'aide à la décision est cette démarche par laquelle se construit pas à pas la légitimité de la décision au sein de l'organisation » [Roy, 2000].

Le processus d'aide à la décision peut concerner les décisions internes à un processus d'expertise et les décisions externes. Les décisions internes ont une exigence technique forte, elles se basent sur des éléments objectifs et clairement définis. Au contraire, dans les décisions externes, celles qui nous intéressent dans ce document, des éléments beaucoup plus subjectifs interviennent, d'ordre psychologique par exemple, affectif, politique ou stratégique [Tacnet et al., 2010]. Bien que la limite entre les processus liés à ces deux types de décision ne soit pas clairement définie, dans les deux cas l'approche utilisée est différente. Bien souvent, les décisions internes sont dictées par les avis des experts [Tacnet et al., 2010]. Pour des décisions externes, ne pas pouvoir se reposer sur les avis des experts implique une plus grande attention et un plus fort besoin de comprendre les enjeux de la décision.

Nous ne prétendons pas ici faire une liste exhaustive des modèles d'aide à la décision utilisés en gestion de crise, notre objectif est d'en présenter les principales approches prédictives. Elles sont présentées ici selon deux grandes catégories, les approches que l'on qualifiera d' « explicatives », dans le sens où elles permettent de générer un modèle de décision sous forme d'arbre ou d'une pondération des indicateurs qui permettent aux décideurs de comprendre en partie la façon dont les données ont été prises en compte dans le résultat fournit par les algorithmes. Les approches « non explicatives », souvent considérées comme plus performantes car elles mettent en œuvre des mécanismes de raisonnement qui peuvent être plus

complexes que dans le premier type d'approches, fonctionnent à la manière de boîtes noires dont seul le résultat est fourni.

Il convient de préciser que la frontière entre ces deux grands types d'approches n'est pas clairement définie, il existe par exemple dans l'approche par les systèmes de recommandations certains algorithmes qui permettent de fournir des éléments sur les données qui ont conduit au résultat [Tintarev and Masthoff, 2007].

3.1.2 Approches non explicatives

Les approches non explicatives n'ont pas été retenues pour la démarche proposée dans ce document. En effet, les décisions concernées par l'aide à la décision sont des décisions externes (qui font intervenir des facteurs divers : psychologiques, affectifs, politiques, etc.) et les décideurs ne sont pas des experts en informatique. Des modèles explicatifs permettent, dans ce contexte, de mieux s'approprier les résultats. Nous présentons néanmoins de manière très succincte deux principales approches non explicatives d'aide à la décision qui, selon les jeux de données, peuvent s'avérer très performantes et pourraient ainsi être choisies par les décideurs.

3.1.2.1 Réseaux de neurones

Les réseaux de neurones [Schmidhuber, 2015] sont parmi les outils de modélisation les plus utilisés, en particulier pour les problèmes difficiles, lorsque la variable à prédire repose sur de nombreuses interactions entre les attributs explicatifs. La structure générale d'un réseau de neurones est présentée figure 3.1. Elle a été inspirée à l'origine par le fonctionnement des neurones biologiques. Chaque neurone peut manipuler des valeurs binaires ou réelles qu'elle reçoit en entrée et fournir un résultat en sortie grâce à une fonction d'activation.

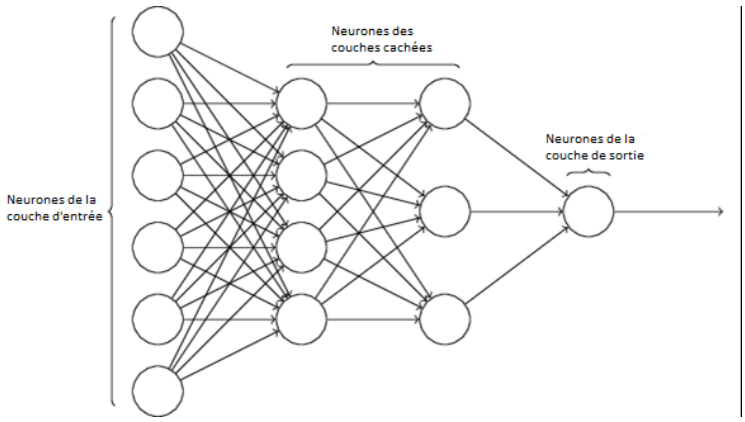


FIGURE 3.1 – Réseau de neurones multicouches [Zighed and Rakotomalala, 2002]

Un réseau de neurones est constitué d'un grand nombre de neurones interconnectées et se compose en couches successives. Les neurones de chaque couche n'ont pas de connexions entre eux et les neurones des couches cachées sont connectés en entrée à chacun des neurones de la couche précédente et en sortie à chaque neurone de la couche suivante.

Les valeurs des n variables explicatives des individus de l'échantillon d'apprentissage sont notées $X_1, ..., X_n$, avec $n \in \mathbb{N}$. Elles sont fournies en entrée du réseau. Chaque neurone de la couche cachée transforme son entrée (somme des entrées pondérées) en une sortie suivant un filtre qui est généralement une fonction à seuil comprise entre -1 et $+1$.

Un réseau de neurones multicouches réalise ainsi une transformation des n variables d'entrée, $X_1, ..., X_n$ dans une variable de sortie Y, qui constitue la variable à prédire :

$$Y = f(X_1, ..., X_n; \alpha) \tag{3.1}$$

où α est le vecteur contenant chacun des poids des neurones de la deuxième à la dernière couche.

La valeur résultant du ou des neurones de la couche de sortie est comparée aux valeurs attendues correspondant à la variable à prévoir. Si l'écart est jugé « faible » sur un nombre suffisant d'itérations, on considère alors que le réseau a appris le problème. L'apprentissage consiste à trouver les poids de toutes les connexions de sorte que l'erreur moyenne de prédiction, calculée sur les individus de la base d'apprentissage, soit jugée faible. Dans le cas où cette erreur est considérée comme importante, les poids de toutes les connexions sont modifiés de l'arrière vers l'avant selon une règle dite de rétropropagation de l'erreur, version dérivée de l'algorithme de descente de gradient [Parizeau, 2004].

Dans les réseaux de neurones, la principale difficulté réside dans le choix de la bonne architecture : le nombre de couches cachées et le nombre de neurones par couche cachée. Les couches d'entrée et de sortie sont déterminées par la nature du problème, le nombre de neurones de la couche d'entrée est le plus souvent égal au nombre de variables explicatives et le nombre de neurones de la couche de sortie est égal au nombre de variables à prévoir.

3.1.2.2 Réseaux bayésiens

Les réseaux bayésiens sont apparus dans le début des années 1980 [Lauritzen and Spiegelhalter, 1988]. Rendus populaires par un groupe de recherche de la firme Microsoft qui les a introduit dans les systèmes d'aide contextuelle de la suite bureautique Microsoft Office [Heckerman et al., 1995], ils sont maintenant

très utilisés dans la modélisation de processus complexes de décision. Les réseaux bayésiens reposent sur le théorème de Bayes, souvent appelé « théorème de probabilité des causes » [Pearl, 1982]. Ce théorème permet de déduire la probabilité conditionnelle d'un événement A, par rapport à un événement B, qui est réalisé, en connaissant les probabilités de A et de B ($P(A)$ et $P(B)$) et la probabilité conditionnelle de B sachant A, $P(B|A)$. La formule en est la suivante :

$$P(A|B) = \frac{P(B|A)P(A)}{P(B)} \tag{3.2}$$

Un réseau bayésien est souvent présenté sous la forme d'un graphe acyclique dirigé dont les nœuds représentent des variables aléatoires et les arcs respectent une structure de dépendances et indépendances conditionnelles. Chaque nœud du graphe est associé à une distribution qui définit la probabilité de chaque état du nœud en fonction de ses états parents. Cette distribution est généralement représentée par un tableau de probabilités, comme on peut l'observer sur la figure 3.2.

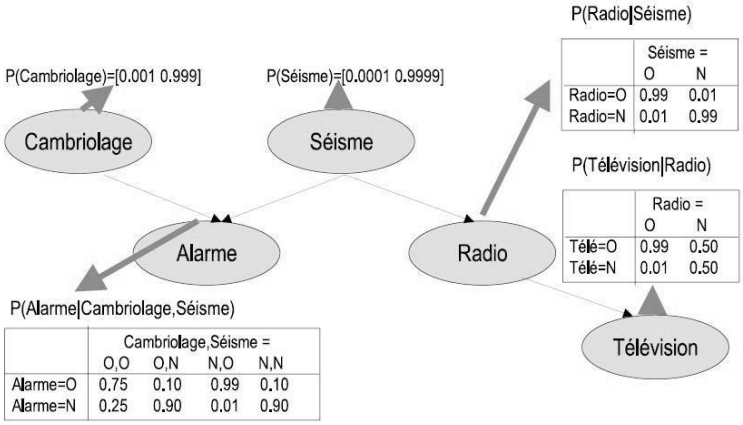


FIGURE 3.2 – Réseau bayésien simplifié modélisant un contexte de déclenchement d'une alarme [Leray, 2008]

Dans cette figure, la probabilité de déclenchement de l'alarme dépend de la probabilité d'occurrence d'un cambriolage et de la probabilité de survenue d'un séisme. La probabilité de séisme est dépendante également de la probabilité qu'une information sur le séisme soit diffusée à la radio et indirectement à la télévision.

De nombreux algorithmes d'inférence existent qui permettent de propager des informations dans ce type de réseaux [Pearl, 2014, Jensen, 1994]. Ces méthodes sont malheureusement trop lourdes à utiliser pour des réseaux de très grande taille, ou fortement connectés. Il existe également des algorithmes qui permettent à partir de données fournies en entrée de déterminer une structure de dépendance du graphe [Leray, 2006, Pearl and Verma, 1995, Spirtes et al., 2000].

3.1.3 Approches explicatives

Les approches présentées dans la section précédente ne permettent pas, dans le cas de prédictions, de fournir de modèle de décision expliquant directement les résultats obtenus. Nous présentons ici les approches explicatives qui nous sont apparues le plus fréquemment dans la littérature pour le développement d'outils destinés à la gestion de crise, mais d'autres approches pourraient être intégrées comme les machines à vecteur support (SVM).

3.1.3.1 Les arbres de décision

Les arbres de décision ont connu leur appogée dans le milieu des années 80 avec la méthode CART (*classification and regression tree*). Ils sont faciles à mettre en œuvre, les résultats qu'ils fournissent sont aisés à interpréter et les modèles qui en sont déduits sont performants [Zighed and Rakotomalala, 2002]. Les arbres de décision sont capables d'appréhender des bases de données de grandes tailles et sont applicables sans restriction sur des données de n'importe quel type (qualitatives, quantitatives, ou un mélange des deux). Toutes les méthodes à base d'arbres de décision fonctionnent sur le même principe que l'on peut décrire par l'algorithme général suivant : on part de la partition grossière Ω formée de tous les individus de l'échantillon d'apprentissage, on recherche ensuite, parmi les p variables explicatives $(X_1, X_2, ..., X_p)$ celle qui permet de déterminer la meilleure partition au sens d'un critère donné (celui de la variable à prédire par exemple). La partition la plus homogène possible est recherchée. Un nouveau niveau est ajouté à l'arbre dont la racine représente la partition grossière Ω et dont les feuilles représentent les modalités de la variable explicative.

Il existe de nombreux algorithmes qui permettent de générer des arbres de décision. Les deux plus connus et utilisés [Witten et al., 2016] sont C4.5 (une extension de l'algorithme ID3) et Random forest. ID3 et C4.5 [Quinlan, 1993] permettent de construire des arbres de décision à partir d'un ensemble de données d'apprentissage en utilisant le concept d'entropie de l'information [Quinlan, 2014]. L'algorithme Random forest, quant à lui, effectue un apprentissage en parallèle sur de multiples arbres de décision construits aléatoirement et entraînés sur des sous-ensembles de données différents [Kalmegh, 2015]. L'algorithme Random forest est connu pour être un des classifieurs les plus efficaces. Il est utilisé dans de nombreuses applications, comme pour la classification d'images de caméras de console de jeu dans le but d'identifier des positions du corps.

Pour prendre un exemple, l'arbre de décision de la figure 3.3 représente un graphe à deux niveaux qui permet de prédire la variable C à deux modalités possibles $c1$ et $c2$, selon les variables explicatives Âge et Sexe. On constate que chaque branche représente une règle de la forme « si condition alors conclusion ». La condi-

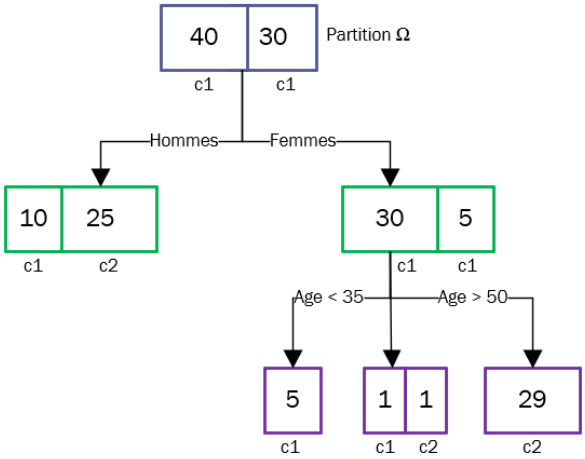


FIGURE 3.3 – Arbre de décision à deux niveaux

tion est une proposition en logique d'ordre 0 et la conclusion est la classe majoritaire sur la feuille. Ainsi, sur le graphe proposé, on peut établir un modèle de décision composé de 4 règles :

— Si « Sexe = Homme » alors C = c2 (risque d'erreur de 10/35).
— Si « Sexe = Femme et Âge < 35 » alors C = c1 (risque d'erreur de 0).
— Si « Sexe = Femme et Âge > 50 » alors C = c2 (risque d'erreur de 0).
— Si « Sexe = Femme et $35 \leq \hat{A}ge \leq 50$ » alors C = indéterminé (risque d'erreur de 50 %)

Grâce à ces règles, quand un nouvel individu se présente, connaissant son âge et son sexe, on peut prédire sa classe d'appartenance avec une certaine fiabilité.

Les arbres de décision sont une des rares méthodes qu'il est possible de présenter facilement à un public non spécialiste du traitement des données. Ils présentent néanmoins plusieurs limites : ils nécessitent des bases d'apprentissage de taille importante et peuvent être instables en terme de prédiction si la taille de l'arbre est inadaptée (arbre sur-dimensionné ou sous-dimensionné). Enfin, les règles de décisions générées peuvent ne pas couvrir tous les cas possibles.

3.1.3.2 Méthodes de régression logistique

En régression, l'objectif est d'expliciter la linéarité d'une relation entre un ensemble de variables explicatives et une variable à prévoir [Desjardins, 2005]. Généralement, toutes les variables sont considérées comme continues [3]. La régression

3. Une variable continue peut prendre toutes les valeurs réelles d'un intervalle déterminé, par opposition à une grandeur discrète.

linaire est dite multiple lorsque le nombre de variables explicatives est supérieur ou égal à deux.

La relation recherchée entre la variable à prévoir C et les p variables explicatives peut s'exprimer comme suit ($p \in \mathbb{N}$) :

$$C = \alpha + XB \tag{3.3}$$

où X est un vecteur ligne $X_1, ..., X_p$, B un vecteur colonne à p dimensions contenant les coefficients de la régression et α une erreur. L'objectif des méthodes de régression est de trouver les coefficients de régression qui ajustent au mieux le nuage de points au sens des moindres carrés. Cet ensemble de coefficients, B, est obtenu en résolvant le problème d'optimisation suivant :

$$min_{\varphi} = (\sum_{\varphi}(C - \varphi)^2) \tag{3.4}$$

où $\varphi = XB$. La figure 3.4 représente dans une régression comprenant une seule variable explicative la droite φ qui minimise la somme des carrés des écarts.

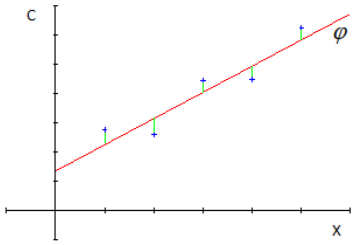


FIGURE 3.4 – Régression linaire - droite d'ajustement des moindres carrés

Ce modèle permet d'identifier les interactions entre les variables explicatives et la variables à prédire. Il permet ainsi d'identifier les variables les plus pertinentes et discriminantes pour prédire la variable cible. La régression peut être également non linéaire, et vise alors à fournir un cadre dans lequel prendre en compte des relations polynomiales par exemple. Mais, dans la réalité, le problème est presque toujours ramené au cas facile à résoudre, c'est-à-dire linéaire. La régression est probablement la technique de modélisation la plus utilisée. Elle est populaire notamment dans le domaine de la santé et des sciences humaines pour prédire la présence ou l'absence d'une maladie ou d'un état mental, c'est une méthode pertinente pour la prédiction d'événements rares [King and Zeng, 2001].

3.1.3.3 Analyse discriminante

L'analyse discriminante est l'une des plus anciennes techniques de prédiction. Elle a été proposée par Fischer en 1936 [Fisher, 1936]. Le problème traité par Fi-

scher pour illustrer cette méthode concerne la discrimination de trois classes de la famille des iris (versicolor, setosa et virginica). Pour cela, il a pris un échantillon de 150 iris répartis sur les trois classes et, pour chaque fleur, il a mesuré la longueur et la largeur des pétales et des sépales. Le principe de l'analyse discriminante est relativement simple. Considérons p variables explicatives toutes quantitatives $(X_1, X_2, ..., X_p)$, avec dans le cas des iris de Fischer $p = 4$, et une variable à prévoir C qualitative qui prend ses valeurs dans un ensemble $\Gamma = c_1, c_2, ..., c_m$, avec $m = 3$ (pour versicolor, setosa et virginica) dans le cas des iris. Supposons que ces variables ont été centrées, c'est-à-dire que $\bar{X} = 0$ (moyenne).

Le problème en analyse discriminante consiste à construire une variable Y, combinaison linéaire de $(X_1, X_2, ..., X_p)$ telle que :

— Pour tout individu ω de la classe c_k, $Y(\omega)$ doit être proche de $\bar{Y_k}; k = 1, ..., m$ où $\bar{Y_k}$ désigne la moyenne de Y dans la classe c_k. Pour l'exprimer autrement, la dispersion (ou variance) de Y doit être minimale dans chaque classe. Pour toutes les classes, le critère de variance intra-classe correspond à l'expression suivante :

$$V_{intra} = \frac{1}{card(\Omega)} \sum_{k=1}^{m} card(\Omega_k) V_k(Y) \tag{3.5}$$

où $card(\Omega_k)$ représente l'effectif de la classe c_k et $V_k(Y)$ désigne la variance de Y dans la classe c_k.

— Pour tout individu ω' n'appartenant pas à la classe c_k, on a $Y(\omega) \neq Y(\omega')$. Ce critère correspond au contraste entre les classes. Pour maximiser ce contraste, Y doit être déterminé tel que les moyennes $\bar{Y_k}$ soient les plus dispersées possibles. La variance interclasses correspond à l'expression suivante :

$$V_{inter} = \frac{1}{card(\Omega)} \sum_{k=1}^{m} card(\Omega_k)(\bar{Y_k} - \bar{Y})^2 \tag{3.6}$$

Le problème d'optimisation posé par ces deux contraintes est de trouver une combinaison linéaire Y des variables explicatives $(X_1, X_2, ..., X_p)$, qui minimise la variance intra-classes et qui maximise la variance inter-classes. Un nouvel individu à classer est affecté à la classe dont le centre de gravité est le plus proche. On peut définir géométriquement des surfaces de décision par l'intersection des médiatrices sur les droites qui relient les centres de gravité des classes, comme l'illustre la figure 3.5.

L'analyse discriminante exposée ici et très souvent utilisée, repose sur trois hypothèses : (i) toutes les variables sont quantitatives, (ii) elles sont normalement distribuées et (iii) les classes sont linéairement séparables. Ces hypothèses sont rarement toutes vérifiées. De nouveaux développements existent qui élargissent le champ d'application à des frontières quadratiques ou à des données catégorielles.

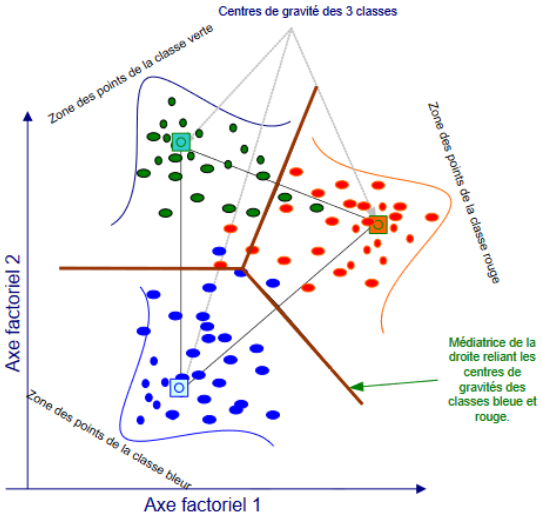


FIGURE 3.5 – Plans factoriels discriminants [Zighed and Rakotomalala, 2002]
L'intersection des médiatrices des trois droites qui relient les centres de gravité des classes définissent trois surfaces. Chacune de ces surfaces est associée à une modalité de la variable à prédire.

3.1.3.4 Méthodes des plus proches voisins

Les méthodes des plus proches voisins (ou k-NN pour *k Nearest Neighbors*) [Fix and Hodges Jr, 1951] sont des méthodes intuitives qui classent les cas non étiquetés sur la base de leur similarité avec les cas de la base d'apprentissage. Elles font partie des méthodes de prédiction à base d'instances qui n'établissent pas une liaison fonctionnelle entre la variable à prédire et les valeurs des variables explicatives. Pour un cas non étiqueté x, le principe est de trouver les k plus proches exemples étiquetés de la base d'apprentissage selon une métrique à déterminer et d'affecter à x la classe qui apparaît le plus souvent. La figure 3.6 permet de représenter le principe de l'algorithme.

Cet algorithme est malheureusement peu fiable si les données sont bruitées ou dans les situations où les cas se chevauchent, notamment lorsque le nombre d'attributs est élevé.

3.1.4 Comparatif

Dans le cadre de la démarche d'aide à la décision que nous proposons pour prédire certains types de comportements des populations, plusieurs approches peuvent être utilisées. Les approches présentées dans les précédentes sections sont très dif-

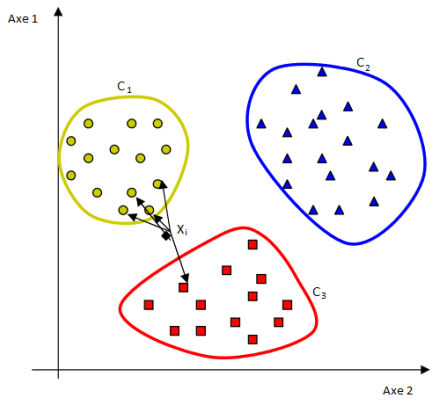


FIGURE 3.6 – Classification d'une nouvelle observation
On observe sur cette figure que 4 des 5 plus proches voisins de l'instance X_i appartiennent à la classe C_1. La méthode des plus proches voisins permet d'en déduire que X_i appartient à la classe C_1.

férentes les unes des autres et aucune n'est supérieure en tout point aux autres approches. Selon les domaines d'applications (recherche d'information, médecine, marketing, etc), certaines d'entre elles sont généralement favorisées, en fonction des caractéristiques de ces approches et des données à analyser ou tout simplement selon la culture et les habitudes du domaine en question.

Des études empiriques permettent de comparer les performances des algorithmes de prédiction, l'une des plus connues d'entre elles est l'étude STALOG [King et al., 1995]. Malheureusement cette étude n'a pas été mise à jour et ne permet pas de comparer les algorithmes proposés depuis 1995. En effet, de nombreux algorithmes ont été proposés depuis avec de multiples variantes. Les études qui permettent de comparer les grandes approches dans le domaine de la prédiction ont été publiées avant les années 2000 [Caruana and Niculescu-Mizil, 2006], et depuis cette date, les comparaisons sont souvent beaucoup plus fines entre algorithmes proposés pour une même approche.

Comme le suppose le théorème du « no free lunch theorem » [Wolpert et al., 1995], il n'existe pas de théorème pouvant être considéré meilleur qu'un autre. Les performances dépendent du problème considéré. Ainsi, selon le problème et les métriques considérées, il est possible d'évaluer quels sont les algorithmes qui sont les plus adaptés. Nous proposons dans le tableau 3.1 une synthèse des caractéristiques correspondant aux algorithmes les plus utilisés dans les différentes approches présentées.

En règle générale et dans le cas particulier de la démarche présentée, il est attendu d'un algorithme qu'il soit le plus fiable possible. Nous entendons par fiabilité la correspondance entre les résultats de l'algorithme et soit la réalité dans le cadre

	Limites	Avantages
Réseaux de neurones	- besoin d'un nombre d'instances très important pour l'apprentissage des données - beaucoup de paramètres à apprendre	- très bonnes performances sur des données complexes et/ou bruitées
Réseaux bayésiens	- apprentissage long : difficultés à estimer les probabilités et à construire le graphe à partir des données surtout lorsque le nombre de variables explicatives est élevé	- nombre de paramètres relativement faible
Arbres de décision	- choix effectués lors de la construction de l'arbre jamais remis en cause - risque de sur-apprentissage élevé	- les données peuvent être quantitatives, catégorielles ou mixtes - génération d'un modèle compréhensible
Régression	- dans les algorithmes classiques les variables doivent être quantitatives et continues	- le nombre de paramètres est relativement faible
Analyse discriminante	- dans les algorithmes classiques les variables doivent être quantitatives, linéairement séparables et normalement distribuées	- bonnes performances avec un nombre important de variables explicatives - explicabilité des résultats
Plus proches voisins	- temps de calcul long - paramétrage difficile (choix de k notamment) - sensibilité aux variables non pertinentes - pas d'apprentissage d'un modèle	- explicabilité du modèle permise par la sélection des plus proches voisins

Tableau 3.1 – Comparatif des approches présentées
Les caractéristiques et performances des approches retenues varient selon les algorithmes.

de prévisions soit les attentes *a posteriori* des décideurs.

Dans le cadre de cette démarche, comme pour la plupart des démarches d'aide à des décisions externes, l'explicabilité des résultats est un critère également fondamental.

Enfin, précisons ici que cette démarche n'a pas vocation a être appliquée sur un volume de données très important. Les crises sont par définition des phénomènes rares. Les données récoltées sur les crises passées sont donc, relativement aux événements courants, très peu nombreuses, ce qui implique que l'« apprentissage » d'algorithmes d'aide à la décision sur ce type de problèmes soit possible avec un volume de données limitée. En effet, pour tester notre démarche, un ensemble de

données a été recueilli et des données ont été simulées mais elles ne représentent qu'un volume extrêmement faible de neuf instances (utilisées uniquement pour illustrer concrètement l'étape de génération d'un modèle de décision). Pour statuer sur la décision d'allouer ou non à une personne un prêt bancaire, le système apprend à partir des dix années précédentes des clients à qui l'on a accordé un prêt et à quel taux, selon son salaire, sa situation familiale, etc. De même, pour la reconnaissance d'image, le système a besoin d'un très grand nombre d'images annotées pour apprendre à différentier des objets ou des animaux [Oquab et al., 2014].

Finalement, les approches retenues pour être appliquées à nos données relatives à des crises (qui sont par définition, rares, gérées par des décideurs qui ne sont pas experts en informatique, et qui peuvent avoir des impacts lourds) sont donc les arbres de décision, la régression logistique et les méthodes des plus proches voisins qui associent une bonne fiabilité, la génération d'un modèle de décision compréhensible et l'application possible à un volume de données relativement faible.

3.1.5 Synthèse et conclusion sur les approches d'aide à la décision

Les approches prédictives présentées dans cette section permettent, à partir d'un ensemble de données (ou cas) d'apprentissage, de générer un modèle de décision qui a pour objectif de « classer » une variable à expliquer. Dans la démarche proposée dans ce document nous cherchons à partir d'un ensemble de données relatives à des crises survenues dans le passé à prédire des comportements particuliers des populations susceptibles d'émerger à l'occasion d'une alerte ou au cours d'une crise. L'information telle qu'elle est fournie par le modèle doit aider le décideur, en fonction de ses connaissances, à prendre un certain nombre de décisions relatives à l'alerte (voir section 4.1).

Le choix d'une de ces approches et d'un algorithme parmi des dizaines qui existent pour chacune de ces approches n'est pas trivial. Une relation entre les spécificités de chaque algorithme d'apprentissage et les différentes classes de problème n'existe pas. Nous avons proposé ici une liste des caractéristiques des grandes approches d'algorithmes qui nous a permis de nous recentrer sur trois approches qui nous paraissent, au vu des caractéristiques, les plus appropriées au problème posé et au contexte dans lequel les décideurs sont nombreux et ne sont pas experts en informatique.

3.2 Comportements des populations en situation de crise

L'object principal de la démarche que nous proposons est de fournir des prédictions aux décideurs en cellule de crise sur les comportements des populations qui risquent d'être impactées par une crise. Avant donc d'aborder les travaux existants sur les comportements des populations, et plus particulièrement sur les comportements des populations en situation de crise, nous soulignons ici que la dichotomie entre comportements individuels et comportement collectif n'est pas pertinente dans notre contexte de recherche. En effet, bien que le lien d'interdépendance existe entre des comportements individuels qui interagissent et un comportement de masse qui influence les individus parfois jusqu'à leur faire perdre leur autonomie, le comportement collectif est toujours un agrégat de comportements individuels [Naville, 1953]. Nous nous intéressons ici aux leviers qui ont un impact sur ces comportements. Or, ces leviers sont les mêmes pour les comportements individuels que pour les comportements collectifs.

3.2.1 Modélisation du comportement

Le concept de comportement est un concept « nomade » qui peut prendre plusieurs sens selon les disciplines [Toniolo, 2009]. En philosophie, par exemple, les définitions du comportement reposent souvent sur le lien entre conscience et expérience [Merleau-Ponty, 1942], alors qu'en sciences cognitives il peut être abordé comme une suite logique d'actions [Skinner, 2005]. Ce sont les travaux en sciences humaines qui sont les plus nombreux sur le sujet, notamment dans les domaines de l'ethiologie et de la psychologie [Alcock, 1989, Cooper et al., 2007]. Nous reprenons dans ce document la définition proposée par Norbert Sillamy dans son Dictionnaire de la psychologie [Sillamy, 1983] pour qui le comportement correspond aux « réactions d'un individu, considéré dans un milieu et dans une unité de temps donnée à une excitation ou un ensemble de stimulations ». Cette définition permet de situer le comportement dans un espace spatio-temporel et comme une réponse à un ensemble d'excitations ou stimulations. Dans ce document, nous limiterons notre étude aux comportements observables par une entité extérieure.

Nous basons notre approche sur des facteurs qu'il est possible d'identifier et d'étudier individuellement. Plusieurs modèles dans la littérature proposent de structurer les éléments constitutifs du comportement, nous présenterons brièvement dans cette section les modèles les plus fréquemment utilisés. Ces modèles étant extrêmement nombreux et divers, nous nous sommes limités à l'étude des indicateurs de confiance issus de travaux en sciences économiques, aux études de la personnalité et des émotions issus de travaux en sciences humaines, et enfin aux Systèmes

Multi-Agents (SMA) issus de travaux en intelligence artificielle. Nous nous sommes notamment inspirés de ces derniers modèles pour leur représentation des émotions, des intentions et de la personnalité humaine.

3.2.1.1 Travaux issus des sciences économiques

Les théories en sciences économiques ont été longtemps dominées par la théorie du choix rationnel et continuent en grande partie à suivre le principe de maximisation de l'utilité de l'individu. Dans ce type de modèles, les informations sont disponibles et complètes, et les individus sont en capacité d'évaluer toutes les alternatives qui s'offrent à eux pour résoudre un problème. Depuis les travaux de Simon (2013), de plus en plus d'économistes ont une vision critique de cette approche et intègrent des informations contextuelles, cognitives ou psychosociales dans la modélisation des comportements. Ne pas prendre en compte ce type d'information peut conduire à « des erreurs graves et systématiques » [Kahneman and Tversky, 1979]. Ces informations peuvent être relatives à des biais cognitifs comme les excès de confiance, la soumission à l'autorité ou le stress généré par une situation d'urgence [Lacroix et al., 2015].

Concernant les indicateurs de comportement, très répandus dans les sciences économiques, nous nous intéresserons ici à la façon dont sont construits les indices de confiance des consommateurs, qui permettent de mesurer les comportements futurs des populations dans leurs actions de consommation. Le « Michigan's Consumer Sentiment Index » et le « Conference Broad Consumer Confidence Index » sont les deux mesures les plus largement utilisées [Ludvigson, 2004]. Ces indices sont construits à partir de réponses à des questionnaires composés de cinq questions à choix multiples, sur un panel de respectivement 500 et 5000 consommateurs. Les questions posées sont les suivantes :

Michigan's Consumer Sentiment Index

1. Nous nous intéressons à la façon dont les gens s'organisent financièrement ces jours-ci. Diriez-vous que vous et votre famille êtes financièrement mieux ou moins bien lotis que vous ne l'étiez il y a un an ? [mieux / pareillement / moins bien]
2. Si on se tourne vers l'avenir, pensez-vous que dans un an vous et votre famille aurez une meilleure situation financière ? [meilleure / identique / pire]
3. Passons maintenant à la conjoncture économique du pays dans son ensemble. Pensez-vous qu'au cours des 12 prochains mois, nous aurons de bons résultats financiers ? [bons résultats / incertains / mauvais résultats]
4. Si on se tourne encore vers l'avenir, est-il probable selon vous que sur l'ensemble du pays, nous aurons de bons résultats économiques au cours des cinq

prochaines années (pas de périodes de chômage généralisé, de dépression ou autre) ? [bons résultats / incertains / mauvais résultats]

5. Nous nous intéressons maintenant aux gros achats que les gens font pour leur foyer (meubles, réfrigérateur, cuisinière, télévision, etc). De manière générale, pensez-vous que le moment est propice ou non pour ce genre d'achat ? [moment propice / moment incertain / mauvais moment]

Conference Broad Consumer Confidence Index

1. Comment évalueriez-vous les conditions commerciales générales actuelles dans votre région ? [bonnes / normales / mauvaises]
2. Que pensez-vous des emplois disponibles dans votre région actuellement ? [nombreux / pas si nombreux / difficiles à obtenir]
3. Dans six mois, pensez-vous que la situation économique dans votre région sera [meilleure / identique / pire] ?
4. Dans six mois, pensez-vous qu'il y aura [plus / autant / moins] d'emplois disponibles dans votre région ?
5. Pensez-vous que le total de votre revenu familial sera [plus haut / le même / plus bas] dans six mois ?

Chacune des questions admet trois réponses possibles. Dans la littérature sur ces deux indices de confiance des consommateurs, les termes de confiance et de sentiment sont souvent utilisés indifféremment [Dominitz and Manski, 2003, Golinelli and Parigi, 2004]. Ces mesures reflètent des actions futures concrètes des participants dans l'économie réelle. Les corrélations entre les indices de confiance des consommateurs et la consommation des consommateurs ont été largement étudiées et démontrées. Il est généralement admis que la confiance des consommateurs représente 10% à 30% de l'évaluation de la consommation future réelle [Ludvigson, 2004, Matsusaka and Sbordone, 1995].

3.2.1.2 Travaux issus des sciences humaines

Dans cette section nous présentons les deux modèles les plus répandus permettant de représenter les émotions et un modèle très utilisé pour représenter la personnalité.

La majorité des modèles représentant des émotions essayent d'en expliquer l'origine. Ils sont très souvent basés sur le modèle OCC (Orthony, Clore, Collins) ou sur le modèle de Roseman.

Le modèle OCC, proposé en 1990 dans le livre « The Cognitive Structure of Emotions » [Ortony et al., 1990], a été développé par des psycho-cogniticiens mais a largement été repris et adapté, notamment dans des applications informatiques.

Il modélise la façon dont sont générées les émotions, en spécifiant vingt-deux catégories différentes d'émotions classées en onze couples antagonistes tels que « joie / détresse », « fierté / honte » ou « admiration / reproche ». Ces émotions sont déclenchées dans des situations analogues, correspondant à trois grandes causes de déclenchement : les événements, qui correspondent ou non aux objectifs de l'individu, les actions de l'individu ou de ses proches et les attitudes d'attirance ou de rejet par rapport à un objet [Bartneck, 2002]. Une représentation du modèle original est proposée figure 3.7. Cette représentation est très prisée des informaticiens pour la création d'agents virtuels ou l'évaluation des réactions d'utilisateurs (durant leur interaction avec un jeu par exemple [Conati and Maclare, 2004]).

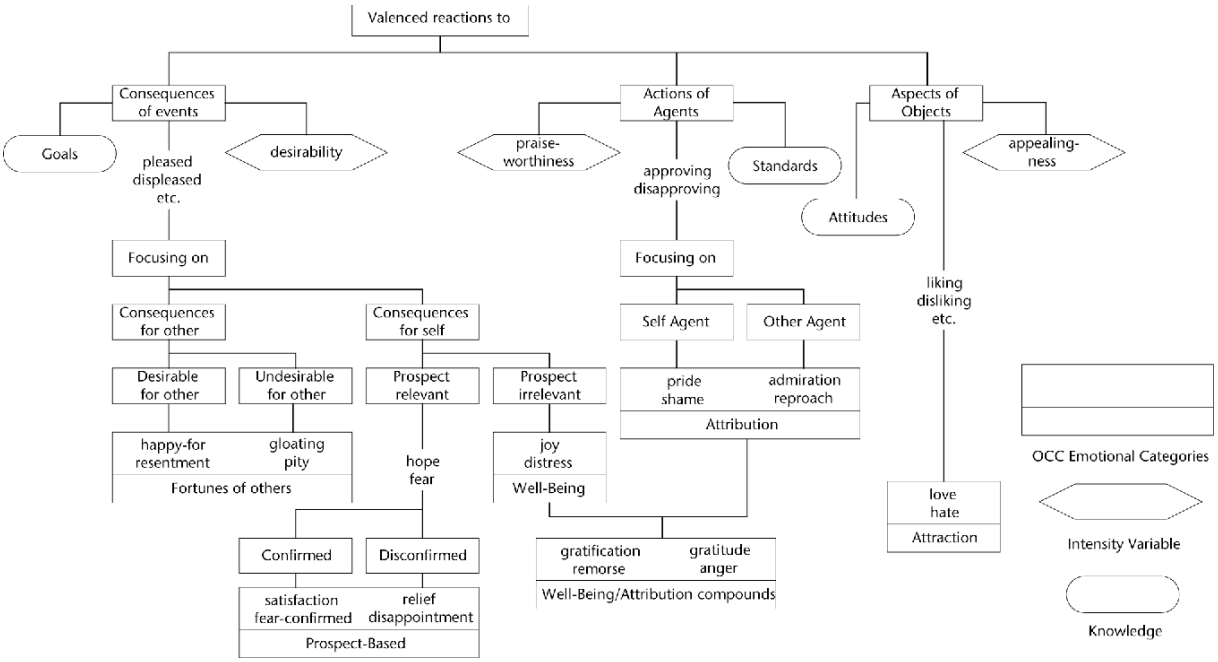


FIGURE 3.7 – Le modèle OCC original [Ortony et al., 1990]

Le second modèle largement utilisé est celui de Roseman [Roseman, 1996]. Il est consruit à partir de cinq critères, dits critères d'évaluation, qui correspondent à la situation d'un agent, relative ou non à un événement. Le modèle permet, à partir de ces critères, de représenter les états mentaux de dix-sept émotions distinctes. Le premier critère détermine si une situation est positive ou négative par rapport aux buts de l'agent (bénéfice attendu). Le deuxième critère détermine si la situation est en accord avec ses motivations. Le troisième est relatif à la certitude de l'événement. Le quatrième critère correspond à la perception de soi de l'agent par rapport à la situation : l'agent peut se percevoir comme fort ou faible. Enfin, le cinquième critère correspond à l'origine d'un événement, qui peut être lié aux circonstances, à l'individu lui-même ou à son entourage. Dans ce modèle par exemple, l'espoir correspond à l'état mental pour lequel un événement a été évalué comme incertain

et consistant avec les buts de l'agent [Ochs et al., 2005].

En ce qui concerne la modélisation de la personnalité, nous avons retenu le modèle FFM (Five Factor Model), souvent repris sous l'acronyme OCEAN pour *Openness*, *Conscientiousness*, *Extraversion*, *Agreeableness* et *Neuroticism*[4], qui fait actuellement l'objet d'un large consensus. Ce modèle se base sur cinq facteurs de personnalité : l'extériorisation des sentiments, la stabilité émotionnelle, la recherche de l'harmonie sociale, la curiosité intellectuelle (ou ouverture d'esprit) et la diligence (le caractère conscientieux). Il permet notamment d'analyser la personnalité humaine en se basant sur des observations menées dans le cadre de pratiques cliniques. Il s'agit d'un modèle très reconnu dans la communauté scientifique dont beaucoup d'extensions ont également été proposées au cours de ces soixante dernières années, pour l'élaboration de tests psychotechniques par exemple [Digman, 1990].

3.2.1.3 Travaux issus de l'intelligence artificielle

Le comportement humain est également intégré dans les recherches en intelligence artificielle dont l'idée est de transposer dans une réalité virtuelle des éléments de connaissance et de traitement de ces connaissances qui permettent à des individus virtuels dans des environnements virtuels d'effectuer des choix stratégiques. Ce type de recherche est utilisé dans des domaines tels que la robotique, le traitement du language naturel, l'interprétation d'image, le diagnostique médical ou la démonstration automatique de théorèmes [Balacheff, 1994], mais l'intégration de dimensions cognitives ou émotionnelles du comportement à ces représentations informatiques reste encore aujourd'hui un problème difficile [Lin et al., 2012].

Un des domaines dans lesquels l'intelligence artificielle s'emploie à intégrer ces dimensions et à reproduire le plus exactement possible le comportement humain est les SMA. Dans les travaux de Ferber sur la modélisation d'agents humains [Ferber, 1997], cette approche permet de représenter différents niveaux du comportement (biologique, psychologique, sociologique et anthropologique) en intégrant des approches cognitives et sociales. « Un agent est une entité réelle ou virtuelle évoluant dans un environnement, capable de le percevoir, qui peut communiquer avec d'autres agents, qui exhibe un comportement autonome, lequel peut être vu comme la conséquence de ses connaissances, de ses interactions avec d'autres agents et des buts qu'il poursuit ». Ainsi, à partir de la définition de ce qu'est un agent, plusieurs types de connaissances et de buts peuvent lui être attribués qui vont déterminer des catégories d'agents et les actions qu'il réalise. Pour reprendre la taxonomie de Franklin et Graesser (1996), les agents peuvent résoudre une tâche, interpréter des perceptions, résoudre des problèmes, établir des inférences et déterminer des actions, interagir avec d'autres agents, dialoguer, négocier, organiser des

4. En français : Ouverture, Conscienciosité, Extraversion, Agréabilité, Neuroticisme

transferts d'information.

On distingue généralement deux grands types d'agents, les agents cognitifs et les agents réactifs. Les agents cognitifs disposent d'une base de connaissances avec des informations liées à leurs domaines d'expertise et à la gestion des interactions avec les autres agents et leur environnement. Ils possèdent des buts et des plans explicites leur permettant d'accomplir leurs objectifs. Au contraire, un agent réactif n'est pas « intelligent » pris individuellement. Il ne peut réagir qu'à des stimuli simples provenant de son environnement, et son comportement est alors dicté par sa relation à son entourage. Il ne dispose d'aucune représentation des autres agents ou de leur environnement.

Pour concevoir un agent cognitif, une des modélisations les plus utilisées et les plus avancées est l'architectire BDI (Beliefs, Desires, Intentions), développée dans les années 80 pour être intégrée aux SMA [Bratman, 1987]. Dans une architecture BDI, un agent est caractérisé par un ensemble de croyances B, un ensemble de désirs D et un ensemble d'intentions I. Ces trois ensembles représentés dans la figure 3.8 sont impliqués dans des processus de décision qui permettent à partir d'une base de plans (définissant les stratégies possibles des agents), de choisir des actions à réaliser [Taillandier et al., 2012].

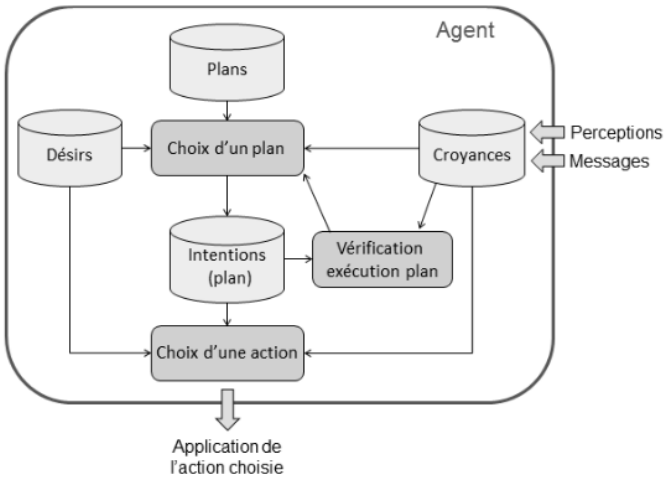


Figure 3.8 – Architecture BDI [Bratman, 1987]
Un agent est caractérisé par un ensemble de croyances, de désirs et d'intentions qui évoluent avec le temps. Selon ces trois ensembles, il peut choisir des plans (ou stratégies) à exécuter et les actions qui lui permettront de les appliquer.

Ce type d'approche relativement complexe permet de structurer un comportement dit rationnel, basé sur des décisions construites et identifiées. Mais il est également critiqué pour ses limitations dans deux domaines en particulier, l'apprentissage et la capacité à interragir socialement avec d'autres agents

[Georgeff et al., 1998].

Des architectures hybrides, ou dites en couches, permettent de faire le lien entre agents cognitifs et agents réactifs et de pallier certaines limites des agents BDI. Il s'agit notamment de la modélisation de Müller et Pischel (2011) avec l'architecture inteRRaP ou de la modélisation de Ferguson (1992) avec les TouringMachines. Ces représentations sont efficaces mais ajoutent énormément de complexité aux architectures, chaque couche fonctionnant comme un agent et les interactions entre couches devant également être définies.

Les limites des SMA sur la complexité des interactions entre individus [Goldstone and Janssen, 2005] et les phénomènes cognitifs de manière plus générale [Arnaud et al., 2017] pourraient probablement être améliorées par l'apport de connaissances issues des sciences sociales [Arnaud et al., 2017]. Aujourd'hui des phénomènes bien connus des sciences sociales ne sont pas modélisés dans les architectures BDI : les agents ne sont pas capables de jugements subconscients ou de dissonance cognitive. Ils ne sont pas capables de prendre en compte des priorités morales dans la mise à jour de leurs actions ou de mettre à jour leurs croyances suite à de nouvelles expériences [Arnaud et al., 2017]. Or, tous ces mécanismes sont à l'œuvre dans la réaction à des événements courants ou exceptionnels. Ainsi les modélisations utilisées actuellement pour simuler des réactions à des situations de crise sont généralement très ciblées sur une action ou une séquence d'actions définies par avance selon des schémas de scénarios simplifiés [Zoumpoulaki et al., 2010, Adam et al., 2010].

3.2.2 Comportements spécifiques en situation de crise

Si l'étude des comportements humains est répandue dans de très nombreuses disciplines, en revanche, dans le domaine des risques et crises, elle est restée longtemps le parent pauvre de la recherche [Provitolo et al., 2015]. Les travaux scientifiques sur les comportements en situation de crise portent principalement sur des événements particuliers ou sur des réactions spécifiques. Nous nous intéressons dans cette section aux travaux menés sur les réactions des populations dans des situations d'évacuation, aux phénomènes de rumeurs en situation de crise et aux phénomènes de panique.

3.2.2.1 Comportements dans des situations d'évacuation

Il existe une littérature très importante sur les réactions des populations lors d'évacuation de bâtiments ou sur les phénomènes de panique. Ces travaux s'intéressent à déterminer le temps nécessaire à une population pour évacuer un bâtiment, au nombre de personnes pouvant être évacuées sur un temps donné, ils permettent

d'identifier des nœuds de congestion sur des réseaux ou de déterminer les conséquences des choix relatifs aux itinéraires empruntés par les populations pour évacuer [Fujiki, 2017]. Ces travaux sont généralement basés sur des hypothèses simplifiées quant aux comportements des populations lors de l'évacuation.

Ainsi, dans les études prospectives sur la capacité d'évacuation d'une population, les taux d'évacuation sont souvent surévalués [Fujiki, 2017]. Ces taux sont très variables et dépendent de divers facteurs dont Fujiki fait la synthèse que nous reportons dans le tableau 3.2. Ne sont représentées dans ce tableau que les principales variables citées dans la littérature internationale. Ce tableau présente, d'une part l'impact positif ou négatif des variables sur le taux d'évacuation, d'autre part la valeur prédictive de ces variables pour d'autres événements. Il ressort de cette étude que l'interprétation de l'influence des facteurs identifiés varie énormément. Dans certaines études, un facteur peut être considéré comme mineur dans la décision d'évacuer un bâtiment alors que pris dans un contexte plus large, avec des variables plus nombreuses, il peut se révéler important à considérer. Il demeure néanmoins certaines caractéristiques persistantes : les facteurs individuels ont un rôle bien plus important que les facteurs collectifs dans la décision d'évacuer ou de ne pas évacuer un bâtiment.

Des études proposent des expérimentations pour évaluer l'efficacité des moyens d'alerte lors d'évacuations [Proulx, 2001], elles démontrent notamment qu'une alarme qui permet de donner des consignes d'évacuation permet une évacuation plus rapide et plus sûre [Proulx and Sime, 1991] et que l'évacuation se passe dans de meilleures conditions lorsque les populations disposent d'une information précise et en temps réel.

3.2.2.2 Études sur des comportements particuliers : panique et rumeurs

Nous nous intéressons dans ce document aux phénomènes de paniques collectives et de circulation de rumeurs, susceptibles d'émerger dans des situations où une alerte a été lancée ou pendant une crise.

La panique Les travaux réalisés sur le sujet de la panique sont relativement peu nombreux. Selon Jean-Pierre Dupuy (2003), la panique est un phénomène relativement rare qui ne serait pas la résultante d'un événement extérieur. Selon lui, la panique est un phénomène interne à une société. L'exemple de l'attaque du World Trade Center à New York (États-Unis) le 11 septembre 2001 n'a généré aucun phénomène de panique. Les gens ont évacué dans le calme et la maitrise, compte tenu des circonstances.

Deux grandes écoles travaillent sur les phénomènes de panique et sont en totale divergence. L'école française conçoit la panique comme un phénomène de dissolu-

Facteurs	Impact sur le taux d'évacuation	Études porteuses
Stratégies d'action collective		
Consignes d'évacuation	Très positif	[Baker, 1991] ; [Whitehead et al., 2000]
Réseaux d'information (médias)	Positif	[Lindell et al., 2005]
Réseaux d'information (proches et autorités)	Très positif	[Lindell et al., 2005]
Facteurs environnementaux		
Exposition à l'aléa, intensité de l'aléa	Très positif	[Baker, 1991] ; [Brown et al., 2016] ; [Horney et al., 2012] ; [Riad et al., 1999] ; [Smith and McCarty, 2009]
Proximité géographique par rapport à l'aléa	Positif	[Lindell et al., 2005]
Facteurs démographiques		
Présence de personnes âgées, handicapées, sous condition médicale	Négatif	[Brown and Parton, 2014] ; [Heath et al., 2001] ; [Horney et al., 2012]
Possession d'animaux domestiques	Négatif	[Heath et al., 2001] ; [Solis et al., 2009] ; [Whitehead et al., 2000]
Présence de femmes, femme chef de famille	Très positif	[Brown and Parton, 2014] ; [Lindell et al., 2005] ; [Ng et al., 2014] ; [Riad et al., 1999] ; [Smith and McCarty, 2009]
Taille du ménage, nombre d'enfants	Très positif	[Heath et al., 2001] ; [Ng et al., 2014] ; [Siebeneck and Cova, 2008] ; [Smith and McCarty, 2009] ; [Solis et al., 2009]
Facteurs socioéconomiques		
Propriétaire de son logement	Négatif	[Horney et al., 2012] ; [Smith and McCarty, 2009]
Revenus	Positif	[Elliott and Pais, 2006] ; [Ng et al., 2014]
Minorité raciale / ethnique	Négatif	[Brown and Parton, 2014] (impact positif d'après cette étude) ; [Elliott and Pais, 2006] ; [Riad et al., 1999] ; [Whitehead et al., 2000]
Facteurs psychologiques et perception du risque		
Evacuation ou aléa déjà vécu par le passé	Positif	[Riad et al., 1999] ; [Solis et al., 2009]
Perception et connaissance du risque a priori	Très positif	[Baker, 1991] ; [Brown et al., 2016] ; [Elliott and Pais, 2006] ; [Whitehead et al., 2000]
Instinct grégaire (assister au départ des autres)	Positif	[Lindell et al., 2005]

Tableau 3.2 – Synthèse de la littérature sur les variables discriminantes en cas d'évacuation.

tion des consciences individuelles dans une entité unique représentée par la foule. Cette foule, au sens de Le Bon (1900), exacerberait les comportements grégaires, l'irresponsabilité, la suggestibilité, l'infantilisme, la propension à la violence, etc.

> *« Dans certaines circonstances données, et seulement dans ces circonstances, une agglomération d'hommes possède des caractères forts différents de ceux de chaque individu qui la compose... La collectivité est alors devenue, faute d'une expression meilleure, j'appellerai une foule organisée, ou, si l'on préfère une foule psychologique. Elle forme un seul être et se trouve soumise à la loi de l'unité mentale des foules. »*

Dans cette même école, sur des aspects plus psychologiques, le phénomène de panique est associé à une individualisation des comportements avec un relâchement de la cohésion du groupe associée à une disparition des hiérarchies et des solidarités entre individus. La panique génère ainsi paradoxalement à la fois un ralliement des individus dans une entité unique, la masse ou la foule, à laquelle est attribuée une forme d'autonomie d'action, mais elle génère en même temps une individualisation des comportements au sein d'un groupe qui ne constitue plus un collectif structuré et cohérent mais un ensemble désorganisé au sein duquel peut s'exercer toute la violence d'individus ayant perdu tout repère.

L'école américaine ne considère pas la foule comme une entité autonome et qui anéantirait toute capacité de raisonnement des individus qui la composent. Selon Quarantelli, les phénomènes de panique sont bien moins irrationnels que cela est souvent décrit et ils sont beaucoup plus rares qu'on le pense, même en situation de crise [Quarantelli, 1975]. Quarantelli conditionne les phénomènes de panique à plusieurs facteurs : (i) les individus éprouvent qu'ils sont pris au piège, (ii) ils ont un accès limité aux ressources qui peuvent leur permettre de s'échapper de la situation les mettant ainsi en concurrence avec les personnes qui partagent avec eux cet accès aux ressources, et (iii) un sentiment d'impuissance les amène à ne concevoir d'autres solutions que la fuite.

Ces deux écoles ont une façon bien différente de penser la panique. L'école française par ses références à des comportements archaïques, privés de toute raison, à des comportements « animaux », se réfère facilement au domaine du mythe. Crocq a d'ailleurs choisi de structurer son ouvrage sur les paniques collectives [Crocq, 2013] selon neuf muses de la mythologie grecque. Cette conceptualisation ne permet pas de définir des règles qui régissent les comportements individuels de paniques et qui permettraient aux individus de s'en échapper ou aux sociétés de les réguler. A l'inverse, en considérant les phénomènes de panique comme des phénomènes régulés et obéissant à des règles, il est possible d'agir pour les réguler.

Anticiper pour éviter des situations de panique ou les réguler sont des objectifs pour tout décideur qui doit faire face à une crise. Ainsi lors des attentats du 13 novembre 2015 à Paris au Stade de France, après deux premières explosions aux

abords du Stade de France et quatre morts, les autorités ont décidé de ne pas faire interrompre le match et faire évacuer le stade pour éviter les émeutes et phénomènes de panique qui étaient plus craints encore que le risque attentat. En effet, bien que ce soient des événements rares, les mouvements de foule dans les stades font parfois de nombreux morts. Plusieurs paramètres permettent de caractériser une foule pour évaluer son évolution potentielle. Dix d'entre eux ont été identifiés pour constituer la typologie suivante [University of Leeds, 2009] : (i) l'objectif de la foule, (ii) la durée d'existence de la foule, (iii) le temps de départ de l'événement, (iv) la localisation des individus lors de l'événement, (v) l'environnement général de l'événement et le degré des conflits, (vi) le degré d'identification de l'individu à la foule, (vii) le degré d'interaction entre les membres, (viii) le degré d'hétérogénéité dans la foule, (ix) la taille de la foule, et (x) le nombre de bagages emportés par chaque individu. Cette typologie constitue une première étape pour identifier des leviers d'actions sur la gestion des phénomènes de panique.

Nous soulignons également ici l'importance des informations circulantes entre individus sur l'évolution des foules. Selon Michelet, « la foule décide bien moins par ce qu'elle voit que par ce qu'on lui dit être le jugement de la foule » [Michelet, 1860]. Cette citation fait écho à l'influence du second type de comportements abordés ici, celui des rumeurs.

Les rumeurs La rumeur est un « bruit », une expression confuse qui permet aux individus de satisfaire un besoin de parler lorsqu'ils n'ont pas d'informations sur un sujet qui les affecte [Kapferer, 1987]. La crédibilité perçue de la rumeur nait de la répétition d'une histoire par plusieurs personnes indépendantes, ainsi les réseaux sociaux ont ces dernières années largement contribué à la multiplication de rumeurs.

La fréquentation massive des réseaux sociaux et la fragmentation des médias sur les sites web, journaux et chaines de télévision ont bouleversé la conception et le mode de diffusion des rumeurs. Celles-ci peuvent aujourd'hui émerger dans un micro-média insignifiant et se diffuser presque immédiatement de proche en proche sans phénomène de transmission par bouche à l'oreille. Dans le même temps, les mécanismes de réponse ont également évolué. La réponse peut maintenant être immédiate bien que plus ou moins facile selon le contenu de la rumeur, et la source de la rumeur peut être identifiée grâce aux traces numériques qu'elle a laissé sur son passage.

Pour analyser les mécanismes de propagation des rumeurs, il existe aujourd'hui des « dictionnaires de rumeurs » établis par les chercheurs en sciences humaines qui permettent de suivre leurs évolutions et leur diffusion dans différentes régions du monde [Kapferer, 1987]. Selon la World Health Organization, quatre types de rumeurs peuvent être néfastes à la gestion de crise : (i) la désinforma-

tion, (ii) les mythes et pratiques à risque, (iii) les informations qui nuisent à la réputation et affectent la confiance dans les acteurs de la gestion de crise et (iv) les informations qui peuvent entrainer un risque en terme de sécurité publique [Sopory and Wilkins, 2016]. L'organisation ne précise pas si ces différentes rumeurs doivent être traitées différemment.

Des recherches ont été menées sur la manière d'éviter ou de faire taire les rumeurs à propos d'un événement sensible. Bien qu'il soit possible de répondre à une rumeur [Michel et al., 2004, Sopory and Wilkins, 2016], la meilleure manière de s'en défendre est de la prévenir. La diffusion d'informations et la transparence en sont le principal mécanisme de défense. En effet, les rumeurs se propagent en l'absence d'informations crédibles et régulières. Le secret est en particulier devenu très vulnérable aux rumeurs [Kapferer, 1990].

3.2.2.3 Représentations globales des comportements

Afin de pouvoir analyser les réponses comportementales des populations lors de crises majeures, il est important d'en avoir une représentation globale, dans un cadre unique d'analyse. Plusieurs travaux ont proposé une vision d'ensemble des comportements en situations de crise et, permettant d'établir des typologies de comportements types. Ces travaux sont malheureusement peu nombreux, le recueil de données réelles sur des événements de type catastrophe étant particulièrement délicat à obtenir et à analyser de manière globale. Nous considérons ici deux études qui ont été faites, l'une élaborée à partir de données empiriques et l'autre sur un plan beaucoup plus théorique.

La première étude est une enquête unique basée sur des interviews de 120 personnes ayant été impliquées dans les feux de forêts en 2013 dans l'état de Victoria, au Sud-Est de l'Australie [Rhodes, 2014]. Ces interviews ont permis de constituer un ensemble précieux de données sur les mécanismes de réactions à ce type de catastrophes. Elles ont notamment démontré de grandes difficultés pour les personnes à réagir de manière adaptée, à se préparer au risque et à appliquer les consignes qui leur ont été données, considérés comme inadaptées à leur situation. L'étude a permis de déterminer six archétypes de comportement des individus sur la base de leurs réactions aux incendies. Chacune des personnes interrogées ne correspond pas strictement à un des archétypes identifiés. Une même personne à deux moments différents de sa vie peut réagir selon des archétypes différents ou se rapprocher de plusieurs archétypes en même temps. Les archétypes sont décrits brièvement ci-dessous par une phrase permettant de synthétiser leur attitude face au risque [Rhodes, 2014] :

— **« On y va, il faut s'y mettre » :** ce sont des personnes conscientes du risque et qui ont déjà souvent eu une première expérience d'incendie. Elles sont motivées pour combattre le feu et se protéger et se basent principalement

sur leur jugement propre et leurs ressources. Ces personnes communiquent sur leurs observations et expériences ;

— **« Il faut être préparé lorsqu'on choisit de vivre ici » :** ces personnes connaissent les risques et investissent pour s'en protéger à travers une préparation active et établissent plusieurs plans d'action pour se protéger et leur permettre de s'adapter aux situations possibles. Elles sont engagées dans la communauté et reconnaissent les sources officielles d'alerte mais utilisent également leurs propres observations et réseaux locaux pour partager les informations ;

— **« Ce n'est pas seulement une maison, c'est notre moyen de subsistance » :** ce groupe de personnes cherche à rester sur place pour protéger ses biens matériels, principalement outils de travail et maisons. Ce sont souvent des personnes installées depuis longtemps dans la zone et très conscientes également du risque. Elles peuvent compter sur leurs famille et voisins pour les aider à protéger leurs biens ;

— **« J'évacuerai lorsqu'il le faudra, avant que ça ne soit vraiment dangereux » :** ces personnes évacuent lorsqu'elles considèrent le danger imminent selon les informations qu'elles reçoivent mais surtout leurs propres évaluations et priorités (nourrir les animaux ou observer le feu par exemple). Elles s'informent à travers de nombreuses sources et ont des attentes fortes pour l'information transmise par les autorités ;

— **« La vie est plus importante que les maisons » :** ce sont des personnes qui se perçoivent vulnérables, pour des raisons objectives ou subjectives, et qui cherchent à évacuer le plus tôt possible. Elles ne cherchent pas à s'informer sur les actions à mener car, pour elles, la solution est l'évacuation mais elles font confiance aux alertes officielles pour évaluer le danger ;

— **« Je ne m'attendais pas à un tel feu, j'ai été choqué » :** ces personnes ne se considèrent pas dans un environnement à risque. Elles ne pensent pas pouvoir un jour être affectées par un incendie et ne s'y sont pas préparées. Elle ne sont pas familières avec les canaux officiels d'alerte et interrogent plutôt leurs proches en cas d'incendie. Enfin elles peuvent même supposer que la situation est maitrisée en constatant la présence des équipes de secours.

Les auteurs de cette étude soulignent qu'aucun de ces archétypes de comportement n'est idéal. Bien que certains sont plus ou moins appropriés, chacun d'entre eux présente des avantages et des inconvénients. En revanche, les actions menées à l'attention du public pour lutter contre les incendies ont toutes eu des impacts limités. Les auteurs font le constat qu'elles ne s'adressent pour chaque cas qu'à un type de personnes au sein de la population (les programmes d'éducation communautaires par exemple ont été bien perçus par le premier archétype identifié mais ils n'ont pas intéressé les personnes ayant à défendre leurs moyens de

subsistance).

Une autre approche basée également sur des données empiriques, mais qui s'intéresse principalement à la temporalité des crises et à l'évolution des comportements des populations mérite d'être présentée ici. Il s'agit de la modélisation de Dubos-Paillard et Provitolo sur les comportements en situation de crise [Dauphiné and Provitolo, 2013]. Des comportements des populations ayant été identifiés sur plus d'une dizaine de crises majeures dans le monde de nature et d'intensité différentes. A partir de cet échantillon, une typologie des comportements à différentes étapes de la crise a été établie que l'on peut observer figure 3.9. Ces comportements identifiés de l'alerte à la post-crise sont essentiellement non traditionnels, ils ne correspondent pas aux comportements habituels des populations, ils sont liés à des dynamiques collectives (de familles, groupes d'appartenances ou organisations) et ils ont une durée de vie courte.

Dimension temporelle / Principaux types de comportements / Alerte	Phase préalable au choc →		Choc →	Phase postérieure au choc
	Danger distant annoncé	Danger imminent annoncé et personnellement menaçant	Danger présent prévu ou imprévu	Immédiat post-impact
Comportements instinctifs				
° Fuite panique		x	x	x
° Sidération			x	x
° Lutte instinctive			x	
° Agitation		x	x	x
° Comportement d'automate		x	x	x
Comportements acquis et intelligents				
° Evacuation/Fuite	x	x	x	x
° Confinement/Mise à l'abri	x	x	x	x
° Lutte réfléchie contre les effets du désastre (envisagés ou réels)	x	x	x	x
° Immobilisme contraint ou réfléchi		x	x	x
° Recherche des proches	x	x	x	x
° Recherche des secours			x	x
° Entraide (Assistance, secours d'urgence)		x	x	x
° Curiosité			x	x
° Comportements déviants (pillage, vol, violence...)				x
° Retour sur le lieu d'habitation/de travail				x
X Comportement observable				© Provitolo, Dubos-Paillard, 2012

FIGURE 3.9 – Typologie des comportements observés selon la temporalité de la catastrophe [Provitolo et al., 2015]

Cette typologie ne fournit pas les clefs pour comprendre les raisons qui amènent les populations lors d'une crise à se comporter d'une façon plutôt qu'une autre. Il est néanmoins intéressant de noter que la dynamique des comportements identifiés

reste relativement stable d'une crise à une autre dans les différents cas d'étude pris en compte dans ces travaux. Ce constat est particulièrement important car les cas d'étude utilisés sont très divers.

Ces travaux sont également intéressants de part la modélisation mathématique de la dynamique des comportements individuels en cas de crise qu'ils proposent [Provitolo et al., 2011]. Trois grandes familles de comportements ont été retenues pour cette modélisation, les comportements réflexes [5], les comportements de panique décrits précédemment et particulièrement dangereux pour le collectif, et les comportements contrôlés (raisonnés, intelligents). Ces comportements se succèdent en séquence dont la dynamique temporelle peut être modélisée par un système d'équations différentielles.

3.2.3 Synthèse et conclusion

En guise de conclusion, cette section met en évidence le caractère relativement précaire des résultats obtenus par la recherche sur les réactions des populations à l'alerte et en situation de crise. Beaucoup d'études s'intéressent aux déterminants des comportements, en cas d'évacuation notamment, mais elles demeurent incomplètes et s'avèrent parfois contradictoires. De manière plus globale, des archétypes de comportements en situation de crise ont pu être proposés, ainsi que des modèles dynamiques d'évolution des comportements. Des travaux de modélisation plus avancés, dans le domaine des sciences humaines ou en informatique, permettent de représenter des émotions ou différents types de personnalité. En informatique notamment, les SMA parviennent à représenter des comportements rationnels mais demeurent limités quant à la représentation de phénomènes cognitifs ou d'interaction entre agents. Enfin, de nombreux travaux issus des sciences économiques permettent d'établir des indicateurs relatifs à des activités cognitives telles que les perceptions collectives.

3.3 De l'état de l'art à nos travaux

Dans ce chapitre, nous avons proposé notre vision de l'aide à la décision, qui repose sur les définitions de Roy et Bouyssou (1993) et sur la capitalisation sur les connaissances, basée sur les trois postulats suivants : la connaissance n'est pas un objet, la connaissance est liée à l'action, et la connaissance d'entreprise comprend deux grandes catégories de connaissance [Arduin et al., 2015]. Cette présentation a été suivie d'un aperçu très général des approches les plus fréquemment utilisées

5. Les comportements réflexes sont des réactions instinctives qui permettent de réagir très rapidement à un danger. Il s'agit de la lutte, la fuite « automatique » ou la sidération.

dans les démarches d'aide à la décision. Dans ces approches explicatives et non explicatives, nous en avons sélectionnées trois qui correspondent aux caractéristiques attendues pour une application au contexte de la gestion de crise : les arbres de décision, les méthodes de régression logistique et les méthodes des plus proches voisins.

Les éléments de connaissance que nous proposons d'introduire dans la démarche d'aide à la décision ont été étudiés en sciences économiques, dans le domaine des sciences sociales ou dans les systèmes multi-agents. Il s'agit de connaissances relatives aux comportements des populations, qui sont reconnus pour avoir un impact sur les réactions des individus de manière générale, et plus spécifiquement en situation de crise. Ils ont pour objectif, dans l'application de la démarche que nous proposons par la suite, d'éclairer les décisions pour éviter certains comportements nuisibles lors de la réponse à une crise tels que les phénomènes de rumeur ou de panique. Nous nous sommes inspirées des modèles présentés dans ce chapitre pour définir les déterminants du comportement qui seront présentés dans le chapitre suivant. Par exemple, les travaux sur les indices de confiance des consommateurs vont nous permettre de définir un indicateur de perception des EWS. Le modèle OCC et le modèle de Roseman qui sont très utilisés dans les sciences humaines pour représenter les émotions et les personnalités nous permettront également de définir une partie de ces déterminants. Les travaux réalisés sur des comportements ou archétypes de comportement en situation de crise seront pour leur part importants pour identifier des phénomènes déviants ou préjudiciables dans ces situations, que les décideurs cherchent dans la mesure du possible à éviter.

Nos objectifs consistent en une forme d'élargissement des problématiques existantes liées à l'alerte aux populations. Il n'existe pas aujourd'hui d'étude sur les EWS qui propose d'adapter ces systèmes pour tenir compte d'informations objectives sur les comportements des populations en situation de crise. Or les déterminants des comportements ont été étudiés et peuvent être intégrés dans ces systèmes à travers des approches d'aide à la décision. Nous proposons donc dans le chapitre suivant une démarche qui consiste à apporter une aide à la décision en cellule de crise sur les questions relatives à l'alerte et à l'information aux populations, basée sur la prédiction de comportements spécifiques. Cette démarche a également pour objectif de fournir un cadre de réflexion aux décideurs sur les questions de la sensibilisation des populations et de la prise en compte de leurs comportements en cas d'alerte.

CHAPITRE 4

DÉMARCHE POUR LA CONCEPTION D'UN OUTIL D'AIDE À LA DÉCISION

Sommaire

3.1 Différentes approches de l'aide à la décision 54
3.1.1 De l'apport de connaissances à l'aide à la décision . . . 54
3.1.1.1 La connaissance comme ressource 54
3.1.1.2 Connaissances tacites et connaissances explicitées 55
3.1.1.3 L'aide à la décision fondée sur les connaissances 56
3.1.2 Approches non explicatives 58
3.1.2.1 Réseaux de neurones 58
3.1.2.2 Réseaux bayésiens 59
3.1.3 Approches explicatives 61
3.1.3.1 Les arbres de décision 61
3.1.3.2 Méthodes de régression logistique 62
3.1.3.3 Analyse discriminante 63
3.1.3.4 Méthodes des plus proches voisins 65
3.1.4 Comparatif 65
3.1.5 Synthèse et conclusion sur les approches d'aide à la décision 68
3.2 Comportements des populations en situation de crise 69
3.2.1 Modélisation du comportement 69
3.2.1.1 Travaux issus des sciences économiques 70
3.2.1.2 Travaux issus des sciences humaines 71
3.2.1.3 Travaux issus de l'intelligence artificielle 73

3.2.2 Comportements spécifiques en situation de crise 75
3.2.2.1 Comportements dans des situations d'évacuation 75
3.2.2.2 Études sur des comportements particuliers : panique et rumeurs 76
3.2.2.3 Représentations globales des comportements . 80
3.2.3 Synthèse et conclusion 83
3.3 De l'état de l'art à nos travaux 83

Nous avons vu dans les chapitres précédents que la prise en compte des comportements des populations dans les processus de gestion de crise est une thématique peu abordée mais qui soulève des questions et des enjeux qui se posent de plus en plus dans les travaux de recherche. Nous nous sommes positionnées par rapport à ce constat en proposant d'introduire des connaissances relatives aux comportements des populations dans les systèmes d'alerte précoce (EWS) au travers d'une démarche d'aide à la décision. Dans cette optique, nous avons dressé un état de l'art sur les grandes approches d'aide à la décision, puis sur les travaux existants relatifs aux comportements des populations et plus spécifiquement aux comportements en situation de crise. Ces modèles nous apportent des représentations de la structure ou des dynamiques des comportements humains. Ils nous ont inspirées dans l'élaboration de la démarche d'aide à la décision qui est présentée dans ce chapitre.

Nous commençons pour la présenter par dresser le périmètre des enjeux de décision concernés par la démarche de manière exhaustive. Nous proposons ensuite la démarche pour la conception d'un outil d'aide à la décision structurée en quatre étapes : (1) identification des connaissances, (2) structuration et recueil des données, (3) génération d'un modèle de décision et (4) utilisation et mise à jour du modèle.

4.1 Périmètre des enjeux de décision en question

Les entretiens avec plusieurs décideurs et notre participation à l'exercice SEQUANA (cf. chapitre 1) en tant qu'observateurs nous ont permis d'observer que de nombreuses questions sont posées en cellule de crise. Les formuler et commencer à y répondre sont les premières étapes du processus de décision. En lien avec l'alerte aux populations en situation de crise, nous avons identifié les questions ci-dessous. Nous en retiendrons trois dans le cadre de cette thèse (en gras dans la liste). Ce sont des cas simples qui portent uniquement sur la décision d'alerter ou non les populations et l'émergence de comportements spécifiques sur lesquels nous avons été en mesure de récolter des données durant le temps de la thèse.

- **Quels sont les risques de panique en cas d'alerte et quels sont ces mêmes risques si la décision est de ne pas alerter ?**
- **Quels sont les risques de rumeurs en cas d'alerte et quels sont ces mêmes risques si la décision est de ne pas alerter ?**
- **L'alerte est-elle nécessaire ?**
- Doit-on alerter pour procéder à une évacuation ou à un confinement des populations ?
- Quels sont les risques d'incompréhension en cas de confinement de la population ?
- A quel moment alerter ?
- Quels sont les probabilités que les populations apportent de l'aide aux équipes d'intervention ?
- A travers quels médias doit-on diffuser l'alerte ?
- Quel doit être le contenu de l'alerte et de l'information qui l'accompagne (sur la zone de risque, les comportements à adopter, le risque encouru et la source du message) [Mileti and Sorensen, 1990] ?
- Quelle doit-être l'autorité identifiée comme la source de l'alerte ?
- Quelles peuvent être les conséquences à long terme de l'alerte, ou de la décision de ne pas alerter, sur l'opinion publique ?

La démarche a été adaptée dans ce document pour prédire le risque de panique ou de rumeurs en situation d'alerte ; pour aider ainsi à répondre à la question qui se pose sur la nécessité de l'alerte aux populations. Elle peut cependant être adaptée pour répondre à d'autres types de questions dans la liste précitée.

Au delà d'une aide à la décision, savoir répondre à ces questions doit permettre d'améliorer l'efficacité des EWS à différents niveaux. Pour rappel, les EWS sont composés de quatre parties : connaissance des risques, services d'alerte, diffusion des alertes et enfin capacité de réponse et préparation à agir. Une meilleure connaissance du terrain, notamment grâce à l'identification des indicateurs morphologiques ayant un impact avéré sur les comportements permet d'améliorer la partie « connaissance des risques ». La partie « services d'alerte » est améliorée par l'introduction de nouveaux indicateurs qui viennent enrichir la prédiction des impacts potentiels par des risques spécifiquement liés aux populations. Par cette connaissance, il est possible, en amont de l'alerte, d'aider à définir la pertinence de l'alerte, le moment le plus opportun pour la diffuser et les modalités optimales de diffusion (choix du contenu de l'information diffusée, du vocabulaire utilisé et des canaux d'information). L'idée est également de permettre une communication pertinente et ciblée, pour améliorer directement la troisième partie « diffusion des alertes ». Enfin, la connaissance

des indicateurs qui ont un impact fort sur l'adéquation des réactions des populations aux comportements réflexes attendus doit permettre d'ajuster et de cibler plus efficacement les actions de sensibilisation et d'éducation, pour ce qui concerne le dernier élément des EWS « capacité de réponse et préparation à agir ».

4.2 Présentation synthétique de la démarche

La démarche proposée a pour objectif d'aider à apporter des réponses aux questions relatives à l'alerte qui se posent dans les cellules de crise. L'objectif plus général est de répondre en partie au défi d'intégrer des connaissances objectivées relatives aux comportements des populations dans le EWS français.

Nous rappelons ici que cette démarche se positionne dans la continuité de nombreux travaux émergents dans la littérature internationale sur les comportements en situation de crise [Fujiki, 2017, Provitolo et al., 2015, Bañgate et al., 2017]. Dans le contexte de la France, elle s'inscrit dans les orientations de la politique de sécurité civile définies dans la loi n° 2004-811 du 13 août 2004 de modernisation de la sécurité civile qui propose de gérer les crises selon un cadre général et engage à une responsabilisation du citoyen.

La démarche est façonnée en quatre étapes, elles-mêmes subdivisées en plusieurs parties, comme indiqué dans les figures 4.1 et 4.2.

La première étape consiste à identifier les connaissances pertinentes relatives aux déterminants du comportement des populations. Elle suppose une identification des indicateurs reconnus pour avoir un impact sur les comportements des populations dans les travaux de recherche en sciences économiques, sciences humaines et intelligence artificielle. Ces indicateurs ont également été identifiés dans ce document par des entretiens avec des décideurs pourvus d'une expérience probante en gestion de crise. La liste d'indicateurs ainsi obtenue se veut la plus exhaustive possible. Cette première étape comprend également la sélection des indicateurs les plus pertinents au processus d'aide à la décision, l'agrégation lorsqu'elle est possible d'indicateurs homogènes ainsi que la définition de valeurs pour chacun de ces indicateurs.

La seconde étape concerne la structuration et le recueil des données historisées qui ont été identifiées à la première étape, pour chaque crise entrant dans le périmètre de l'étude. Le recueil doit être réalisé par l'ensemble des acteurs qui disposent de l'information. Cette étape nécessite une profonde implication des acteurs sur le territoire national, pour constituer une base de données conséquente permettant de fournir les résultats les plus fidèles possible à la réalité.

La troisième étape de la démarche a pour objectif de générer un modèle de décision en se basant sur les données récoltées dans l'étape précédente. Nous avons

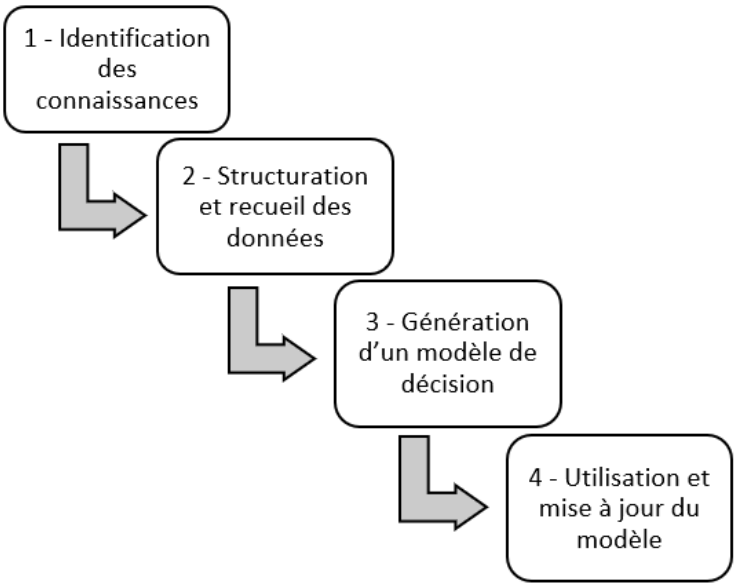


FIGURE 4.1 – La démarche d'aide à la décision en quatre grandes étapes

présenté dans le chapitre précédent les grandes approches à capacité explicative utilisées en fouille de données qui permettent de générer un modèle de décision. En fonction des préférences du décideur, celui-ci pourra choisir l'approche qui lui semblera la plus pertinente. La validation du modèle généré par l'approche choisie est un point essentiel de cette étape.

Enfin la dernière étape correspond à l'utilisation du modèle et à sa mise à jour de manière régulière pour tenir compte des dernières données récoltées. Des tests devront être réalisés au préalable sur des cas simulés ou réels avant que le modèle puisse être utilisé, et les données récoltées devront être suffisantes pour que le modèle soit considéré comme fiable.

La mise en œuvre de toutes ces étapes se fait selon différentes temporalités, comme indiqué dans la figure 4.3.

Comme dans tout processus d'aide à la décision, une grande partie des étapes de la démarche est réalisée par une collaboration entre les experts en analyse de données responsables de la mise en œuvre de la démarche et les décideurs. Cette collaboration est nécessaire de la sélection des indicateurs à la validation des modèles générés. Une partie non négligeable cependant concerne uniquement les experts qui doivent mettre en place la base de données et assurer sa maintenance, sélectionner les algorithmes pertinents pour l'analyse des données et générer les modèles de décision. Enfin, une fois les modèles de décision générés une première fois, seulement certaines actions réalisées par les experts seront nécessaires. Il s'agit de la gestion des données, de l'application des algorithmes et de la validation des modèles.

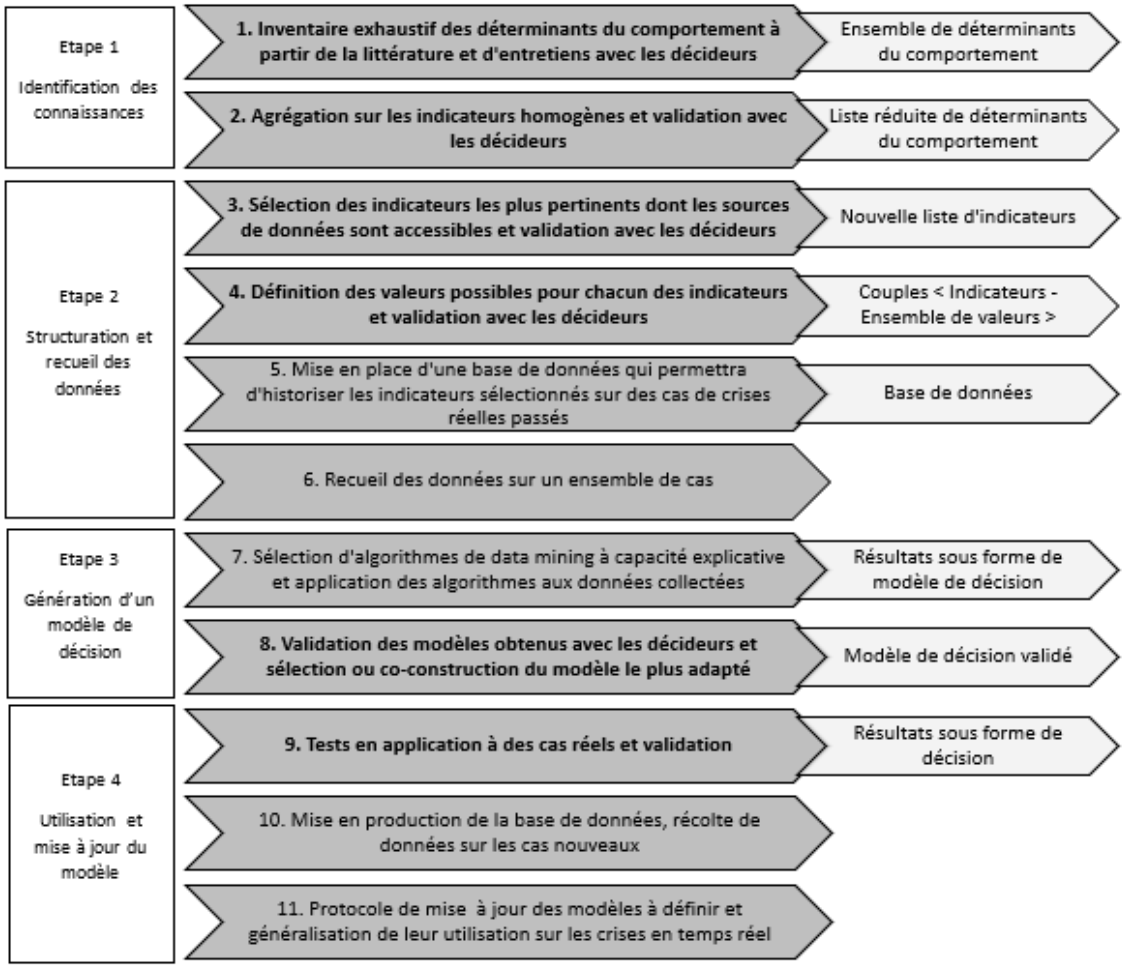


FIGURE 4.2 – Une démarche en quatre étapes
Les étapes en gras correspondent à des phases de validation avec les décideurs.

Après chaque crise	Recueil des données et mise à jour de la base	
De manière ponctuelle	Mise à jour du modèle de décision par l'application de l'algorithme choisi aux données récoltées	
En situation de préparation et de réponse	Utilisation du modèle sur les données disponibles	Interprétation des résultats

FIGURE 4.3 – Les trois temporalités différentes dans la mise en œuvre de la démarche

4.3 La démarche étape par étape

4.3.1 Première étape : Identification des connaissances

Les indicateurs qui nous permettent d'intégrer des connaissances relatives aux comportements des populations dans les systèmes d'alerte sont précisés dans cette section. Ces indicateurs ont été identifiés à partir de recherches dans la littérature (qui seront précisées dans la description de chaque facteur) et d'entretiens menés dans le cadre de cette thèse avec des décideurs de la sécurité civile intervenant sur le territoire français. Ils doivent être adaptés selon les besoins des décideurs et les contraintes relatives à la récolte de données. Afin d'identifier les indicateurs nous avons défini 24 facteurs reconnus pour avoir une influence sur les réactions humaines en situation de crise. Chacun de ces facteurs est composé d'un ou de plusieurs indicateurs.

Nous avons regroupés les facteurs en deux catégories, conformément à la formalisation de Lewin (1936) qui définit le comportement C en fonction d'une personne P et de son environnement E. Cette formalisation se traduit de la manière suivante : C = f (P,E). Nous distinguons ainsi deux catégories de facteurs, qui se différencient par les objets auxquels ils se rapportent. Les facteurs liés aux personnes P font référence à des éléments individuels comme le métier ou la perception objective du risque. Les facteurs liés à l'environnement E quant à eux font référence à des éléments externes aux individus comme la densité de la population ou les signaux perceptibles de la crise. Ils peuvent également faire référence à des éléments individuels pouvant être étudiés sur une zone géographique comme la part des moins de 15 ans ou la confiance dans les institutions. Pour ordonner ces facteurs à un niveau plus fin de détail, nous avons également procédé par analogie à des travaux réalisés en classification contextuelle pour catégoriser les facteurs en unité de contexte [Ferdousi et al., 2017]. Celles-ci offrent une représentation des facteurs à un niveau intermédiaire, en les catégorisant selon les sept unités suivantes : (i) unité spacio-temporelle, (ii) unité équipement, (iii) unité entourage, (iv) unité évènement, (v) unité sociale, (vi) unité psycho-sociologique et (vii) unité cognitive. Chacun des facteurs ou déterminants du comportement est associé à une liste allant de un à sept indicateurs qui permettent de les caractériser [Negre et al., 2018]. Les facteurs sont présentés ici séparément les uns des autres bien qu'il existe une interaction permanente entre certains indicateurs qui les composent et entre les facteurs eux-mêmes. Ce ne sont pas des catégories strictement disjointes. A titre d'exemple, le facteur lié à l'individu qui correspond à la responsabilité que peut avoir une personne sur d'autres est très dépendant des facteurs environnementaux liés à l'entourage d'une personne et à son activité.

4.3.1.1 Facteurs du comportement relatifs à l'environnement

Dans cette section, nous présentons les douze facteurs relatifs à l'environnement. Cette catégorie est composée de quatre unités et comprend un total de 43 indicateurs.

— Unité spatio-temporelle

1. Caractéristiques démographiques : les premiers éléments qui ont été pris en considération dans les études sur la vulnérabilité des populations dans les situations de crise sont les caractéristiques des zones géographiques concernées [Comes et al., 2015]. Ils comprennent notamment la densité de la population (E1a), le type d'économie locale (E1b), le type d'urbanisme (E1c), la part des moins de 15 ans (E1d), la part des plus de 55 ans (E1e), le ratio hommes / femmes (E1f) et le pourcentage de personnes étrangères (E1g).
2. Caractéristiques culturelles Nous tenons compte ici de la région dans laquelle se produit l'événement (E2a), qui peut être en France plus ou moins marquée par une culture de l'individualité ou de la collectivité. Nous incluons également le niveau de confiance dans les institutions, ou autorités émettrices de l'alerte (E2b) ainsi que dans les experts du risque concerné (E2c). L'impact de la confiance sur les réactions des populations à l'alerte apparait comme déterminante dans de plusieurs études [Cotelle, 2014, Kemmelmeier et al., 2008].
3. Caractéristiques de la période pendant laquelle survient la crise : les décideurs que nous avons interrogé nous ont expliqué que les stratégies d'alerte peuvent différer en fonction du moment de la journée ou de la nuit (E3a) et selon les conditions météo (E3b). Les réactions des personnes et leur capacité à recevoir l'alerte sont différents si la crise les surprend pendant des temps de travail ou de repos, et dans des conditions de beau temps ou d'orages violents. Une autre caractéristique importante est l'année pendant laquelle survient la crise (E3c). Les comportements des populations sont en effet influencés par les contextes technologiques et culturels susceptibles d'évoluer fortement en seulement quelques années.

— Unité équipement

4. Capacités matérielles de mobilité et d'interaction : Au-delà des capacités personnelles, les capacités matérielles à se mouvoir et à communiquer jouent un rôle dans les réactions à l'alerte [Wright and Johnston, 2010, Smith and McCarty, 2009]. La capacité de mobilité peut être représentée par la longueur des routes en service (calculé en France par la direction des services de transport) (E4a), et par la présence de de transports en

commun (E4b) dont l'absence a été un facteur de non-évacuation lors de l'ouragan Katrina en 2005. Sur la capacité d'interaction nous prenons en compte ici les capacités virtuelles à travers le nombre de smartphones pour 100 habitants (E4c).

— Unité entourage

5. Caractéristiques de l'entourage : un des premiers réflexes en situation de crise est de rechercher des amis, d'échanger avec des proches [Dupuy, 2003]. Ces actions sont conditionnées par la densité des personnes à proximité de l'individu (E5a), la présence de relations proches (E5b), la présence de représentants de l'autorité : policiers, etc (E5c), le niveau de sécurité de la zone (E5d) qui peut être calculé en France à partir des statistiques fournies par l'observatoire national de la délinquance et des réponses pénales [1] : nombre d'atteinte aux biens, nombre d'atteintes volontaires à l'intégrité physique et nombre d'escroqueries et infractions économiques et financières pour 1000 habitants.

6. Comportement des personnes les plus proches : les études sur la contagion sociale démontrent que l'influence des personnes les plus proches géographiquement ont une influence plus importante que l'entourage global sur les actions des individus [Goldstone and Janssen, 2005]. Des modèles de seuil sont utilisés pour illustrer ce phénomène. Dans ces modèles, chaque agent possède un seuil de contagion qui lorsqu'il est franchi, l'amène à exercer la même activité que celle qu'exercent ses voisins. Le niveau de contagion d'un agent varie en fonction du nombre de ses voisins qui exercent une activité similaire [Granovetter, 1978, Solomon et al., 2000]. Deux indicateurs qui permettent ainsi de caractériser ce facteur sont les deux comportements dominants dans l'entourage proche (E6a) et (E6b), qui dominent par leurs niveaux de contagion. Ils peuvent correspondre par exemple à l'absence de réaction et la panique, ou bien la sidération et le retour sur le lieu d'habitation.

7. Comportement global de l'entourage : ce facteur correspond à l'influence de l'entourage global évoqué dans le facteur précédent. Il s'agit du comportement dominant global (E7) qui est adopté par la population dans un périmètre étendu et qui peut générer des processus de désindividualisation propres aux phénomènes de foules décrits par Gustave Le Bon dans la psychologie des foules [Le Bon, 1900, Dupuy, 2003].

— Unité événement

8. Risque concerné : selon le type de risque, la perception qu'ont des populations de la gravité de la menace qui pèse sur eux, la confiance dans

1. https ://inhesj.fr/ondrp

les autorités dans leur capacité à gérer le risque et la véracité de l'information reçue peut varier fortement [BVA, 2016]. Pour reprendre la classification en quatre grands ensembles de risque identifiés par l'IRSN, nous proposons un indicateur sur le type de risque concerné (E8a) qui puisse prendre une seule valeur dans la liste suivante : risques relatifs aux pollutions diffuses, risques collectifs non industriels, risques technologiques attachés à des sites et des actions identifiables. La récurrence des crises (E8b) associées au risque en question et les conséquences qu'elles ont eues sur les populations joue également un rôle dans les réactions des populations de part son impact sur l'expérience des différents acteurs. Les plans individuels et collectifs sont plus précis et adaptés lorsque les acteurs ont fait l'expérience d'une crise dans un passé proche [Dourlens, 2003]. Nous faisons ainsi l'hypothèse que les aménagements du territoire (E8c) pour prévenir un risque ont un impact sur les réactions des populations lors de crises majeures associées à ces risques.

9. Signaux perceptibles de la crise : lorsqu'un individu se trouve dans une situation de danger potentiel, une de ses premières réactions est d'évaluer le risque en se basant sur des éléments directement perceptibles [Kinateder et al., 2015]. Dans le cas d'un incendie par exemple, la perception directe de fumée, ou de flammes à proximité d'un individu ont un impact considérable sur sa décision d'évacuer ou non un bâtiment. Ce facteur est limité aux signaux sensoriels, il est volontairement dissocié de la sensibilité des individus qui sera prise en compte à travers l'ensemble des facteurs de l'unité psycho-sociologique (cf. section 4.3.1.2). Bien que ces éléments soient dépendants, leur nature et la façon dont sont recueillies les données correspondantes sont très différentes. Le type de signaux perceptibles dépendent fortement du type de crise concernée. Nous définissons donc trois indicateurs d'ensemble pour ce facteur, les signaux visuels (E9a), les signaux sonores (E9b) et les signaux olfactifs (E9c).

10. Dégâts matériels : les sociétés contemporaines sont extrèmement dépendantes des réseaux techniques [Rinaldi et al., 2001], aussi bien économiquement que socialement. Les dégâts matériels liés à l'événement déclencheur et à ses conséquences peuvent affecter les déplacements (E10a), le réseau électrique (E10b), les réseaux téléphoniques (E10c), le réseau d'approvisionnement en eau potable (E10d), en gaz (E10e) ou le réseau d'assainissement (E10f). Ces réseaux techniques représentent un élément clé d'analyse de la résilience urbaine, notamment en raison de la dépendance des populations à ces réseaux [Lhomme, 2012]. Les indicateurs constitutifs de ce facteur sont caractérisés par l'étendue de la zone concernée par la perturbation de réseaux.

11. Alertes / Informations transmises : nous avons choisi de reprendre certains des critères d'évaluation des moyens d'alerte et d'information au regard de la doctrine ORSEC [DGSCGC, 2013b] pour caractériser ce facteur. Les comportements des populations sont influencés par la réception effective de l'alerte, selon la capacité des canaux de diffusion utilisés à couvrir la zone géographique et les lieux visés (E11a). Le signal doit être également identifié à l'alerte (E11b) et renouvelé (E11c) pour être confirmé [Mileti and Beck, 1975]. L'autorité émettrice du signal doit pouvoir être identifiée (E11d) [Mileti and Sorensen, 1990] : lorsque le signal est directement diffusé par les autorités, les personnes ne recherchent généralement pas à le confirmer par d'autres sources d'information [Drabek and Boggs, 1968]. L'information accompagnant l'alerte doit enfin être précise et cohérente [Mileti and Sorensen, 1990] (E11e), personnalisée (E11f) [Baker, 1991], et pouvoir être diffusée en plusieurs langues (E11g).
12. Actions réalisées pour la protection des populations : les observations que nous avons pu faire lors de l'exercice SEQUANA et les entretiens avec les décideurs nous ont démontré que, hormis l'alerte, plusieurs types d'actions sont décidées en cellule de crise qui peuvent avoir un impact direct sur les populations (E12). Celles-ci peuvent être des actions d'observation : surveillance de sites sensibles ; de sécurisation : blocage de routes et autoroutes, fermeture d'établissements scolaires ou de centres commerciaux ; ou de défense : répartition et nombre de ressources mobilisées.

4.3.1.2 Facteurs du comportement relatifs aux individus

Dans cette section, nous présentons les douze facteurs relatifs aux individus. Cette catégorie est composée de trois unités et comprend un total de 45 indicateurs.

— Unité sociale

13. Etat civil : les caractéristiques individuelles ont une influence statistique sur les réactions des individus dans des situations de crise [Mileti and Sorensen, 1990]. Les indicateurs suivants, communément utilisés dans les études sociologiques [2], ont notamment été reconnus comme ayant une influence sur les réactions à l'alerte dans des situations d'évacuation [Fujiki, 2017] : l'âge (I1a), le sexe (I1b), la nationalité (I1c), le nombre d'enfants en bas âge (I1d), le lieu de résidence (I1e), le niveau d'étude (I1f), le métier (I1g). L'influence de ces indicateurs dans les réactions à l'alerte ont été étudiés et reconnus dès les années 1990 à travers

2. https ://www.insee.fr/

plusieurs études menées aux Etats-Unis [Mileti and Sorensen, 1990]. À notre connaissance, cette influence n'a pas été invalidée.

— Unité psycho-sociologique

14. Personnalité : Bien que le lien entre personnalité et comportements des personnes en situation de crise n'ait pas été directement étudié, il a été démontré qu'une relation existe entre les traits de personnalité du modèle FFM ou Big Five [Zoumpoulaki et al., 2010] et la perception des risques [Chauvin et al., 2007] ou les conduites à risque [Breakwell, 2014]. Nous avons donc repris le modèle de personnalité FFM, sur lequel une majorité de spécialistes s'accordent, pour structurer la personnalité en cinq grand composants : l'extériorisation des sentiments (I2a), la stabilité émotionnelle (I2b), les principes moraux (I2c), la sociabilité (I2d), et la capacité à décider (I2e). A ces indicateurs, nous avons ajouté la réactivité mimétique (I2f). La réaction mimétique en situation de crise est un phénomène très étudié dans la littérature financière. Il peut être défini dans ce contexte comme un ensemble de comportements individuels présentant des corrélations [Jondeau, 2001]. Jondeau distingue le mimétisme rationnel, quand un individu agit avec mimétisme par manque d'information, du mimétisme irrationnel, lorsque l'information est connue de l'individu mais qu'elle n'est pas prise en compte dans ses actes.

15. Présence sur les réseaux sociaux : le rôle des réseaux sociaux dans la gestion de crise est de plus en plus reconnu et étudié dans la littérature [Alexander, 2014]. Ils se distinguent des médias traditionnels (radio, télévisions), représentant à la fois un vecteur d'alerte et d'information pour les acteurs de la gestion de crise, un espace d'échange pour les populations, et une source d'informations pour les acteurs de la gestion de crise. Ils permettent également l'émergence d'un certain nombre d'initiatives d'entraide [Alexander, 2014]. Nous caractérisons la présence sur les réseaux sociaux par le nombre de tweets envoyés par les autorités qui concernent l'événement (I3a), le nombre de tweets totaux concernant l'évènement (I3b) et la cinétique de ces tweets (I3c). L'association VISOV [3] travaille déjà sur la collecte et l'analyse de tweets lors d'événements d'urgence gérés par la sécurité civile.

16. Motivation à évacuer / à défendre : les motivations à évacuer la zone de danger (I4a) et à se défendre en luttant contre le danger (I4b) sont deux facteurs qui influencent la réponse plus ou moins active des populations [Adam and Gaudou, 2016]. Ces réactions dépendent de plusieurs autres facteurs, l'évaluation du risque d'une part et la zone géographique mais

3. https ://www.visov.org/

aussi des ressources que la personne peut avoir à protéger, la survie de sa famille ou sa récolte par exemple.

17. Emotions : Il n'y a pas de consensus autour du nombre de catégories d'émotions existantes, ni de leur rôle et de leurs conséquences sur la cognition et le comportement [Ortony and Turner, 1990]. Il est cependant avéré qu'elles exercent un rôle important dans les dynamiques comportementales [Provitolo et al., 2015]. Le modèle OCC [Van Dyke Parunak et al., 2006] évoqué précédemment propose une classification selon vingt-deux grandes émotions. Il existe d'autres classifications, qu'on retrouve notamment dans les travaux sur la détection d'émotions dans les réseaux sociaux [Hamon et al., 2015]. Nous choisissons ici de classifier les émotions dans les six catégories universelles qui peuvent se lire sur les visages et qui sont donc une traduction de symptômes physiques [Ekman and Friesen, 1971] : joie (I5a), tristesse (I5b), colère (I5c), dégoût (I5d), peur (I5e), surprise (I5f). Nous ajoutons à ce facteur l'état de fatigue (I5g), qui est un marqueur utilisé à des fins médicales et de secours, mais qui représente encore à ce jour un problème complexe en informatique [Irtija et al., 2018].
18. Signaux physiologiques : plusieurs travaux étudient les liens qui peuvent être faits entre les signaux physiologiques d'un individu et ses réactions émotionnelles et psychologiques [Cacioppo and Tassinary, 1990]. Les deux indicateurs physiologiques que nous retenons peuvent être mesurés à l'aide de capteurs. Il s'agit du rythme cardiaque (I6a) et la tension artérielle (I6b). Ils peuvent être mesurés lors de simulations ou d'exercices grâce à des tensiomètres ou des montres intelligentes.

— Unité cognitive

19. Evaluation du risque : la perception subjective du risque peut concorder avec le risque objectif ; ou pas [Streufert and Taylor, 1971]. Nous considérons que l'évaluation du risque est composée à la fois d'une partie objective (I7a) qui dépendra beaucoup des signaux perceptibles de la crise et d'une partie subjective (I7b) qui, elle, dépendra principalement de la personnalité de l'individu, des émotions ressenties et de ses connaissances.
20. Expérience et capacités à évacuer et à se défendre : le vécu et les capacités objectives et subjectives des personnes ont une grande influence sur leurs réactions [Mileti and Sorensen, 1990]. Les capacités objectives à évacuer et à se défendre correspondent aux degrés de dépendance des personnes, selon leur âge ou handicap. Les capacités subjectives sont relatives quant à elles aux réussites ou aux échecs à évacuer et à se défendre dans des situations similaires passées et dans la situation en cours (les capacités subjectives à se défendre par exemple diminuent

au fur et à mesure d'un échec à stopper la progression d'un incendie) [Adam and Gaudou, 2016]. Les indicateurs retenus pour ce facteur sont l'expérience d'une ou de plusieurs crises similaires dans le passé (I8a), les capacités objectives (physiques et intellectuelles) à évacuer et à se défendre (I8b) et les capacités subjectives à évacuer et à se défendre (I8c).

21. Connaissances explicitées : les connaissances explicitées peuvent jouer un rôle primordial dans certaines situations, notamment dans l'évaluation du risque [Arru et al., 2016c]. Ces connaissances peuvent être répertoriées en trois grandes catégories : les connaissances communes, partagées par l'ensemble d'une population à une échelle régionale ou nationale (I9a), les connaissances acquises lors de formations de préparation au risque (I9b), les connaissances fournies par l'accès à des documents relatifs au danger (I9c) et par l'accès à des outils de partage des connaissances (I9d).
22. Perception du EWS : nous définissons la perception comme le processus de collecte, d'organisation et d'interprétation de stimuli qui peuvent être des informations ou des connaissances provenant de différentes sources. Dans cette perception nous comprenons le sentiment global de sécurité par rapport au risque concerné (I10a), l'utilité du EWS dans ce sentiment (I10b), les connaissances des individus sur les comportements à adopter (I10c), l'adéquation du EWS aux besoins (I10d) et la sensibilité aux fausses alertes (I10e). Un critère unique peut faire la synthèse de cet ensemble d'indicateurs et être mesuré à partir de réponses à une enquête simple [Arru et al., 2016a].
23. Activités : certaines composantes des activités humaines peuvent être déterminées automatiquement à partir de vidéos [Niebles et al., 2008]. Nous différentions ici les activités selon leur niveau d'interaction (I11a), de concentration (I11b) et de mouvement (I11c). Ces trois composantes ont un impact sur la capacité d'une personne à réagir rapidement pour adapter ses actions. Par exemple, le niveau d'interaction d'une personne en train de discuter avec des amis autour d'un café est forte, et ses niveaux de concentration et de mouvement plutôt faibles. Au contraire, si elle circule seule dans sa voiture en temps de pluie, son niveau d'interaction sera faible et ses niveaux de concentration et de mouvement beaucoup plus forts.
24. Responsabilité : en situation de crise, on attend naturellement un contrôle et une prise en charge de la situation par des meneurs, les personnes responsables d'un groupe de par leur statut ou de par leurs compétences [Wooten and James, 2008]. Dans la situation où une alerte est donnée dans un établissement scolaire par exemple, un professeur

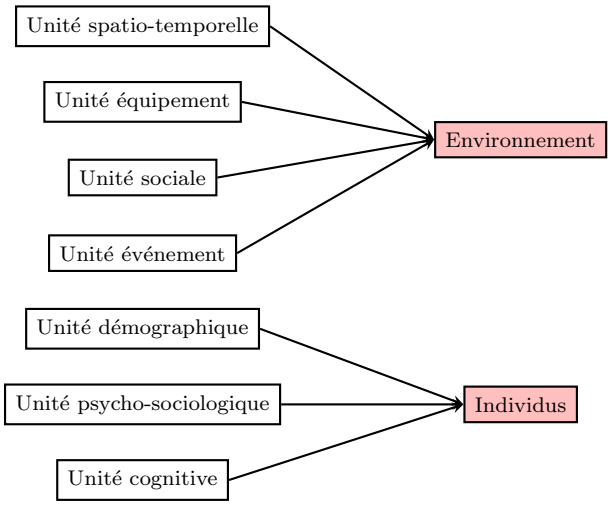


FIGURE 4.4 – Représentation synthétique des facteurs regroupés par unité et par catégorie en section 4.3.1

pourra avoir une réaction tout-à-fait différente s'il est seul dans son bureau ou si il est dans une salle de cours en train d'enseigner à un groupe d'élèves. Il pourra évaluer le danger suffisamment faible pour ne pas réagir et poursuivre ses activités s'il est seul dans son bureau, mais il lui semblera bien plus essentiel d'évacuer avec ses élèves dans de bonnes conditions s'il est en cours. La responsabilité envers ses élèves lui confère un rôle d'exemple. Prenons une situation plus proche du quotidien, celui d'un adulte qui souhaite traverser la route sur un passage piéton lorsque le feu piéton est rouge mais qu'aucune voiture n'est en vue. Il y a une probabilité beaucoup plus forte que cet adulte traverse s'il est seul que s'il est accompagné d'un ou plusieurs enfants, ou si un ou plusieurs enfants se trouvent dans son entourage. Le niveau de responsabilité d'une personne (I12) permet de mesurer ce facteur.

Les facteurs sont représentés de manière synthétique par unité et par catégorie figure 4.4, et les tableaux 4.1 et 4.2 proposent une vision d'ensemble des 88 indicateurs, liés à l'environnement (43 indicateurs) et aux individus (45 indicateurs).

4.3.1.3 Agrégation de données homogènes

Pour limiter le nombre d'indicateurs à prendre en compte, certains d'entre eux peuvent être agrégés dans une mesure unique.

Unité	Facteurs	Indicateurs	Indice
Spatio-temporelle	Caractéristiques démographiques	densité de la population	E1a
		type d'économie locale	E1b
		type d'urbanisme	E1c
		part des moins de 15 ans	E1d
		part des plus de 55 ans	E1e
		ratio hommes / femmes	E1f
		pourcentage d'étrangers	E1g
	Caractéristiques culturelles	région concernée	E2a
		confiance dans les autorités	E2b
		confiance dans les experts	E2c
	Caractéristiques de la période pendant laquelle survient la crise	moment du jour	E3a
		météo	E3b
		année	E3c
Equipement	Capacité matérielles de de mobilité et d'interaction	longueur des routes en service	E4a
		transports en commun	E4b
		nombre de smartphones pour 100 habitants	E4c
Entourage	Caractéristiques de l'entourage	densité des personnes à proximité de l'individu	E5a
		présence de relations proches	E5b
		présence de représentants de l'autorité	E5c
		niveau de sécurité de la zone	E5d
	Comportement des personnes les plus proches	comportement dominant dans l'entourage proche 1	E6a
		comportement dominants dans l'entourage proche 2	E6b
	Comportement global de l'entourage	comportement dominant global	E7
Événement	Risque concerné	type de risque	E8a
		récurrence des crises	E8b
		aménagement du territoire	E8c
	Signaux perceptibles de la crise	signaux visuels	E9a
		signaux sonores	E9b
		signaux olfactifs	E9c
	Dégâts matériels	dégradation des transports	E10a
		dégradation du réseau électrique	E10b
		dégradation du réseau téléphonique	E10c
		dégradation du réseau d'approvisionnement en eau potable	E10d
		dégradation du réseau d'approvisionnement en gaz	E10e
		dégradation du réseau d'assainissement	E10f
	Alertes / Informations transmises	zone géographique et les lieux visés	E11a
		identification du signal à l'alerte	E11b
		caractère renouvelable du signal	E11c
		identification de l'autorité émettrice	E11d
		précision et cohérence de l'information	E11e
		personnalisation de l'alerte	E11f
		diffusion dans plusieurs langues	E11g
	Actions réalisées	ensemble des actions réalisées	E12

Tableau 4.1 – Indicateurs liés à l'environnement

Unité	Facteurs	Indicateurs	Indice
Sociale	État civil	âge	I1a
		sexe	I1b
		nationalité	I1c
		nombre d'enfants	I1d
		lieu de résidence	I1e
		niveau d'étude	I1f
		métier	I1g
Psycho-sociologique	Personnalité	extériorisation des sentiments	I2a
		stabilité émotionnelle	I2b
		principes moraux	I2c
		sociabilité	I2d
		capacité à décider	I2e
		réactivité mimétique	I2f
	Présence sur les réseaux sociaux	nb tweets envoyés par les autorités	I3a
		nb tweets qui concernent l'événement	I3b
		cinétique des tweets	I3c
	Motivation à évacuer / à défendre	motivations à évacuer la zone de danger	I4a
		motivation à se défendre en luttant contre le danger	I4b
	Émotions	joie	I5a
		tristesse	I5b
		colère	I5c
		dégoût	I5d
		peur	I5e
		surprise	I5f
		état de fatigue	I5g
	Signaux physiologiques	rythme cardiaque	I6a
		tension artérielle	I6b
Cognitive	Évaluation du risque	partie objective	I7a
		partie subjective	I7b
	Expérience et capacités	expérience d'une autre crise dans le passé	I8a
		capacités objectives à évacuer et à se défendre	I8b
		capacités subjectives à évacuer et à se défendre	I8c
	Connaissances explicitées	connaissances communes	I9a
		connaissances acquises lors de formations	I9b
		accès à des documents relatifs au danger	I9c
		accès à des outils de partage des connaissances	I9d
	Perception du EWS	sentiment global de sécurité	I10a
		utilité du EWS dans ce sentiment	I10b
		connaissances des individus sur les comportements à adopter	I10c
		adéquation du EWS aux besoins	I10d
		sensibilité aux fausses alertes	I10e
	Activités	niveau d'interaction	I11a
		niveau de concentration	I11b
		niveau de mouvement	I11c
	Responsabilité	niveau de responsabilité	I12

Tableau 4.2 – Indicateurs liés aux individus

Choix des indicateurs : La perception des EWS, qui associe un ensemble de concepts séparés, est un exemple de concept qui peut être évalué par agrégation de mesures subjectives individuelles. Nous proposons d'utiliser ici une agrégation des indicateurs correspondant au facteur de perception des EWS en une mesure (indicateur) unique.

Pour cela, nous proposons l'utilisation d'un questionnaire générique à destination des populations d'une zone considérée pour un risque donné. Ce questionnaire pourra être proposé dans le cadre de la préparation à la crise, lors d'actions de sensibilisation par exemple. Nous nous sommes référées à des recherches contextuelles sur les facteurs de confiance, de perception et de comportement dans les domaines de la volcanologie et des incendies [Haynes et al., 2008, Kuligowski, 2009] pour concevoir ce questionnaire. Sur les aspects formels, nous nous sommes inspirées de l'ensemble de cinq questions posées aux ménages pour mesurer les indices de confiance des consommateurs [Wilcox et al., 2008] (présentés en section 3.2.1.1). Ces indices de confiance ont également pour objectif de mesurer une perception des populations, vis-à-vis de leur situation socio-économique et de celle de leur région. Des études ont été menées pour valider dans quelle mesure ces perceptions permettent de prédire des actions futures des consommateurs [Ludvigson, 2004]. Pour obtenir un critère simple, à partir d'une étude qui puisse être appliquée à grande échelle, nous avons limité l'enquête à six questions à choix multiples et à une question ouverte facultative, cette dernière permettant aux participants de suggérer des améliorations. Les réponses ouvertes collectées permettent de combiner analyses quantitatives et analyses qualitatives dans une approche mixte [Brannen, 2005], afin d'obtenir une vision contextuelle et permettre l'interprétation des résultats quantitatifs.

Dans le questionnaire proposé aux participants, les première et dernière questions évaluent intentionnellement un sentiment général. La deuxième question évalue la participation du EWS considéré dans le sentiment général évalué dans la première question. La troisième question porte sur les connaissances qu'ont les individus de la façon dont ils doivent réagir et des actions qu'ils ont à mener en cas d'alerte, c'est aussi une auto-évaluation de la capacité à agir lors d'une crise. Cette troisième question mesure le niveau de sensibilisation et d'éducation des personnes interrogées. La quatrième question est également une évaluation de la connaissance des personnes et du niveau de participation et de satisfaction par rapport au EWS en place ; enfin la cinquième question vise à évaluer la sensibilité aux fausses alertes. Le questionnaire générique permettant de mesurer la perception d'un EWS pour un risque donné x est donc le suivant :

— Question 1 : Je me sens en sécurité dans la zone à risque par rapport à un danger x ($q1$).

— Question 2 : Le système d'alerte opérationnel en place dans la zone à risque est utile à ma tranquillité ($q2$).

— Question 3 : Je sais ce que je dois faire en cas d'alerte x dans la zone à risque ($q3$).
— Question 4 : Le processus à suivre en cas d'alerte x dans la zone à risque me paraît améliorable ($q4$).
— Question 5 : J'agis selon le processus de sécurité à chaque fois que j'entends l'alerte x dans la zone à risque ($q5$).
— Question 6 : En général, je considère la sécurité x dans la zone à risque satisfaisante ($q6$).

Pour faciliter les réponses au questionnaire et rendre le processus intuitif, chacune des questions admet cinq réponses ordonnées selon l'échelle de Likert [Likert, 1932], ou méthode des classements additionnés : « pas du tout d'accord » ($n2$) ; « pas tout-à-fait d'accord » ($n1$) ; « moyennement d'accord » (med) ; « plutôt d'accord » ($p1$) ; « tout-à-fait d'accord » ($p2$) et une réponse neutre cochée par défaut « ne se prononce pas ».

Exemples de mesures d'agrégation : Les réponses obtenues à partir du questionnaire ci-dessus sont combinées en un jugement unique et global interprété comme la perception du EWS. Considérons $H = 1, ..., h$ un ensemble de h répondants aux six questions à choix multiples $q1$, $q2$, $q3$, $q4$, $q5$, $q6$. Nous notons r_{ij} la réponse du répondant j à la question q_i pour $i \in [1, 6]$, $j \in [1, h]$. Par conséquent, l'indicateur de perception générique des EWS est défini comme une agrégation de toutes les réponses r_{ij} du répondant j à la question i. De manière générale, la perception des EWS est donnée par la formule générique $f(r_{ij}; i \in [1, 6], j \in [1, h]) \in [0, 1]$, où f est une fonction d'agrégation dont nous proposons ici deux versions. La recherche d'une fonction d'agrégation appropriée est un problème bien connu dans les domaines de la théorie de la décision ou de la statistique. Dans notre démarche, nous proposons deux indicateurs simples de perception du EWS, qui peuvent être facilement compris par des décideurs :

1. Score moyen : basé sur une moyenne classique, l'indicateur moyen est défini comme suit :
$$f_m(r_{11}, r_{12}, ..., r_{6h}) = \frac{g_m(1) + g_m(2) + ... + g_m(6)}{6}. \tag{4.1}$$
Ici, g_m est une fonction d'agrégation associant à chaque question à choix multiple i, le résultat de :
$$g_m(i) = \frac{r_{i1} + r_{i2} + ... + r_{ih}}{h}, \ pour \ i \in [1, 6]. \tag{4.2}$$
Dans ce cas, nous supposons que chaque réponse est reportée sur une échelle numérique ordinale 0 ; 0,25 ; 0,5 ; 0,75 et 1. Ces valeurs représentent respectivement les réponses $n2$ (réponse négative 2), $n1$ (réponse négative 1), med (réponse moyenne), $p1$ (réponse positive 1) et $p2$ (réponse positive 2), comme

présenté précédemment avec l'échelle de Likert. Dans cette formule, les réponses neutres ne sont pas prises en compte.

2. Score du sentiment : pour le deuxième indicateur, nous avons choisi de nous inspirer de la mesure utilisée par l'indice de confiance des consommateurs « Conference Broad Consumer Confidence Index » pour construire notre formule. Cet indice de perception des populations est plus récent que le « Michigan's Consumer Sentiment Index ». Il présente un lien plus fort avec l'économie réelle [Ludvigson, 2004] permettant de faire des prédictions plus fiables sur les actions futures des consommateurs. Pour chaque question à choix multiples i, nous comptons le nombre total de réponses positives $p1$ et $p2$ (et respectivement les réponses négatives $n1$ et $n2$) données par les h répondants que nous indiquons $pos(i)$ (respectivement $neg(i)$). La formule utilisée est la suivante :
$$f_s(r_{11}, r_{12}, ..., r_{6h}) = \frac{g_s(1) + g_s(2) + ... + g_s(6)}{6} \tag{4.3}$$
où g_s est une fonction d'agrégation associant à chaque question i, le nombre
$$g_s(i) = \frac{pos(i)}{pos(i) + neg(i)},\ pour\ i \in [1, 6]. \tag{4.4}$$
Dans cette formule, les réponses médianes (*méd*) et neutres ne sont pas prises en compte.

Les résultats sont des valeurs normalisées comprises dans l'intervalle $[0; 1]$ que les décideurs peuvent multiplier pour les ramener à l'échelle d'interprétation souhaitée en fonction du contexte.

L'étape d'identification des données est indépendante ici de toute considération technique. Dans la seconde étape, l'objectif est de transformer une liste d'indicateurs obtenue lors de cette première étape en un ensemble de données structurées et historisées.

4.3.2 Deuxième étape : Structuration et recueil des données

Afin de pouvoir procéder à la sélection des indicateurs les plus pertinents à prendre en compte dans l'application de la démarche, nous avons identifié pour chaque indicateur, tableaux 4.3 et 4.4, les sources de données potentielles (INSEE, Météo-France, enquêtes de terrain par exemple), l'échelle la plus fine sur laquelle il est calculé actuellement pour les indicateurs liés à l'environnement, du niveau communal au niveau national. Enfin le caractère statique ou dynamique des indicateurs sur la durée de l'événement est précisé, les indicateurs dynamiques étant plus difficiles à obtenir.

Indicateur	Sources de données	Échelle	S / D
Densité	INSEE	communale	S
Économie	Part de l'emploi dans l'agriculture - INSEE	communale	S
Urbanisme	DATAR (typologie des campagnes françaises "Espace, population, conditions de vie")	communale	S
Part des moins de 15 ans	INSEE	communale	S
Part des 55 ans et plus	INSEE	communale	S
Ratio hommes /femmes	INSEE	communale	S
Pourcentage d'étrangers	INSEE	communale	S
Région	Région	régionale	S
Confiance dans le gouvernement	Baromètre du CEVIPOF (Centre de recherches politiques de Sciences Po)	nationale	S
Moment du jour	Heure		D
Météo	Météo-France	locale	D
Année	Année		S
Fréquentation de la zone	Calculé (densité, urbanisme, jour/nuit)		D
Nb de smartphones		nationale	S
Longueur des routes	MEEM/SDST	départementale	S
Densité à proximité	Télésurveillance, observations, réseaux sociaux (RS)		D
Présence de proches	Télésurveillance, observations, RS		D
Représentants de l'autorité	Télésurveillance, observations, RS		D
Niveau de sécurité	Crimes et délits enregistrés par les services de police et de gendarmerie, « état 4001 »	départementale	S
Comportement entourage 1	Télésurveillance, observations, RS	locale	D
Comportement entourage 2	Télésurveillance, observations, RS	locale	D
Comportement global	Télésurveillance, observations, RS	locale	D
Type de risque	Expertise, observations	locale	S
Récurrence des crises	Communes	locale	S
Aménagement du territoire	Communes, plans de prévention	locale	S
Signaux visuels	Expertise, télésurveillance, observations, RS	locale	D
Signaux sonores	Expertise, télésurveillance, observations, RS	locale	D
Signaux olfactifs	Expertise, télésurveillance, observations, RS	locale	D
Dégâts transports	Expertise, observations, RS	locale	D
Dégâts réseau téléphonique	Expertise, observations, RS	locale	D
Dégâts réseau électrique	Expertise, observations, RS	locale	D
Dégâts réseau eau	Expertise, observations, RS	locale	D
Dégâts réseau gaz	Expertise, observations, RS	locale	D
Dégâts réseau assainissement	Expertise, observations, RS	locale	D
Zone de l'alerte	Émetteur de l'alerte	communale	D
Identification du signal	Émetteur de l'alerte	communale	D
Signal renouvelable	Émetteur de l'alerte	communale	D
Autorité émettrice	Émetteur de l'alerte	communale	D
Précision de l'info.	Émetteur de l'alerte	communale	D
Plusieurs langues	Émetteur de l'alerte	communale	D
Actions réalisées	Décideurs	communale	D

Tableau 4.3 – Sources des indicateurs relatifs à l'environnement (S pour statique, D pour dynamique)

Indicateur	Sources de données	S / D
Age	Enquêtes, Télésurveillance	S
Sexe	Enquêtes, Télésurveillance	S
Nationalité	Enquêtes, réseaux sociaux (RS)	S
Nb d'enfants	Enquêtes	S
Lieu de résidence	Enquêtes	S
Niveau d'étude	Enquêtes	S
Métier	Enquêtes	S
Extériorisation des sentiments	Enquêtes	S
Stabilité émotionnelle	Enquêtes	S
Principes moraux	Enquêtes	S
Sociabilité	Enquêtes	S
Capacité à décider	Enquêtes	S
Réactivité mimétique	Enquêtes	S
Nb d'inscriptions RS	Enquêtes, RS	S
Nb tweets envoyés par semaine	Enquêtes, RS	S
Nb tweets envoyés sur l'évmt	RS	D
Cinétique des tweets	RS	D
Motivation à évacuer	RS	D
Motivation à se défendre	RS	D
Joie	Télésurveillance, RS, Enquêtes	D
Tristesse	Télésurveillance, RS, Enquêtes	D
Colère	Télésurveillance, RS, Enquêtes	D
Dégoût	Télésurveillance, RS, Enquêtes	D
Peur	Télésurveillance, RS, Enquêtes	D
Surprise	Télésurveillance, RS, Enquêtes	D
État de fatigue	Télésurveillance, RS, Enquêtes	D
Rythme cardiaque	Capteurs	D
Tension	Capteurs	D
Évaluation objective du risque	Enquêtes	D
Évaluation subjective du risque	Enquêtes	D
Expérience	Enquêtes	S
Capacités objectives	RS	D
Capacités subjectives	RS	D
Connaissances communes	Enquêtes	S
Connaissances acquises	Enquêtes	S
Accès à des documents	Enquêtes	S
Accès à des outils de partage	Enquêtes	S
Sentiment global de sécurité	Enquêtes	D
Utilité du EWS	Enquêtes	S
Connaissances des comportements à adopter	Enquêtes	S
Adéquation du EWS aux besoins	Enquêtes	S
Sensibilité aux fausses alertes	Enquêtes	D
Niveau d'interaction	Enquêtes	D
Niveau de concentration	Enquêtes	D
Niveau de mouvement	Enquêtes	D
Responsabilité	Enquêtes	D

TABLEAU 4.4 – Sources des indicateurs liés aux individus (S pour statique, D pour dynamique)

L'accessibilité des données varie selon le type de source qui permet de les collecter, et selon les traitements qu'elles requièrent. Une donnée dynamique devra par exemple être mise à jour régulièrement. La sélection des indicateurs doit donc être faite selon cette accessibilité et selon l'appréciation des décideurs.

Les sources de données recueillies dans le cadre de la démarche peuvent être très variables en fonction des indicateurs choisis. Nous en avons recensé plusieurs types ci-dessous, cette liste étant amenée à évoluer selon les pratiques et les acteurs impliqués dans le processus.

— **Données « orales » :**

  Beaucoup d'indicateurs relatifs à l'environnement correspondent à des observations faites sur le terrain ou à des décisions prises dans les cellules de crise qui ne sont pas toujours formalisées dans des documents.

— **Données issues de bases de données déjà existantes :**

  Comme indiqué dans les tableaux 4.3 et 4.4, beaucoup de bases de données existantes centralisent déjà les données correspondant aux facteurs du comportement identifiés. Ces bases de données sont également de plus en plus rendues publiques et accessibles par des interfaces web, c'est le cas pour des données de l'INSEE, de l'INRA (Institut national de la recherche agronomique) ou de Météo-France par exemple.

  Au niveau national, les principaux fournisseurs de données sont les suivants [Cerema, 2016] : l'Institut géographique national (IGN) [4], l'INSEE [5], la Direction générale des finances publiques (DGFIP), l'Inventaire national du patrimoine naturel (INPN), la Direction générale de la prévention des risques (DGPR) , la Direction générale de l'aménagement du logement et de la nature (DGALN), le site www.data.gouv.fr qui comporte les données publiques ouvertes en France et le site https ://openstreetmap.fr/ qui a pour but de constituer une base de données géographique mondiale et libre.

  Des informations existent également au travers des plateformes SIG (Système d'information géographique) régionales (GéoRhôneAlpes, CRIGE PACA, SIG LR, etc).

  Enfin au niveau local, des données sont récoltées par les organismes suivants : les Directions départementales des territoires et de la mer (DDT-M), les Directions régionales de l'environnement, de l'aménagement et du logement (DREAL), les collectivités locales (communes, département, région, syndicats, etc), les agences d'urbanisme, les Services départementaux d'incendie et de secours (SDIS), les chambres consulaires et les gestionnaires de réseaux.

— **Données issues des réseaux sociaux :**

4. http ://professionnels.ign.fr/
5. http ://www.insee.fr/

Les informations échangées sur les réseaux sociaux sont précieuses en temps de crise et même en amont pour anticiper des mouvements de foule (lors de la préparation de manifestations par exemple). Les décideurs institutionnels en gestion de crise mesurent l'importance de ces informations et font déjà appel à des experts tels que l'association VISOV déjà citée (section 4.3.1.2) pour les exploiter. Des citoyens peuvent également spontanément et délibérément leur transmettre de l'information à travers ces réseaux [Rizza et al., 2012].

Les données issues des réseaux sociaux présentent néanmoins plusieurs limites, relatives notamment à la fiabilité des données.

— **Enquêtes de terrain à base de questionnaires :**

De nombreuses informations peuvent être obtenues lors de la phase de préparation à une crise et lors de la phase post-crise à partir d'études de terrain ou d'entretiens ciblés. Des questionnaires peuvent être utilisés pour avoir une meilleure connaissance de la population, sur ses perceptions [Arru et al., 2016a]. Dans le cadre de retours d'expérience, ils peuvent également permettre de récolter des données précieuses pour comprendre les réactions individuelles lors de la réception de signaux d'alerte [Arru et al., 2018d] (voir annexes A.1 et A.2).

— **Capteurs en temps réel :**

Les indicateurs dynamiques sur les signaux perceptibles du risque ou sur les mouvements individuels et collectifs peuvent être surveillés par capteurs en temps réel.

En ce qui concerne la captation des signaux du risque, des instruments de mesure utilisés par les acteurs institutionnels tels que Météo-France ou Vigicrue sont utilisés, mais des informations non négligeables peuvent également être transmises par des capteurs individuels, hygromètres, pluviomètres ou simples girouettes.

Des caméras de vidéo-surveillance peuvent également donner des informations sur l'état de l'environnement ou des personnes dans une zone géographique donnée. Cet usage est réglementé par les articles L223-1 et suivants (lutte contre le terrorisme), les articles L251-1 et suivants du code de la sécurité intérieure et l'article 9 (protection de la vie privée) du code civil. Seules les autorités publiques, les mairies notamment, peuvent filmer la voie publique. Les entreprises et les établissements publics peuvent seulement filmer les abords immédiats de leurs bâtiments et installations, la façade extérieure par exemple mais pas la rue en tant que telle, dans les lieux susceptibles d'être exposés à des actes de terrorisme. Les particuliers ne peuvent enfin filmer que l'intérieur de leur propriété. Ils ne peuvent pas filmer la voie publique, y compris pour assurer la sécurité de leur véhicule garé devant leur domicile.

Les systèmes de vidéo-surveillance biométriques ou intelligents, c'est-à-dire

permettant de programmer *a priori* les types de comportement à identifier, ne sont aujourd'hui pas interdits.

Enfin, le nombre d'appels téléphoniques sur les numéros d'urgence (15, 17, 18, 112 en France) ou dans les préfectures, et le contenu des appels constituent également un moyen d'obtenir de l'information sur l'état des populations en temps réel.

— **Données issues de fouilles du web :**

De nombreux travaux en informatique portent sur l'exploitation de l'information disponible sur internet pour faire de la veille concurentielle, de l'extraction d'opinion, recherche d'événements, etc. Ces techniques sont basées sur des approches classiques de traitement des langues naturelles, d'apprentissage automatique, de recherche d'informations, de bases de données et d'ontologies [Laender et al., 2002]. Elles sont aujourd'hui très utilisées dans le domaine commercial mais pourraient être étendues à d'autres usages [Ferrara et al., 2014].

Dans la démarche proposée, chaque instance de la base de données correspond à une crise majeure qui a eu lieu en France. La majorité des indicateurs relatifs à l'environnement correspond à des attributs de la base de données (la densité de la population par exemple ou le type d'économie locale) ainsi que certains indicateurs relatifs aux individus (la perception du EWS par exemple).

Les indicateurs relatifs aux individus, principalement collectés au travers de questionnaires de retour d'expérience, doivent être pour la plupart traités différemment. Chaque ensemble de réponses peut être intégré dans la base de données, dans un même attribut, ou bien dans une base de données séparée. Ces données n'ont pas toutes vocation à contribuer à la génération du modèle de décision. Elles peuvent permettre d'identifier des indicateurs pertinents relatifs aux réactions des populations sur la base de crises similaires par exemple. Cet aspect de la démarche n'est pas détaillée dans ce document. Une première collecte de données sur un retour d'expérience des populations a été menée suite à un exercice de sécurité civile organisé en mars 2017 sur le territoire du grand Verdun [Arru et al., 2018d], mais l'objectif de cette expérimentation était principalement de constituer un questionnaire pertinent à utiliser suite à des crises réelles.

Ainsi, la deuxième étape de la démarche nécessite dans un premier temps d'identifier les sources les plus pertinentes pour récolter les données correspondant aux différents indicateurs. Cette étape intègre également tout le travail de modélisation pour représenter et structurer les données, qui n'est pas traité ici, et qui peut s'avérer complexe dans le cas de données hétérogènes [Bihanic et al., 2013]. Enfin, la deuxième étape nécessite également la mise en place et la maintenance de bases de données, qui dépendent pour beaucoup des ressources offertes aux experts

responsables de la mise en œuvre de la démarche.

4.3.3 Troisième étape : Génération d'un modèle de décision

Pour prédire certains types de comportements des populations à partir des données collectées dans la deuxième étape, des approches prédictives à capacité explicative doivent être choisis. Celles-ci peuvent varier en fonction des attentes des décideurs, qui doivent déterminer l'approche qui leur semble la plus appropriée. Dans ce document nous en avons sélectionné trois qui nous semblent les plus adaptées à la problématique : les arbres de décision, les méthodes de régression logistique et les méthodes des plus proches voisins. Ces approches ont le mérite d'associer une bonne fiabilité, la génération d'un modèle de décision compréhensible et la possibilité d'être appliquées à un volume de données relativement faible. Cette étape de génération d'un modèle de décision doit être réalisée par des experts.

Les experts devront être capables de pré-traiter les données si cela s'avère nécessaire. Le pré-traitement des données consiste en plusieurs types d'actions : (i) la sélection des attributs selon les choix faits en lien avec les décideurs, (ii) la gestion des valeurs manquantes qui peuvent être ignorées ou estimées à partir de distributions statistiques ou de méthodes d'induction, (iii) la transformation des attributs par discrétisation, normalisation ou centralisation par rapport à la moyenne et (iv) la gestion des données complexes de type images par exemple. Le travail d'expertise s'attache enfin à régler les différents paramètres des algorithmes utilisés.

Le modèle doit ensuite être validé par les décideurs. Pour cela, les résultats doivent être lisibles et accompagnés d'explications chiffrées sur les performances du modèle obtenu. Différents outils permettent de mesurer ces performances dont les principaux sont le taux d'erreur, les taux de rappel et de précision selon les phénomènes recherchés (dans notre cas d'application les phénomènes de panique et de rumeurs). Différentes techniques de ré-échantillonnage peuvent être utilisées par les experts pour limiter le risque de sur-apprentissage du modèle (validation croisée, *bagging*[6] ou *boosting*[7]).

Enfin le modèle choisi doit pouvoir être modifié manuellement selon les expériences des décideurs de la gestion de crises passées et selon leurs connaissances.

L'étape de génération du modèle de décision correspond à la partie nécessitant le plus de choix techniques de la part des experts. Les données identifiées lors de la

6. Le principe du bagging (ou bootstrap aggregating) est d'agréger les prévisions de plusieurs modèles construits de manière indépendante, cette méthode permettent de réduire la variance des prédictions et donc d'en réduire l'erreur.

7. Le principe du boosting est également d'agréger les prévisions de plusieurs modèles, les modèles étant ici construits successivement, chaque nouveau modèle donnant plus de poids aux observations prédites de manière erronées dans le modèle précédent.

première étape sont très hétérogènes. Elles nécessitent un travail de pré-traitement conséquent pour que le modèle généré soit le plus fidèle possible à la réalité et puisse être utilisé par les décideurs.

4.3.4 Quatrième étape : Utilisation et mise à jour du modèle

La dernière étape n'est pas envisageable sans un conséquent travail de consolidation des trois étapes précédentes. Les premières utilisations du modèle sur des cas réels devront être effectuées avec prudence par des décideurs expérimentés. Une vigilance particulière devra être portée sur la communication des résultats aux décideurs.

La base de données doit être actualisée après chaque événement ou enquête de terrain réalisée. Les données sur les cas nouveaux seront principalement récoltées par les services de l'État ou les mairies. Les modèles de décision devront être également actualisés pour correspondre à la réalité des données mises à jour selon une fréquence à définir. Cette étape de mise à jour est primordiale, même si le dernier modèle obtenu semble fonctionner. Le biais de validation peut amener les décideurs à vouloir le conserver au détriment des leçons obtenues par les dernières crises passées, c'est pourquoi les mises à jour doivent être programmées à l'avance, selon un temps défini entre deux mises à jour ou un nombre de crises au-delà duquel le modèle doit être mis à jour.

Enfin, des retours d'expertise après plusieurs utilisations sur des cas réels devront permettre de valider ou non la pertinence sur le terrain de la démarche.

Ainsi, la génération du modèle de décision n'est pas l'aboutissement de la démarche. C'est l'utilisation réfléchie du modèle et sa mise en perspective avec les connaissances des différents acteurs de la gestion de crise qui permet de la mener à bien.

4.4 Enjeux éthiques associés

La question des aspects éthiques relatifs à l'utilisation de données individuelles et à l'usage d'algorithmes ne sera pas traitée dans ce document. Il s'agit cependant de questions majeures. En effet, les données collectées sont en partie des données personnelles et les décisions relatives à l'alerte peuvent avoir un impact politique fort. Ces questions devront être précisées avant une réelle mise en œuvre sur le terrain. Néanmoins nous considérons que la démarche, telle qu'elle est proposée, ne représente pas de risques éthiques majeurs. Plusieurs raisons nous permettent de l'affirmer :

— La sélection des facteurs relatifs aux comportements des populations, correspondant aux données à récolter, a été pensée de manière exhaustive. Bien que cette exhaustivité ne soit pas rigoureusement possible, un maximum d'indicateurs a été sélectionné. Cela permet de couvrir beaucoup des déterminants des comportements des populations en situation de crise.

— Les données manipulées correspondent à des données factuelles. Elles ne correspondent pas à des opinions concernant les objectifs de la démarche (ce qui peut engendrer des manipulations).

— L'objectif de la démarche est de répondre à un besoin exprimé par les décideurs qui sont amenés à gérer les crises et qui seraient les bénéficiaires de cette démarche. La recherche d'une adéquation de l'outil à des besoins réels est ainsi favorisée.

— Le modèle généré par les algorithmes est transparent et facilement compréhensible par ses utilisateurs.

— Le modèle peut être contrôlé par le décideur en fonction de ses expériences ou d'une connaissance particulière du terrain. Il peut de cette façon être personnalisé.

— La mise à jour des données est continuelle et doit permettre d'actualiser régulièrement les modèles. Ce processus est une partie intégrante de la démarche. Lorsque l'on s'intéresse à des données portant sur des événements rares, comme c'est le cas ici, il est essentiel que lorsque les données évoluent les modèles se transforment en conséquence.

— La démarche n'a pas vocation à couvrir une zone très étendue, l'objectif dans un premier temps est de se limiter au niveau communal dans la prédiction des risques ou opportunités relatives aux comportements des populations.

Enfin, de manière plus générale sur les enjeux éthiques de la collecte de données, il sera important d'établir une charte d'utilisation précisant pour tous les acteurs le sens des termes utilisés et l'usage qu'il peut être fait des données en terme d'accès, d'utilisation, de continuité de services, de sécurité et de traçabilité.

4.5 Synthèse

Ainsi, en partant des questions de décision en cellule de crise qui touchent de près ou de loin les réactions des populations, nous avons identifié les déterminants environnementaux et individuels de ces réactions, en proposant une liste de facteurs identifiés par un ensemble d'indicateurs pouvant être utilisés dans les systèmes d'alerte. L'identification des sources de données pour chacun de ces indicateurs, de leur échelle de mesure et de leur caractère statique ou dynamique a ensuite constitué une étape préparatoire dans l'élaboration de notre démarche.

Cette démarche de conception d'un outil d'aide à la décision se déroule en quatre grandes étapes :

— identification des connaissances ;

— structuration et recueil des données ;

— génération d'un modèle de décision ;

— utilisation et mise à jour du modèle.

Au delà de la proposition de la démarche, l'objectif de cette thèse est d'engager son expérimentation à travers plusieurs exemples d'applications des différentes étapes sur des cas d'étude.

CHAPITRE 5

TROIS APPLICATIONS DE LA DÉMARCHE

Sommaire

4.1 Périmètre des enjeux de décision en question 86
4.2 Présentation synthétique de la démarche 88
4.3 La démarche étape par étape 91
4.3.1 Première étape : Identification des connaissances 91
4.3.1.1 Facteurs du comportement relatifs à l'environnement 92
4.3.1.2 Facteurs du comportement relatifs aux individus 95
4.3.1.3 Agrégation de données homogènes 99
4.3.2 Deuxième étape : Structuration et recueil des données . 104
4.3.3 Troisième étape : Génération d'un modèle de décision . 110
4.3.4 Quatrième étape : Utilisation et mise à jour du modèle . 111
4.4 Enjeux éthiques associés 111
4.5 Synthèse 112

Nous avons présenté dans les chapitres précédents le contexte particulier de la gestion de crise, dans lequel des outils tels que les EWS (systèmes qui permettent d'alerter des populations sensibilisées et des organisations préparées, pour anticiper, éviter ou réduire les conséquences d'une crise), permettent d'aider les décideurs à anticiper autant que possible les alertes et les actions à mener. Des méthodes prédictives d'aide à la décision peuvent être intégrées dans ces outils,

concernant notamment les comportements des populations en situation de crise. Un état de l'art a permis de présenter les grandes approches prédictives d'aide à la décision ainsi que les travaux existants sur les comportements des populations en situation de crise. Enfin, dans le chapitre précédent, nous avons présenté une démarche d'aide à la décision en quatre étapes qui a pour objectif d'apporter des éléments de connaissance aux décideurs en cellule de crise sur des comportements probables des populations concernées.

Les trois cas présentés dans ce chapitre correspondent à des applications partielles de la démarche. En effet, faute de données suffisantes, nous n'avons pas pu expérimenter l'intégralité de notre démarche à un cas réel de crise. Accéder aux données correspondant aux indicateurs identifiés ayant un impact sur les comportements nécessite une collaboration forte avec de nombreux acteurs en amont et en aval des événements. D'autre part, la durée écoulée entre les premiers signaux de la crise et la crise effective ne nous a pas permis de nous rendre sur le terrain lors d'événements majeurs à temps, lors des intempéries à la fin du mois de janvier 2018 notamment. Et quand bien même nous aurions pu nous rendre disponibles à temps il nous aurait été impossible de réunir suffisamment de données sur les indicateurs auxquels nous nous intéressons pour en obtenir un échantillon suffisamment large et pertinent. Cette phase de recueil des données sur des crises réelles doit être faite par les acteurs de terrain pour que les données récoltées puissent être suffisantes et fiables.

Dans ce chapitre, nous présentons donc pour chacun des cas étudiés l'application de une ou plusieurs parties des étapes de la démarche. Dans la première section, nous expérimentons plusieurs façons dont peut être mesurée la perception du système d'alerte incendie de l'Université Paris-Dauphine (première et deuxième étapes). La deuxième section porte sur le recueil de données réalisé par une enquête de terrain à base de questionnaires à l'occasion de l'exercice de sécurité civile PPI des établissements Inéos réalisé le 22 mars 2017 sur le territoire du grand Verdun qui se situe en France, dans la Meuse (première étape). Enfin la dernière section présentera l'expérimentation théorique de l'ensemble des quatre étapes de la démarche sur les exemples choisis d'accidents technologiques survenus en France entre 1981 et 2013.

Ces cas sur lesquels nous avons appliqué tout ou partie de notre démarche s'inscrivent dans le cadre général de la gestion de crise en France, mais à différents niveaux. Ils font appel à différents moyens d'alerte soumis à différentes lois et réglementations et à différents processus de décision.

Le premier cas présenté, celui du système d'alerte incendie de l'Université Paris-Dauphine est un système local, à l'échelle de l'ensemble des bâtiments de l'université. Le deuxième cas, celui de l'exercice de sécurité civile organisé sur le territoire du Grand Verdun s'étend, pour sa part, sur un territoire vaste et hétérogène. Il

implique différentes organisations responsables de l'alerte, et le déclenchement de l'alerte est soumis à des processus complexes de décision (définis dans les PPI et POI et de manière plus globale dans le dispositif ORSEC). Enfin, les exemples choisis d'accidents technologiques, qui concernent, sauf exceptions, une zone géographique limitée à un quartier ou à une ville se caractérisent par un même type d'incident déclencheur. Bien qu'ils répondent également du dispositif ORSEC, ils admettent des processus de décision spécifiques.

5.1 Perception du système d'alerte incendie de l'Université Paris-Dauphine

Dans cette section nous présentons l'expérimentation de la méthode d'évaluation de l'indicateur de perception d'un EWS (présentée en section 4.3.1.3), appliquée au système d'alerte incendie de l'Université Paris-Dauphine. L'objectif est double, il est à la fois de donner un aperçu global de la perception du EWS par les personnes présentes au quotidien à l'Université Paris-Dauphine mais également d'étudier des corrélations entre la perception du EWS et trois indicateurs qui sont l'âge, le sexe et le statut des participants. Cette étude permet d'appliquer, en partie, les deux premières étapes de la démarche.

5.1.1 Présentation du système d'alerte incendie de l'Université Paris-Dauphine

Dans les bâtiments de l'université, la sécurité incendie est garantie par le service hygiène et sécurité. Ce service est composé de cinq personnes qui sont responsables par rapport à la sécurité incendie, de l'évaluation des risques, de la prévention, du lien avec le service d'incendie de la ville, de l'évacuation publique et des actions pour lutter contre les incendies. La sécurité incendie répond aux exigences des lois édictées en la matière. Le texte officiel principal relatif à la protection contre les incendies qui s'applique à l'Université Paris-Dauphine est l'arrêté du 25 juin 1980 portant approbation des dispositions générales du règlement de sécurité contre les risques d'incendie et de panique dans les Établissements recevant du public (ERP).

L'établissement public Université Paris-Dauphine a la particularité de concentrer plusieurs types de bâtiments et d'activités en un même lieu, mais avec des règles spécifiques : amphithéâtres, salle de sport, bibliothèques, restaurant, parking, librairie, agence et magasins commerciaux. Selon la responsable de l'équipe du service hygiène et sécurité, les cinq bâtiments de l'université seraient susceptibles de brûler en cinq minutes. Une majorité d'étudiants, d'enseignants d'université, de chercheurs, de personnels permanents et d'invités fréquentent l'université tous les

jours. En 2014, l'université comptait 8750 étudiants à temps plein, 2020 enseignants, chercheurs et conférenciers et 460 employés administratifs permanents ou temporaires. Une fois par an, une simulation d'alerte incendie est organisée sur le site complet de l'université, avec des mises en garde et l'évacuation de l'ensemble des bâtiments. Une formation est également proposée chaque année pour le personnel volontaire. En ce qui concerne les étudiants, seules des formations spécifiques de deux heures peuvent être mises en place à l'occasion d'événements associatifs spécifiques organisés par les étudiants. Précisons qu'à la date de l'étude présentée ici, ni la formation ni la simulation d'alerte n'avaient été réalisées sur l'année académique.

5.1.2 Recueil des données relatives à la perception du système

Nous avons lancé une étude en ligne anonymisée à destination du personnel et des étudiants de l'Université Paris-Dauphine. Cette étude, mise en ligne à partir du logiciel Open Source Limesurvey [1] a été accessible du 30 octobre 2015 au 6 novembre 2015. Elle consistait en un formulaire qui permettait dans un premier temps de recueillir des informations sur l'âge, le statut, le sexe des personnes interrogées et leur participation ou non à une formation à la sécurité incendie dans le passé. Le corps de l'étude était composé des six questions à choix multiple indiquées ci-après, adaptées du questionnaire générique présenté dans la section 4.3.1.3. Une échelle de Lickert permettait aux répondants de choisir pour chacune des questions une des six réponses possibles de « Pas du tout d'accord » à « Tout à fait d'accord », avec une réponse neutre « ne se prononce pas ». Enfin une question ouverte facultative permettait aux personnes interrogées de proposer des suggestions pour améliorer le système d'alerte incendie. Une capture d'écran du formulaire est proposé figure 5.1.

— q1 : Je me sens en sécurité au sein de l'université par rapport au risque d'incendie.

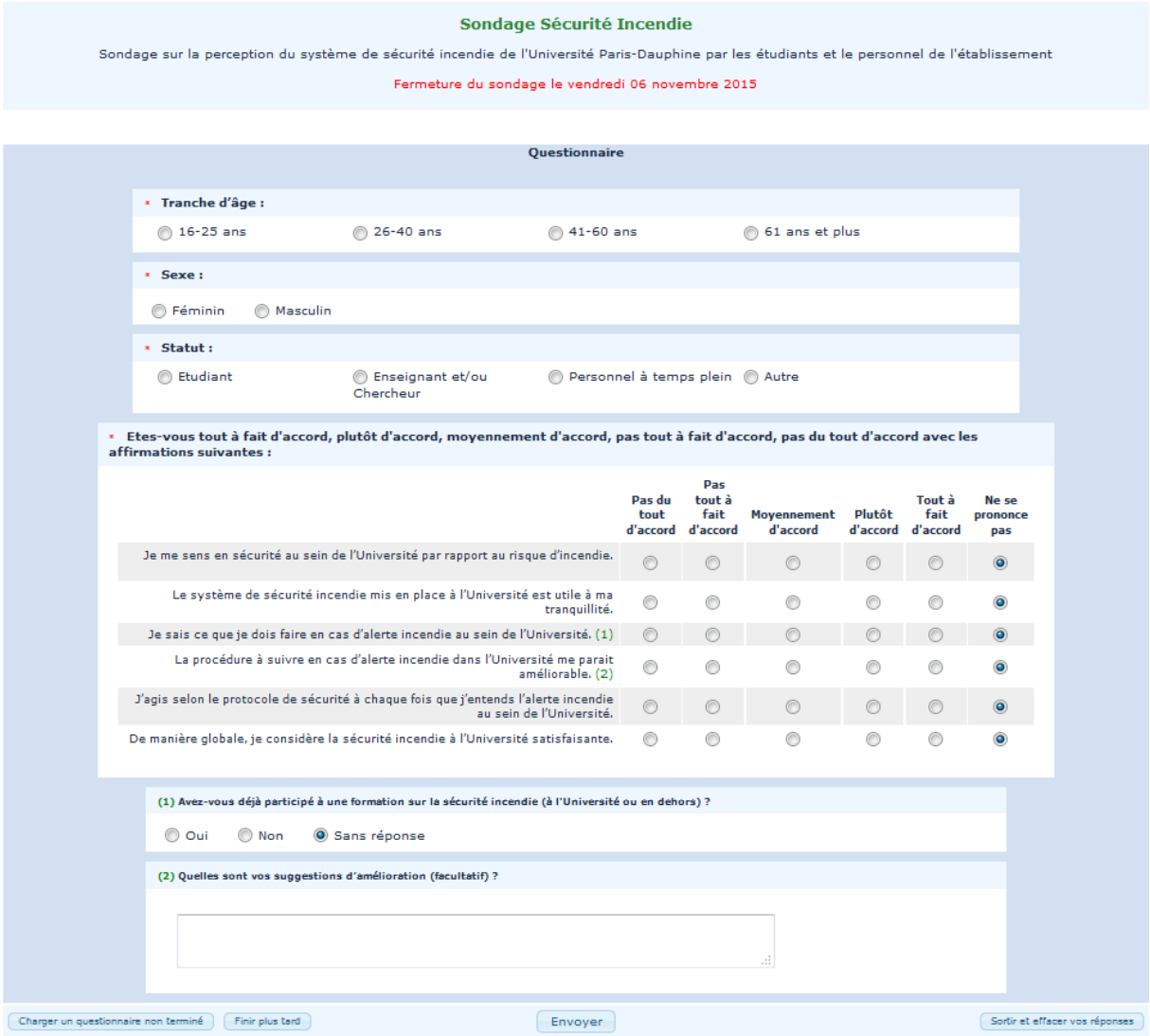
— q2 : Le système de sécurité incendie mis en place à l'université est utile à ma tranquillité.

— q3 : Je sais ce que je dois faire en cas d'alerte incendie au sein de l'université.

— q4 : La procédure à suivre en cas d'alerte incendie dans l'université me parait améliorable.

— q5 : J'agis selon le protocole de sécurité à chaque fois que j'entends l'alerte incendie au sein de l'université.

— q6 : De manière globale, je considère la sécurité incendie à l'université satisfaisante.



Sondage Sécurité Incendie

Sondage sur la perception du système de sécurité incendie de l'Université Paris-Dauphine par les étudiants et le personnel de l'établissement

Fermeture du sondage le vendredi 06 novembre 2015

Questionnaire

* **Tranche d'âge :**

16-25 ans | 26-40 ans | 41-60 ans | 61 ans et plus

* **Sexe :**

Féminin | Masculin

* **Statut :**

Etudiant | Enseignant et/ou Chercheur | Personnel à temps plein | Autre

* **Etes-vous tout à fait d'accord, plutôt d'accord, moyennement d'accord, pas tout à fait d'accord, pas du tout d'accord avec les affirmations suivantes :**

	Pas du tout d'accord	Pas tout à fait d'accord	Moyennement d'accord	Plutôt d'accord	Tout à fait d'accord	Ne se prononce pas
Je me sens en sécurité au sein de l'Université par rapport au risque d'incendie.						
Le système de sécurité incendie mis en place à l'Université est utile à ma tranquillité.						
Je sais ce que je dois faire en cas d'alerte incendie au sein de l'Université. (1)						
La procédure à suivre en cas d'alerte incendie dans l'Université me parait améliorable. (2)						
J'agis selon le protocole de sécurité à chaque fois que j'entends l'alerte incendie au sein de l'Université.						
De manière globale, je considère la sécurité incendie à l'Université satisfaisante.						

(1) Avez-vous déjà participé à une formation sur la sécurité incendie (à l'Université ou en dehors) ?

Oui | Non | Sans réponse

(2) Quelles sont vos suggestions d'amélioration (facultatif) ?

Charger un questionnaire non terminé | Finir plus tard | Envoyer | Sortir et effacer vos réponses

FIGURE 5.1 – Capture d'écran du formulaire de l'étude sur la perception du système d'alerte de l'Université Paris-Dauphine

Un lien vers l'étude a été envoyé par email à 1187 membres du personnel de l'université et sur les adresses personnelles des étudiants de 7 classes en formation MIDO (Mathématiques et informatique de la décision et des organisations), de la troisième année de licence à la seconde année de master, comprenant chacune entre 25 et 30 étudiants. En outre, une annonce a été publiée sur l'espace privé des étudiants du site de l'université. Nous précisons qu'aucune récompense n'a été proposée aux personnes ayant participé à l'étude.

1. https ://www.limesurvey.org

5.1.3 Résultats quantitatifs

L'enquête en ligne a été ouverte durant huit jours, pendant lesquels 253 étudiants et membres du personnel ont répondu au questionnaire. Plus de 10 % des membres du personnel ont répondu au questionnaire, avec 140 réponses sur les 1187 emails envoyés. Comme indiqué figure 5.2, les jeunes adultes entre 16 et 24 ans représentent la majorité des participants avec 43 % des réponses, ce chiffre étant cohérent avec la proportion de 45 % d'étudiants ayant répondu au questionnaire. Ensuite, respectivement 22 % et 29 % des personnes interrogées ont entre 26 et 40 ans ou entre 41 et 60 ans, et une minorité de personnes interrogées ont plus de 60 ans (6 %). Un tiers des participants sont enseignants et/ou chercheurs à l'université (34 %) et 19 % sont membres du personnel à temps plein. Ces distributions d'âges et de statuts ne reflètent pas la distribution réelle de la population de l'université où les étudiants sont plus nombreux ; néanmoins, elles permettent d'effectuer des comparaisons entre ces différentes catégories. Enfin, quasiment le même nombre de femmes et d'hommes ont répondu à l'étude avec respectivement 54 % et 46 % de participants.

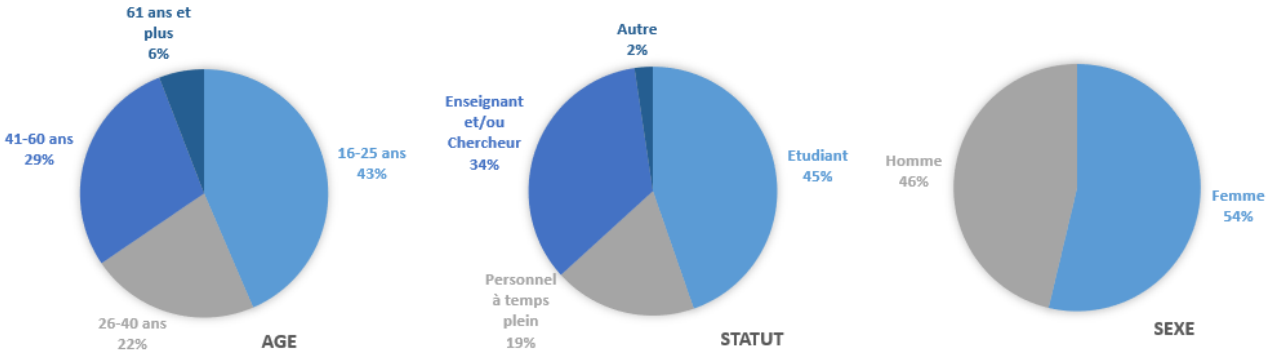


FIGURE 5.2 – Distribution des participants selon trois critères (âge, statut et sexe)

Nous notons ici que seulement 18 % des participants ont dans le passé participé à une formation à la sécurité incendie. Ce chiffre est par ailleurs probablement bien supérieur au pourcentage de la population réelle ayant participé à une telle formation, compte tenu que les participants à l'étude sont sans doute plus sensibilisés que la moyenne à la sécurité incendie. Enfin, un nombre important de participants, représentant 28 % des personnes interrogées, a proposé des suggestions pour améliorer le système d'alerte. Elles ont souligné ses limites et fait des propositions concrètes, souvent accompagnées d'expériences personnelles.

Dans cette étude, nous avons reporté chaque réponse sur une échelle numérique ordinale 0 ; 0,25 ; 0,5 ; 0,75 et 1. Nous avons ensuite appliqué les formules du score moyen et du score du sentiment, formules présentées dans la section 4.3.1.3, pour

obtenir des scores par question, par catégorie, et sur la globalité des réponses. Les résultats obtenus, sur une échelle allant de 0 à 1, ont ensuite été ramenés sur une échelle de 1 à 5, pour obtenir un nombre d'intervalles entre entiers correspondant au nombre de réponses possibles.

	Catégories	q1 Sentiment de sécurité	q2 Utilité du système	q3 Connaissances - Éducation	q4 Perfectibilité - Qualité	q5 Fausses alertes	q6 Sentiment global	Score moyen $f_m(q_1, ..., q_6)$
Age	16 à 25	3,57	3,25	2,22	1,38	2,73	3,28	2,74
	26 à 40	3,53	3,28	3,04	1,50	3,15	3,34	2,97
	41 à 60	3,25	3,43	3,14	1,62	3,94	3,24	3,11
	61 et plus	3,46	3,02	4,04	1,02	4,13	3,75	3,24
Statut	Étudiants	3,46	3,25	2,17	1,41	2,72	3,21	2,70
	Enseignants et/ou chercheurs	3,49	3,20	2,89	1,57	3,52	3,40	3,01
	Personnel à temps plein	3,39	3,56	3,78	1,37	3,92	3,31	3,22
	Autre	3,75	3,75	4,17	1,67	3,75	3,75	3,47
Sexe	Féminin	3,27	3,25	2,89	1,41	3,29	3,16	2,88
	Masculin	3,69	3,35	2,62	1,52	3,28	3,47	2,99
	Formé	3,29	3,37	3,49	1,28	3,45	3,45	3,06
	Non formé	3,51	3,31	2,61	1,49	3,23	3,28	2,91
	Global	3,46	3,30	2,76	1,46	3,28	3,31	2,93

Coefficient alpha de Cronbach = 0,816. L'indice de fiabilité de Cronbach montre une bonne cohérence interne des réponses.

TABLEAU 5.1 – Scores de perception moyens détaillés par question et par catégorie de participants

Comme on peut l'observer dans le tableau 5.1, les personnes ayant une connaissance importante des processus à suivre (q_3, 61 ans et plus) sont également celles qui estiment que ces processus sont améliorables, et qui ont suggéré le nombre le plus important de propositions d'amélioration (q_4, 61 ans et plus). Nous pouvons supposer que l'âge a une forte influence sur ces facteurs en observant une forte différence entre les scores obtenus aux questions correspondantes par les populations les plus jeunes avec les mêmes scores obtenus par les populations les plus âgées. Les connaissances acquises seraient ainsi davantage dues à des expériences personnelles qu'à la communication et à la sensibilisation. Un autre résultat que l'on peut observer est le score faible de jeunes adultes qui ont l'intention de réagir lorsque l'alerte est émise (q_5, 16 à 25 ans). Ce score de 2,73 (tableau 5.1, ligne 1) alerte sur l'absence possible de réactions chez les jeunes lors d'une alerte incendie.

Pour prendre du recul sur ces résultats, quelques observations peuvent être faites. Tout d'abord, les réponses à la question 4 relative à la perfectibilité du pro-

	Catégories	q1 Sentiment de sécurité	q2 Utilité du système	q3 Connaissances - Éducation	q4 Perfectibilité - Qualité	q5 Fausses alertes	q6 Sentiment global	Score du sentiment $f_s(q_1, ..., q_6)$
Age	16 à 25	4,43	4,09	2,29	0,71	3,12	4,16	3,13
	26 à 40	4,11	4,05	3,30	0,80	3,63	4,00	3,32
	41 à 60	4,06	4,28	3,43	0,91	4,45	4,14	3,55
	61 et plus	4,02	3,40	4,63	0,53	4,51	4,55	3,61
Statut	Étudiants	4,28	4,09	2,22	0,71	3,10	4,10	3,08
	Enseignants et/ou chercheurs	4,19	3,92	3,12	0,85	4,04	4,06	3,36
	Personnel à temps plein	4,20	4,45	4,15	0,80	4,37	4,31	3,71
	Autre	4,02	4,00	4,63	0,96	4,97	4,61	3,86
Sexe	Féminin	4,02	4,00	3,11	0,79	3,81	3,93	3,28
	Masculin	4,43	4,22	2,81	0,77	3,71	4,35	3,38
	Formé	4,02	4,38	3,82	0,60	3,98	4,37	3,53
	Non formé	4,31	4,09	2,79	0,82	3,70	4,13	3,31
	Global	4,23	4,10	2,97	0,78	3,76	4,13	3,33

Tableau 5.2 – Scores du sentiment détaillés par question

cessus à suivre en cas d'alerte incendie et, dans une moindre mesure, à la question 2 sur la connaissance des processus de sûreté, donnent de faibles résultats par rapport aux autres facteurs de perception évalués. Nous pensons que cette différence peut s'expliquer par un appel à des interprétations personnelles. Les participants à des études telles que celle qui est présentée ici ont tendance à se référer à leurs propres expériences lorsqu'ils répondent à ce type de questions. On parle des « caractéristiques de la demande » en psychologie, qui correspondent à un artefact expérimental qui amène les personnes à former une interprétation des objectifs de la question et adaptent leurs réponses en conséquence. Enfin, nous pensons que les résultats aux questions les plus générales, q1 et q6, sont également à relativiser du fait d'un possible biais d'acquiescement psychologique et culturel [Kalton and Schuman, 1982] qui pourrait faire augmenter les scores à ces réponses.

Le score de perception moyen global est de 2,93 (tableau 5.1, dernière ligne / dernière colonne), résultat significativement plus bas que le score du sentiment de 3,33 (tableau 5.2, dernière ligne / dernière colonne). Cette différence peut s'expliquer par la différence de calcul entre les deux formules. Contrairement au score moyen, le score du sentiment ignore les réponses « moyennement d'accord » et donne la même importance aux réponses « pas tout à fait d'accord » et « plutôt d'accord » qu'aux réponses « pas du tout d'accord » et « tout à fait d'accord ».

Dans le cas présenté, un score final de 1 pour chacun des deux indicateurs fait référence à un sentiment fort d'insécurité quant à la capacité du système de gérer

les risques, une score de 5 témoignant quant à lui d'un sentiment fort de sécurité.

Score	$[0;1]$	$]1;2]$	$]2;3]$	$]3;4]$	$]4;5]$
Résultat	1	2	3	4	5

TABLEAU 5.3 – Correspondance entre les scores et les résultats de l'indicateur de perception des EWS

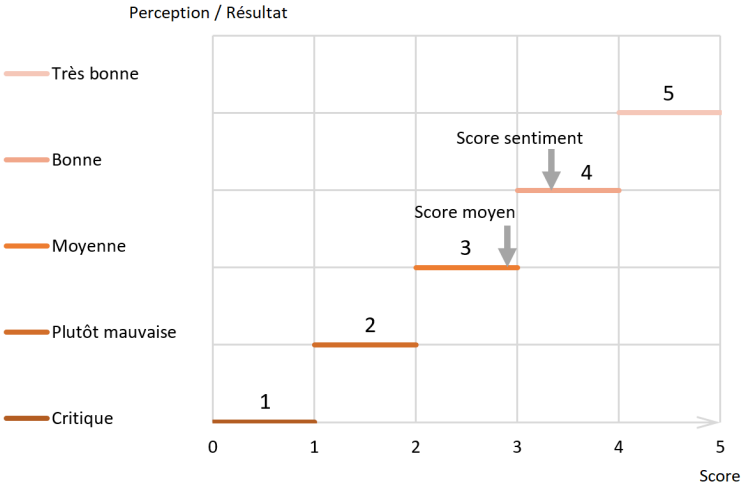


FIGURE 5.3 – Positionnement des résultats de l'indicateur de perception des EWS selon les scores obtenus

Pour les scores dans les intervalles indiqués tableau 5.3 et figure 5.3, les indicateurs correspondent aux situations suivantes :

— $[0;1]$: le niveau 1 est considéré comme critique, un minimum d'efforts de communication et d'éducation sont requis.

— $]1;2]$: le niveau 2 est plutôt mauvais, les décideurs doivent s'interroger sur les raisons de telles perceptions de leurs populations sur le EWS.

— $]2;3]$: niveau 3, les participants ont une perception moyenne du système, ils ne se sentent pas en danger mais ne considèrent pour autant que tout est fait pour leur sécurité.

— $]3;4]$ et $]4;5]$ avec un niveau 4 ou 5, les participants ont une bonne perception du système, il y a une forte probabilité avec un niveau 5 que les participants soient bien informés et se comportent de façon appropriée lors d'une crise réelle ou d'un exercice.

En utilisant la formule moyenne proposée dans ce document, nous obtenons une perception de 3, donc moyenne (cf. figure 5.3), du système de sécurité incendie

de l'université alors qu'avec la formule du sentiment, la perception est considérée comme bonne. Dans ce cas, les valeurs d'interprétation sont différentes pour les deux formules (comme indiqué dans la figure 5.3) ; cela pourrait être différent si nous avions choisi une échelle différente, avec 3 niveaux par exemple. L'échelle d'interprétation est ici subjective, le nombre de niveaux doit dépendre du contexte et être discuté par les décideurs. Dans notre exemple, le score de perception est avec les deux méthodes de calcul toujours égal ou supérieur à 3, mais si le score était inférieur, nous considérerions que les résultats doivent être interprétés et discutés par les experts et les décideurs pour en comprendre les raisons et décider comment réagir. Les raisons de tels scores peuvent être diverses : problèmes de communication, incohérences dans les connaissances sur les risques ou problèmes de diffusion des alertes (par exemple si les expériences passées des populations ont été négatives). Pour interpréter ces chiffres, l'analyse des résultats qualitatifs peut être utile.

5.1.4 Résultats qualitatifs

Nous avons limité l'appel à des expériences personnelles des participants, dans cette étude, mais les réponses à la question ouverte révèlent le poids des interrogations qui n'ont pas encore été levées ou discutées avec les responsables du EWS incendie de l'université. Les participants à l'étude ayant répondu à cette question ont identifié avec leurs propres termes plusieurs limites du système. Ils ont également soumis des propositions d'amélioration et des demandes. Cette question ouverte a donné lieu à 71 réponses (sur 253 participants), toutes spécifiques au contexte de l'étude. Nous avons identifié quatre thèmes récurrents dans ces réponses, thèmes qui semblent importants aux yeux des personnes interrogées. Les réponses ont ainsi été classées dans les quatre catégories suivantes :

— **Demandes d'information et de formation** : Le besoin de développer et d'enrichir les offres de formation et les campagnes de communication a été clairement exprimé, il est présent dans plus de la moitié des réponses. Les participants souhaiteraient obtenir des informations par l'envoi de courriels par exemple, et que leurs soient adressées directement des offres de formation. « Nous devrions avoir un document ou une présentation au début de l'année pour qu'on nous présente les processus à suivre en cas d'incendie. », « Pendant quatre ans à l'université, je n'ai jamais participé à un exercice d'alerte incendie et je n'ai jamais été informé des procédures à suivre. », « Développer la formation et multiplier les exercices d'évacuation. ».

— **Propositions d'améliorations techniques** : Des propositions claires et précises ont été faites par les participants pour améliorer la sécurité incendie ; la plupart concernent la diffusion des alertes et la préparation à l'évacuation : « Plus de mégaphones, et une annonce vocale qui indique la procédure à

suivre. », « Lors des exercices d'évacuation, on constate une certaine pagaille, avec des escaliers interdits sans que l'on comprenne pourquoi, ce qui entraîne des bouchons dans d'autres escaliers ; l'évacuation vers les rues alentours n'est pas plus fluide. ».

— **Fausses alertes** : La perception de fausses alertes est également un sujet important, les participants considèrent que les fausses alertes sont trop nombreuses : « Évitez les alertes incendie trop nombreuses, parce que le jour où le feu sera réel, les gens ne quitteront pas leur bureau ou leur classe. ». Dans le même temps, les participants s'accordent sur le fait qu'il est important de respecter les procédures à suivre lors des exercices et des simulations. Les fausses alertes ne semblent pas avoir dissipé le sentiment pour les personnes interrogées que les consignes doivent être respectées. Ce sujet ne semble concerner qu'un petit nombre de personnes.

— **Problèmes divers** : Enfin, des problèmes relatifs à l'évacuation, aux avertissements et aux capacités matérielles sont mis en évidence par les participants, notamment sur les itinéraires et les issues de sécurité, le niveau sonore des alertes et les portes de sécurité.

Les résultats qualitatifs doivent être considérés et interprétés avec prudence, certaines demandes pouvant être considérées comme contradictoires. Pour citer un exemple, les gens demandent à ce que soient organisés plus d'« exercices » mais souhaitent également moins de « fausses alertes ». En étant attentifs aux détails, on observe que les « fausses alertes » pourraient être mieux acceptées si une information claire était fournie en amont et à la suite des exercices. D'autre part, les expériences personnelles peuvent avoir une forte influence sur les réponses quantitatives et qualitatives. Cela peut être considéré comme un biais dans les réponses, qui peut néanmoins être limité avec une sensibilisation plus importante et une proximité des responsables du EWS avec les populations ciblées. Le contexte pouvant enfin également avoir une influence sur les réponses, le questionnaire doit être adapté aux cas spécifiques.

Les travaux présentés dans cette section ont été publiés durant la thèse [Arru et al., 2016a].

5.2 Réactions des populations à un exercice de sécurité civile

Le cas d'étude présenté dans cette section est principalement une application de la deuxième étape de la démarche.

5.2.1 Présentation de l'exercice PPI (Plan particulier d'intervention) des établissements Inéos du 22 mars 2017

Alors que le cas précédent s'intéressait à l'agrégation d'indicateurs sur un facteur particulier des comportements des populations, ce cas d'étude, effectué à l'occasion de la simulation d'un accident industriel, s'intéresse plus généralement aux facteurs correspondants aux réactions des populations. Il s'applique à l'exercice PPI des établissements Inéos organisé par la préfecture de Verdun (située dans le département de la Meuse), qui a été mené le 22 mars 2017 pour tester les plans d'action en cas de survenue d'un accident chimique au sein de l'entreprise PPI Inéos. Cet exercice répond à une directive européenne qui impose à tous les industriels SEVESO à haut risque d'accident d'organiser tous les trois ans un exercice de sécurité civile. Les industries classées comme sites SEVESO sont des établissements dont la quantité de produits dangereux dépasse les seuils fixés dans la directive européenne SEVESO III (directive 2012/18/UE du 4 juillet 2012). Pour répondre à cette directive, plusieurs dispositifs obligatoires ont été adaptés pour les sites SEVESO :

— le PPI (Plan particulier d'intervention), établi par la préfecture ;
— le POI (Plan d'opération interne), exigé par la préfecture et relevant de l'exploitant du site SEVESO.

Ces dispositifs ont été testés lors de l'exercice PPI Inéos, ainsi que les Plans communaux de sauvegarde (PCS) des 11 municipalités de la communauté d'agglomérations du Grand Verdun concernées par l'exercice (figure 5.4). A l'occasion de l'exercice, et afin d'appliquer les dispositifs, un Poste de commandement opérationnel (PCO) a été ouvert et le Centre opérationnel départemental (COD) a été déclenché, présidé par le préfet.

Bien que ce ne soit pas la règle, les exercices organisés régulièrement par les préfectures pour tester ces différents dispositifs peuvent impliquer la population si les équipes de sécurité civile décident de tester sa participation et ses réactions à l'alerte donnée. Cela a été le cas le 22 mars 2017. En France, depuis quelques années, le nombre d'exercices incluant la participation de la population a considérablement augmenté.

L'exercice PPI Inéos était donc destiné à tester l'efficacité des plans d'actions des différents acteurs, la communication entre ces acteurs, la gestion de l'information au public et le système d'alerte en cas d'accident dans les locaux de l'entreprise Inéos qui conduirait à la libération d'un nuage toxique de chlore. Cet exercice a été préparé en collaboration avec la préfecture et la société Inéos. Les services de l'État et les acteurs qui ont accepté de jouer l'exercice sont les suivants : l'Agence régionale de santé (ARS), le délégué militaire départemental (DMD), la Direction départementale des territoires (DDT), la DREAL, la Direction des services départementaux de l'éducation nationale (DSDEN), les Voies navigables de France (VNF),

FIGURE 5.4 – Les 26 communes de la communauté d'agglomération du Grand Verdun

les services de gendarmerie et de police, les collectivités locales [2], la direction interdépartementale des routes de l'Est, Météo-France, les services de secours (SDIS, SAMU, associations de sécurité civile, Croix Rouge, Association départementale de Protection civile, Fédération Française de Sauvetage Secourisme), Orange, le Réseau de transport d'électricité (RTE), Sanef, Grt Gaz et la société Lactoserum.

Deux types d'alertes ont été déclenchés par les services de l'État : les sirènes de deux des municipalités de la communauté d'agglomération du Grand Verdun et la transmission de messages à travers l'application smartphone SAIP (Système d'alerte et d'information pour la population). Cette application, on le rappelle, envoie des messages d'alerte aux personnes qui ont au préalable dû télécharger et installer l'application sur leur smartphone et qui se situent sur la zone de danger. Elle nécessite une connexion Internet pour que les alertes soient transmises. D'autres moyens d'alerte ont été déployés par les municipalités, notamment au travers de mégaphones et d'appels téléphoniques. Une campagne de sensibilisation avait été lancée plusieurs jours avant l'exercice pour informer les populations de la date de l'exercice et préciser les comportements attendus. Lorsque les alertes ont été déclenchées, les personnes ont dû réagir en fonction de leur situation :

— dehors, ils devaient se déplacer vers le bâtiment le plus proche, la rue étant la zone la plus exposée ;
— en voiture, ils devaient couper la ventilation du véhicule, s'arrêter et se réfugier dans le bâtiment le plus proche. Ils ne devaient pas essayer de s'échapper, l'exercice étant dangereux pour leur propre sécurité et pouvant déranger la circulation des véhicules des services d'urgence ;
— à l'intérieur d'un bâtiment, les personnes devaient rester confinées. Elles ne

2. Conseil Départemental, mairies de Belleray, Belleville-sur-Meuse, Belrupt-en-Verdunois, Dugny-sur-Meuse, Fromeréville-les-Vallons, Haudainville, Landrecourt-Lempire, Nixéville-Blercourt, Sivry-la-Perche, Thierville-sur-Meuse et Verdun

devaient pas se rendre vers le lieu de l'incident ou aller chercher leurs enfants à l'école.

Une fois dans un endroit sûr, les consignes étaient de fermer les portes, calfeutrer les fenêtres, stopper l'air conditionné et réduire le chauffage. Les personnes devaient respirer à travers un tissu humide, écouter les informations diffusées sur les médias locaux et rester calme en attendant le signal de fin d'alerte ou un ordre d'évacuation.

Le système d'alerte testé lors de l'exercice PPI Inéos peut, dans une certaine mesure, être considéré comme un système d'alerte précoce. Le risque industriel de libération d'un nuage toxique de chlore n'est pas prévisible, mais la crise qui en découle peut, elle, être préparée et anticipée.

5.2.2 Recueil des données relatives aux réactions des populations

Des données sur 18 des 24 facteurs identifiés section 4.3.1 ont été collectées à partir d'un questionnaire proposé à la population sur la zone de l'exercice PPI Inéos. L'objectif de cette étude était d'obtenir des informations sur les réactions des personnes aux signaux d'alerte déclenchés en cas de crise. Les questions de cette enquête ont été volontairement très ouvertes pour laisser les personnes s'exprimer librement, leur permettre de réfléchir à leurs réactions et aux enjeux de l'exercice. L'objectif était enfin également de nous donner des clés pour produire un formulaire à questions fermées dont les données peuvent être plus facilement analysées.

L'étude a été menée à partir d'entretiens en face-à-face le 22 mars 2017, jour de l'exercice, et à partir d'une enquête anonyme mise en ligne à partir du 23 mars 2017 et restée ouverte durant 7 jours. Celle-ci a été créée à l'aide lu logiciel de création de formulaires en ligne Open Source Limesurvey [3]. Nous avons recueilli des informations sur l'âge, le sexe, la profession et le lieu de résidence des participants, qui ont ensuite répondu à quatre ensembles de questions.

Le premier ensemble de questions met l'accent sur la connaissance de l'exercice : connaissance de la date et de la portée de l'exercice, informations reçues sur les risques et les comportements attendus, capacité à reconnaître les alertes, actions de sensibilisation ou de formation suivies et perception des risques lorsqu'une alerte est déclenchée. Dans cet ensemble de questions il est également demandé aux personnes quelles étaient les actions qu'elles étaient en train de réaliser au moment où les alertes ont été déclenchées.

Le deuxième ensemble de questions porte sur la perception des alertes au moment de l'exercice et sur leur interprétation. Il avait notamment pour objectif de

3. https ://www.limesurvey.org

recueillir les commentaires des personnes sur leur perception des sirènes qui ont été déclenchées et le message envoyé par l'application SAIP pour smartphone.

Ensuite, un troisième ensemble de questions adressées uniquement aux personnes ayant reçu l'alerte, directement ou non, est lié aux ressentis et aux actions de ces personnes durant l'exercice. Nous posons des questions sur leurs émotions, leur niveau de stress, le temps écoulé entre la perception de l'alerte et les actions réalisées pour y répondre, les communications qu'elles ont engagées ou reçues pendant l'exercice et leurs réflexions sur la possibilité de réagir différemment. D'autres questions portent sur les réactions de l'entourage des personnes, sur leur jugement par rapport à ces réactions et enfin sur les phénomènes de leadership observés.

Enfin, le quatrième ensemble est lié aux expériences que les personnes ont pu avoir d'une situation de crise similaire à celle qui a été jouée dans l'exercice, à leurs réflexions sur les réactions possibles qu'elles peuvent ou doivent avoir dans ces situations (en dehors de tout exercice). Cet ensemble comprend également une question visant à recueillir des informations sur la personnalité des participants.

Le questionnaire est consultable en Annexe A.1.

5.2.3 Analyse croisée sur différents indicateurs

Dans le cadre de l'enquête, 134 personnes ont été interrogées. Dix-neuf d'entre elles ont répondu à l'enquête sous forme de questionnaire papier (en entretien). Les entretiens ont été menés au sein du lycée Sainte Anne qui se situe à Verdun et dans la rue Mautroté qui longe le lycée (à environ 6 km des locaux de l'entreprise Inéos). Un total de 115 personnes ont répondu à l'enquête en ligne dans les jours qui ont suivi l'exercice. Sur ces 115 réponses, 38 proviennent d'une version en ligne du questionnaire que les mairies ont accepté d'envoyer à leurs résidents, et 77 réponses proviennent d'une version en ligne du questionnaire, adaptée pour les étudiants, leurs parents et les enseignants du lycée Sainte Anne.

5.2.3.1 A propos des participants

Environ 43 % des participants à l'étude sont âgés de 16 à 25 ans, ce qui s'explique par le lieu dans lequel se sont déroulés les entretiens et le nombre important d'étudiants qui ont répondu à la version adaptée du questionnaire envoyée aux étudiants, leurs parents et les enseignants du lycée Sainte Anne. Cette répartition est représentée figure 5.5.

Parmi les 44 personnes, hors étudiants, qui ont accepté de donner des informations sur leur catégorie socio-professionnelle, il apparaît sur la figure 5.6 que de nombreuses personnes en activité (employés ou fonctionnaires) ont répondu à

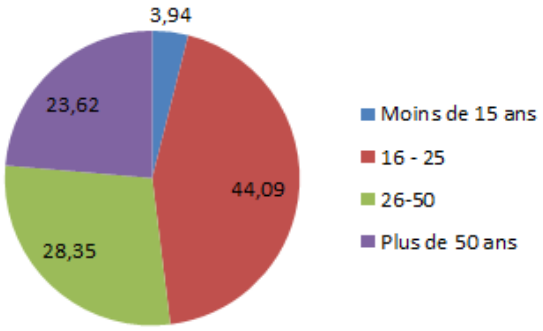


FIGURE 5.5 – Âge des participants (en %)

l'enquête, plusieurs catégories socio-professionnelles se sont senties concernées.

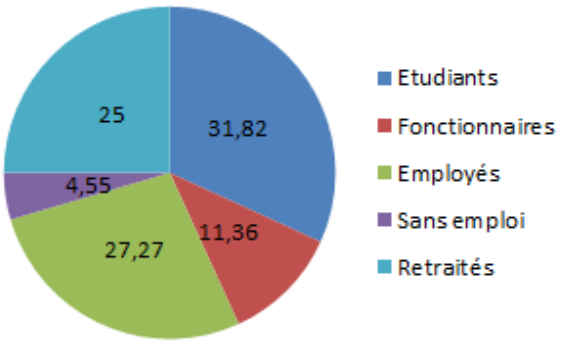


FIGURE 5.6 – Catégorie socio-professionnelles des participants (en %)

Comme le montre la figure 5.7, parmi les 46 personnes qui ont accepté d'indiquer leur lieu de résidence, on peut observer qu'environ 37 % des personnes interrogées vivent à Verdun ou dans sa banlieue proche et 39 % à moins de 5 km autour de Verdun. Seuls les personnes habitant dans la zone de l'exercice ont répondu à l'enquête.

Enfin, la figure 5.8 permet d'observer que les trois principaux traits de personnalité des participants à l'étude sont le calme (environ 52 %), le caractère rationnel (environ 35 %) et la générosité (environ 27 %).

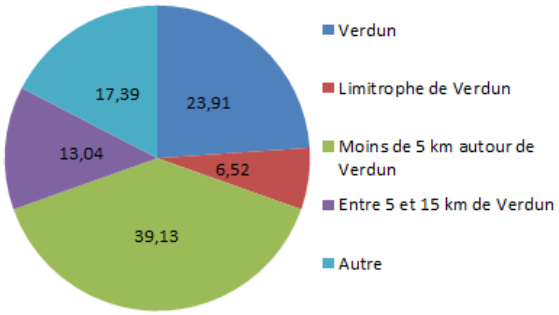


FIGURE 5.7 – Lieu de résidence des participants (en %)

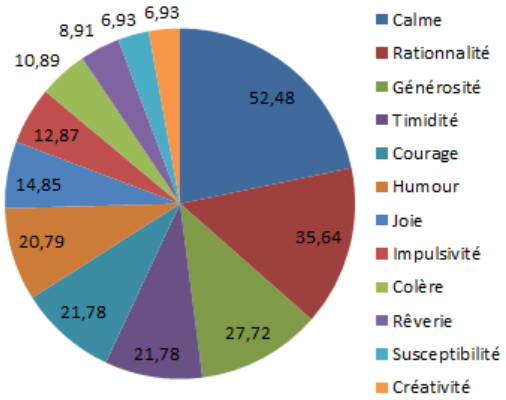


FIGURE 5.8 – Traits de personnalité représentatifs des participants (> 5 % des réponses)

5.2.3.2 Sensibilisation et préparation

Il apparait dans les réponses que la majorité des personnes ayant répondu à l'étude étaient informées de la date de l'exercice et connaissaient le comportement à adopter en réaction à l'alerte grâce principalement à la campagne d'affichage et par la pratique d'exercices passés. Bien que les efforts pour la sensibilisation au risques menés par des maires aient été soulignés dans les commentaires, certains participants ont formulé des critiques sur ces actions. Ils ont évoqué notamment la nécessité de faire des exercices plus fréquemment, de renforcer la campagne d'affichage, de mieux informer la population en lui indiquant comment interpréter les différents signaux d'alerte (surtout dans les cas des sirènes qui ne permettent pas d'accompagner l'alerte par des messages d'information). Des critiques ont également été émises sur le niveau sonore trop faible de la sirène qui n'a pas été entendu dans les communes situées à plus de 5 km de la sirène, ni même par plusieurs personnes qui se tenaient à proximité de la sirène lorsque l'alerte a été donnée.

On peut noter dans les réponses que les participants sont relativement peu conscients du niveau du risque lorsque l'alerte est déclenchée en cas de crise réelle. Comme le montre la figure 5.9, près de 10 % des personnes interrogées considèrent que le risque est nul ou faible, et seulement 50 % considèrent que ce risque est fort ou très fort.

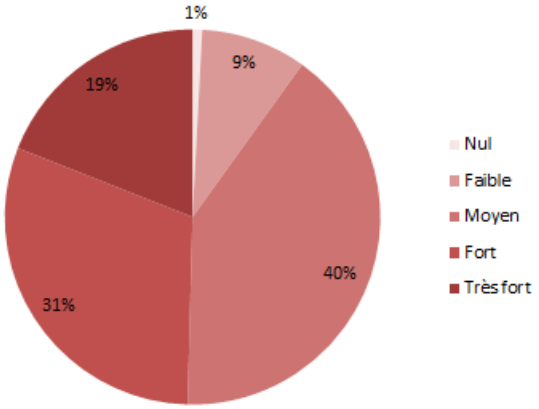


FIGURE 5.9 – Niveau de risque estimé par les participants lorsque l'alerte est déclenchée en dehors d'un exercice (en %)

Cette perception du risque peut être corrélée avec l'âge des personnes interrogées. Comme l'indique la figure 5.10, seule une fraction des plus de 15 ans considère que le risque lors d'une alerte est potentiellement très fort, et c'est cette même population qui considère à presque 20 % que ce risque est faible. A l'inverse, les plus de 50 ans estiment que le risque est très fort lorsqu'ils entendent les alertes, en dehors d'un exercice. Conformément à des études menées sur les composantes de la perception du risque d'accident nucléaire ou d'inondation [Katsuya, 2001, Siegrist and Gutscher, 2006], nous pensons pouvoir déduire que l'expérience des personnes ayant répondu au questionnaire a une influence dans la perception que celles-ci ont du risque et de l'alerte. Bien que cette corrélation n'ait précisément été évaluée à travers cette étude, nous émettons l'hypothèse que l'expérience représente un facteur clé dans les réactions des personnes à l'alerte.

5.2.3.3 Au moment de l'alerte

L'une des deux sirènes de Verdun qui ont été activées à l'occasion de l'exercice est située à quelques dizaines de mètres du lycée Sainte Anne, rue Mautroté. Cette distance très courte entre le lieu où l'alerte a été déclenchée et l'emplacement des participants peut expliquer que plus des trois-quart (77 %) des personnes interrogées ont entendu la sirène. Cependant, de nombreuses personnes ont indiqué ne pas

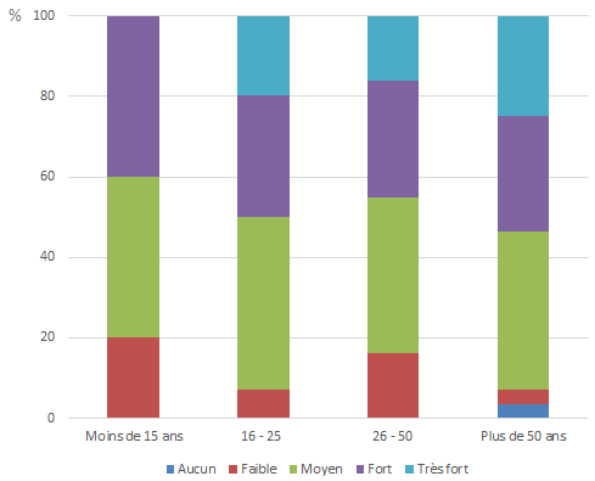


FIGURE 5.10 – Niveau de risque estimé par les participants lorsque l'alerte est déclenchée en dehors d'un exercice en fonction de l'âge des participants (en %)

avoir prêté attention aux signaux et environ 18 % n'ont pas compris qu'il s'agissait d'une alerte. Concernant l'alerte véhiculée par l'application SAIP, plus de 90 % des personnes interrogées n'ont pas reçu le message sur leur smartphone.

Comme le montre la figure 5.11, les participants étaient principalement au travail ou à l'école. Bien que ce chiffre soit biaisé par le profil des participants et parce que les entretiens ont été menés à l'intérieur et à proximité d'une école, la sensibilisation sur le lieu de travail et à l'école semble essentielle.

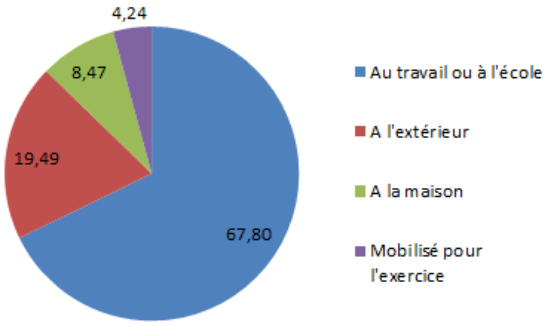


FIGURE 5.11 – Activités lors du déclenchement de l'alerte (en %)

La culture du risque est particulièrement forte au lycée Sainte Anne de Verdun. Chaque année, l'école organise des exercices de sécurité incendie et des simulations d'attaques terroristes. Au moment de l'exercice PPI Inéos, le dernier exercice de simulation d'une attaque terroriste ne datait que d'un mois. Les enseignants étaient donc particulièrement préparés à faire face à une crise et vigilants aux alertes.

Pour chaque exercice se déroulant dans cette école, les enseignants reçoivent des informations et des instructions à travers une application pour smartphone créée spécifiquement par l'école pour les orienter lors de la réponse à une crise. Cette application est très appréciée par les enseignants et ses instructions, selon ses utilisateurs, sont suivies. L'application nationale SAIP a été beaucoup moins efficace lors de l'exercice, pour la principale raison que l'existence de cette application était inconnue de la majorité des participants. D'autre part, les alertes envoyées par ce moyen de diffusion n'ont pas toujours été reçues, et lorsqu'elles l'ont été les sirènes avaient déjà été activées depuis 30 minutes.

Les réactions aux alertes sont contrastées. La plupart des personnes qui ont répondu au sondage se sont confinées, comme cela était attendu, mais beaucoup ont répondu qu'ils n'avaient pas agi. Les raisons de cette inaction sont diverses : pour certains l'alerte n'a pas été reçue (le niveau sonore de la sirène étant trop faible), d'autres ont affirmé qu'ils n'ont pas agi car ils savaient que « c'était une fausse alerte » ou car ils ne voyaient personne autour d'eux réagir. Certains encore n'ont pas su comment réagir et beaucoup sont restés dans l'indécision car ils ne savaient pas si la sirène correspondait à une alerte ou à un test du fonctionnement de l'équipement.

Le fait de se sentir responsable d'autres personnes semble avoir eu un impact sur les actions menées. Comme le montre la figure 5.12, bien qu'une majorité des participants avaient conscience de participer à un exercice, les personnes qui ont déclaré se sentir responsables d'autres personnes ont pour la plupart agi pour les aider.

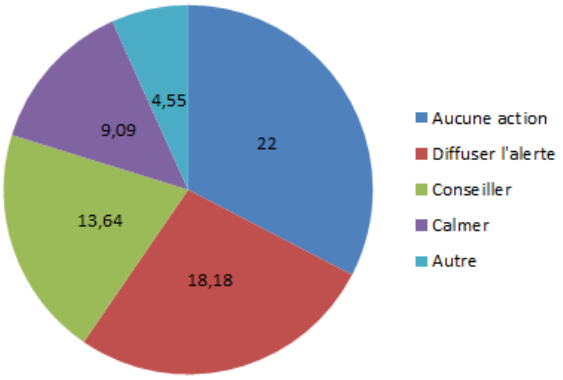


FIGURE 5.12 – Actions menées par des participants qui se sont sentis responsables de personnes proches ou inconnues (en %)

En ne s'intéressant qu'aux personnes qui se sont senties responsables, pendant l'exercice, de personnes proches ou inconnues et qui ont agi pour protéger ces personnes, on observe comme le montre la figure 5.13, que ces personnes se définissent

solidaires, attentives et responsables. Ces personnes, solidaires, attentives et responsables, ont agi dans des proportions très proches pour calmer, guider et diffuser l'alerte. On retrouve également dans les personnes en situation de responsabilité au moment de l'alerte, qui ont guidé et diffusé l'alerte, des personnalités organisées, volontaires et expérimentées.

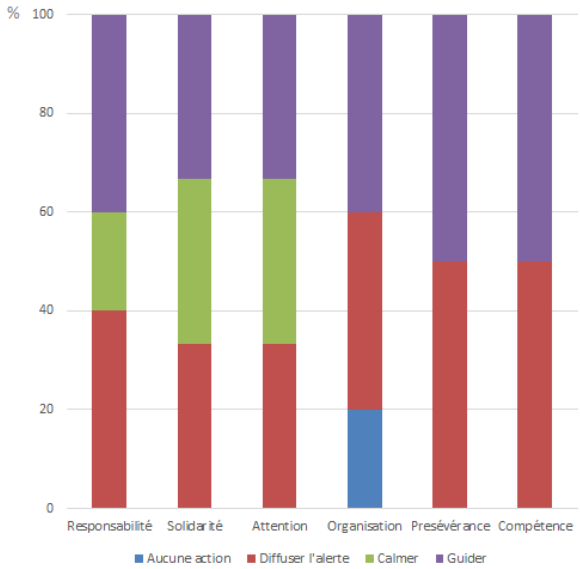


FIGURE 5.13 – Actions menées par des participants qui se sont sentis responsables de personnes proches ou inconnues selon leur personnalité (en %)

On peut observer figure 5.14, que plus de 70 % des personnes interrogées qui ont déclaré avoir entendu le signal d'alerte n'ont ressenti aucune émotion. Seulement 11 % des personnes ont déclaré s'être senties stressées et 9 % avoir été stupéfaites. Bien entendu ces résultats doivent être mis en perspective, la plupart des participants à l'étude ayant conscience qu'ils se trouvaient en situation d'exercice. Ces chiffres semblent alors relativement importants compte tenu de la situation.

Plus de 85 % des personnes interrogées qui ont entendu l'alerte ont réagi, mais pas toujours de manière immédiate. 63 % des personnes ont réagi dans l'instant comme le montre la figure 5.15, et 22 % ont eu un temps de réaction de plus de 30 minutes. Dans une situation réelle correspondant à celle qui a été jouée dans l'exercice, cette intervalle de temps ne leur aurait pas permis de se mettre en sécurité.

On peut noter que seul un petit nombre de personnes ont eu un temps de réaction supérieur à 30 minutes. Comme l'indique la figure 5.16, ce sont uniquement des personnes de plus de 50 ans qui ont mis autant de temps à réagir. Au contraire, les catégories les plus jeunes, qui bien qu'on l'ait vu précédemment considèrent le risque moins important que leurs ainés lorsqu'une alerte est déclenchée, ont eu un

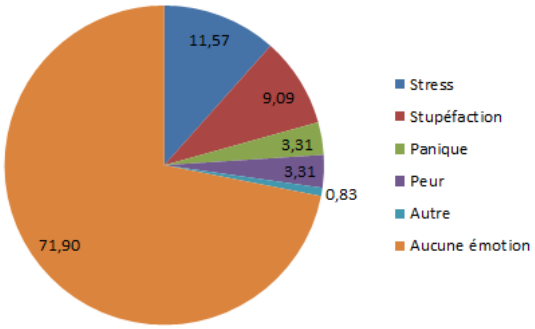


FIGURE 5.14 – Émotions ressenties lors de la réception de l'alerte (en %)

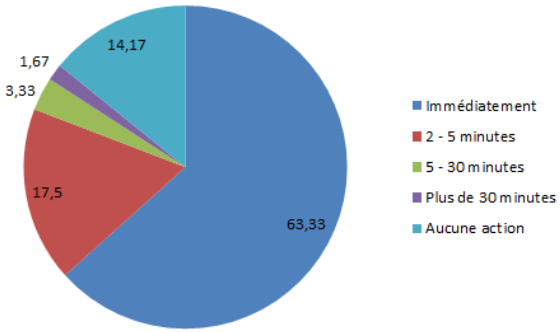


FIGURE 5.15 – Temps écoulé entre le déclenchement de l'alerte et les actions des participants (en %)

temps de réaction beaucoup plus faible. Enfin on observe sur cette même figure que la population qui a le moins réagi à l'alerte correspond aux personnes entre 26 et 50 ans. On retrouve dans ce groupe les personnes qui exercent une activité professionnelle, ce qui laisse supposer une relation entre l'activité des personnes et leur temps de réaction.

5.2.3.4 Retour d'expérience des participants

Peu de personnes interrogées ont livré leurs réflexions sur leurs propres comportements ou sur les actions qu'elles auraient pu ou dû réaliser, mais une réelle critique a été émise sur les actions menées par leur entourage. En effet plus de 57 % des personnes interrogées ont estimé que leur entourage n'a pas réagi de manière appropriée, par manque d'actions pour se protéger. Ce chiffre semble encourageant et pourrait laisser supposer une évolution des comportements lors de futurs exercices.

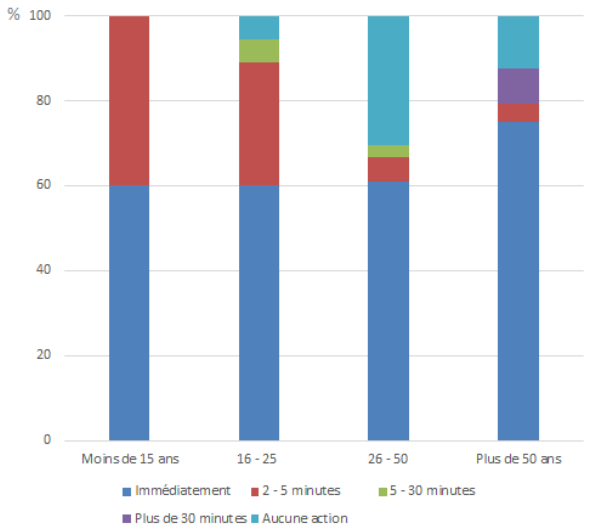


FIGURE 5.16 – Temps écoulé entre le déclenchement de l'alerte et les actions des participants en fonction de leur âge (en %)

En effet, pour beaucoup de participants à l'étude, il s'agissait pour eux d'une première expérience de l'alerte. Seuls 15 % des personnes qui ont répondu au questionnaire ont connu une situation similaire par le biais d'exercices, et seulement 2,5 % des personnes ont vécu une situation réelle proche de celle qui a été jouée pendant l'exercice.

Enfin, plus de 62 % des personnes interrogées qui connaissaient la date de l'exercice pensent qu'elles auraient réagi différemment si elles n'en avaient pas été informées.

5.2.4 Interprétation des résultats

Il est évident que l'exercice PPI Inéos n'a pas été considéré par les personnes ayant participé à l'étude comme une véritable crise, leurs réactions ont en conséquence été biaisées par rapport à celles qu'ils auraient adoptées dans une situation de crise réelle. Néanmoins, à partir des entretiens réalisés en face-à-face, nous avons constaté que les personnes interrogées ont souvent une opinion construite et critique sur les réactions qu'elles ont observé au cours de l'exercice et sont capables de se projeter dans l'hypothèse d'une crise réelle.

Notre analyse implique également d'autres biais. Comme cela a déjà été souligné, 71 % des personnes interrogées se trouvaient dans les locaux du lycée Sainte Anne de Verdun ou dans sa proximité immédiate. La population des étudiants, souvent âgés de 15 à 18 ans, et des enseignants est en conséquence sur-représentée.

En outre, les conditions de la réponse au questionnaire n'ont pas été complètement homogènes. Nous avons utilisé des formulaires sous format papier pour les entretiens en face-à-face et les personnes qui y ont répondu ont été accompagnées et ont pu demander des précisions sur les questions proposées. D'autre part, l'enquête en ligne envoyée aux étudiants et leurs parents ainsi qu'aux professeurs par la direction du lycée Sainte Anne ont été légèrement adaptées aux profils des destinataires.

Les résultats de cette étude sont bien entendu spécifiques à l'environnement où l'exercice a été effectué. Nous observons qu'ils donnent déjà de premiers éléments pour aider les décideurs à déterminer les indicateurs pertinents à recueillir en vue de l'amélioration de leur système d'alerte.

Les résultats de cette étude ont été publiés durant la thèse [Arru et al., 2018d].

5.3 Génération d'un modèle de décision à partir de cas d'accidents technologiques

Dans ce dernier cas présenté, nous avons appliqué la démarche à des crises réelles qui se sont déroulées en France entre 1981 et 2013. Le choix a été fait de travailler sur des accidents technologiques pour une raison très pratique d'accès aux données. En effet, il existe sur internet une base de données, présentée ci-après, ouverte à tous et qui permet d'avoir un descriptif factuel relativement homogène des principaux accidents technologiques qui sont survenus en France et dans le monde depuis 1794. Ce cas d'application permet d'appliquer, en partie, les quatre étapes de la démarche.

5.3.1 Recueil des données de contexte (étape 2)

Les cas d'étude analysés dans cette section ont été sélectionnés à partir des accidents répertoriés dans la base de données ARIA (Analyse, recherche et information sur les accidents) qui recense plus de 46000 accidents survenus majoritairement en France mais également à l'étranger. Les accidents concernés résultent de dérives par rapport au fonctionnement normal d'activités industrielles, du transport de matières dangereuses, de la distribution et de l'utilisation de gaz, des équipements sous pression, des mines et stockages souterrains ou des digues et barrages. Cette base de données est alimentée et mise à disposition par le Ministère de la Transition écologique et solidaire. Elle est consultable librement sur le site internet www.aria.developpement-durable.gouv.fr.

Nous avons sélectionné dans cette base de données ARIA neuf cas d'accidents technologiques pour lesquels les données étaient suffisamment précises. Il s'agit

d'accidents technologiques qui se sont déroulés en France entre les années 1981 et 2013 et qui ont eu des conséquences humaines et sociales de 5 ou 6 sur l'échelle européenne des accidents [4] (échelle allant de 0 à 6). Les accidents retenus sont les suivants :

— incendie et explosion dans une droguerie industrielle de déchets ultimes à Villeurbanne (Seine-Maritime) en 1981 ;

— déraillement et incendie de wagons de produits chimiques à Saint-Galmier (Loire) en 2000 ;

— décomposition d'engrais NPK dans les cales d'un cargo à Montoir-de-Bretagne (Loire-Atlantique) en 2002 ;

— émission toxique dans un entrepôt de produits surgelés à Nemours (Seine-et-Marne) en 2005 ;

— incendie dans une usine chimique avec dégagement de chlore à Saint-Just-Saint-Rambert (Loire) en 2005 ;

— incendie dans un dépôt de pesticides à Béziers (Hérault) en 2005 ;

— incendie et explosions de camions citernes à Dagneux (Ain) en 2007 ;

— fuite, puis explosion de gaz sur la voie publique, puis incendie à Lyon (Rhône) en 2008 ;

— rejet prolongé de mercaptans dans une usine chimique à Rouen (Seine-Maritime) en 2013.

Tous ces accidents présentent la caractéristique d'avoir touché les populations de manière indirecte. Ce sont les conséquences des accidents (incendies, rejet de produits chimiques, etc) qui ont impacté la population.

Nous avons ensuite collecté une partie des données correspondant à nos indicateurs dans la base ARIA. Le reste des données a été obtenu à partir de recherches sur internet sur des bases de données ouvertes, sur des sites institutionnels, et à partir d'archives de journaux. Les sites sur lesquels les informations ont été collectées sont les suivants :

— carto.observatoire-des-territoires.gouv.fr pour les données démographiques

— www.insee.fr pour les données relatives à la nationalité

— www.meteofrance.com pour les données météorologiques

— www.georisques.gouv.fr pour l'existence de plans de prévention des risques (PPR)

4. Cette échelle a été créée en 1994 pour l'application de la directive SEVESO. Elle repose sur 18 paramètres techniques destinés à caractériser les effets ou les conséquences des accidents, chacun de ces paramètres comprenant 6 niveaux de gravité. L'échelle est représentée par 4 indices dont celui des conséquences humaines et sociales qui prend en compte, entre autres paramètres, le nombre total de morts, de blessés avec hospitalisation de durée supérieure à 24h, de riverains évacués ou confinés chez eux, privés d'eau potable, etc.

— journaux locaux et nationaux : www.nouvelobs.com, www.ladepeche.fr, www.lemonde.fr...

Quatorze indicateurs, dont les données sont accessibles librement dans les bases de données et sites internet précités, ont été retenus pour cette étude. Ils sont présentés dans le tableau 5.4.

5.3.2 Choix des algorithmes utilisés (étape 3)

Nous proposons dans ce cas d'étude d'utiliser une approche basée sur les arbres de décision. En effet, comme indiqué dans la section 3.1.3.1, un arbre de décision a l'avantage d'être facile à lire et à exécuter rapidement.

Nous avons retenu les deux algorithmes les plus utilisés pour générer des arbres de décision, C4.5 [Quinlan, 1993] et RandomTree [Kalmegh, 2015]. Ces algorithmes sont implémentés dans le logiciel d'analyse de données Weka [5] (C4.5 étant implémenté dans Weka sous le nom J48). La variable exogène que cherche à prédire l'algorithme correspond à l'indicateur « comportement » dont les valeurs possibles correspondent aux réactions suivantes : (i) phénomènes de panique, (ii) phénomènes de rumeurs, (iii) phénomènes conjoints de panique et de rumeurs, (iv) absence de réaction de panique ou de rumeur.

L'ensemble des règles qui émergent de la construction des arbres de décision à partir des deux algorithmes choisis présentent l'avantage d'être facilement interprétables par les décideurs.

5.3.3 Génération des modèles de décision (étape 3)

Les figures 5.17 et 5.18 présentent les modèles de décision obtenus par l'application des algorithmes aux neuf instances caractérisées par les 14 attributs présentés précédemment. Les résultats sont représentés dans le tableau 5.5.

5. https ://www.cs.waikato.ac.nz/ml

Indicateurs	Indice	Valeurs
Ville		{'Lyon','Rouen','Nemours','Villeurbanne','Beziers','Dagneux','Saint-Galmier','Saint-Just-Saint-Rambert','Montoir-de-Bretagne'}
Région	E2a	{'Auvergne-Rhône-Alpes','Bourgogne-Franche-Comté','Bretagne','Centre-Val de Loire','Corse','Grand Est','Hauts-de-France','Île-de-France','Normandie','Nouvelle-Aquitaine','Occitanie','Pays de la Loire','Provence-Alpes-Côte d'Azur'}
Année	E3c	Entier
Signaux visuels	E9a	{'nuls','faibles','moyens','forts','très forts'}
Signaux sonores	E9b	{'nuls','faibles','moyens','forts','très forts'}
Signaux olfactifs	E9c	{'nuls','faibles','moyens','forts','très forts'}
Densité de la population	E1a	Entier
Type d'urbanisme	E1c	{'zones denses avec sur-représentation des emplois de cadres','zones peu spécialisées à orientation tertiaire','zones à orientation tertiaire public','zones à spécialisation public','zones à spécialisation industrielle','zones peu denses à orientation agricole'}
Moment du jour	E3a	{'7h-12h','12h-14h','14h-18h','18h-21h','21h-7h'}
Nombre d'étrangers	E1g	Réel
Part des moins de 15 ans	E1d	Réel
Part des 75 ans et plus	E1e	Réel
Météo	E3b	{'pas d'intempéries','intempéries'}
Ratio homme / femme	E1f	Réel
Nombre d'accidents technologiques dans la commune	E8b	Entier
Commune dans le périmètre d'un PPRT (Plans de Prévention des Risques Technologiques)	E8c	Booléen
Comportements		{'panique','rumeurs','panique et rumeurs','néant'}

Tableau 5.4 – Indicateurs recueillis sur les neuf accidents technologiques constituant le jeu de données et valeurs associées

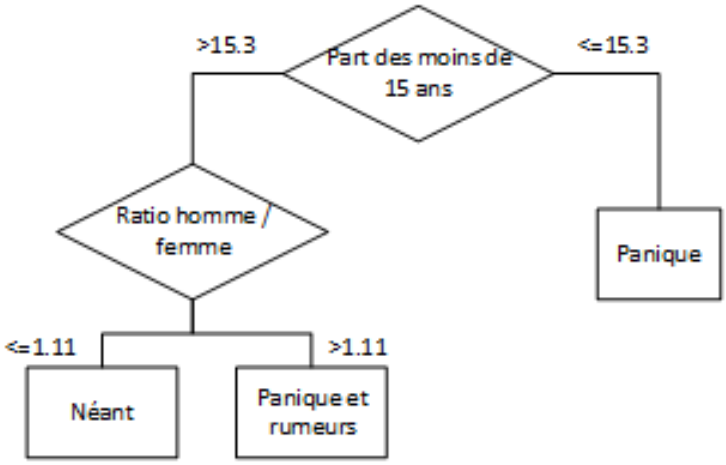


FIGURE 5.17 – Arbre de décision obtenu à partir de l'algorithme J48-C4.5

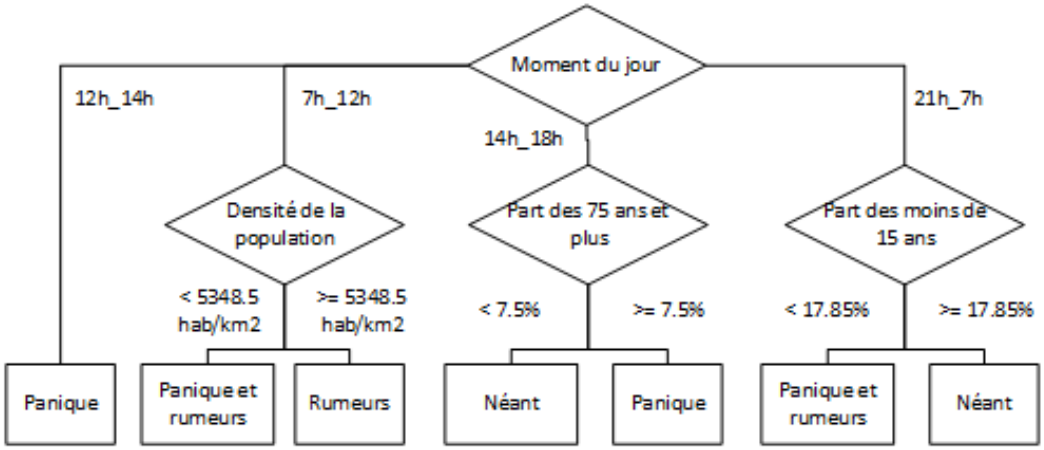


FIGURE 5.18 – Arbre de décision obtenu à partir de l'algorithme RandomTree

Certaines mesures sont précisées ci-après :

— Coefficient Kappa : indice statistique dont la valeur est comprise entre 0 et 1. Il mesure la différence relative entre la proportion d'accord des classes fournies par l'algorithme, et la proportion d'accord aléatoire (si les instances étaient classifiées au hasard).

— Erreur absolue moyenne (MAE) : moyenne de la différence entre la probabilité pour une instance d'appartenir à sa véritable classe, et sa probabilité initiale d'appartenir à la classe qui lui a été fixée dans l'ensemble d'instances.

— Racine carré de l'erreur quadratique moyenne (RMSE) : l'erreur quadratique avantage les solutions où il y a beaucoup de petits écarts, par rapport à celles qui sont exactes presque partout, mais qui font de grosses erreurs en un petit

	J48 – C4.5	RandomTree
Instances (ou cas)	9	9
Attributs (ou indicateurs)	14	14
Instances correctement classifiées	8 (88.89 %)	9 (100 %)
Taille de l'arbre	5	12
Coefficient Kappa	0.83	1
Erreur absolue moyenne (MAE)	0.08	0.03
Racine carré de l'erreur quadratique moyenne (RMSE)	0.21	0.08
Erreur absolue relative (RAE)	25.06 %	9.74 %
Erreur quadratique relative (RRSE)	50.51 %	20.12 %

Tableau 5.5 – Tableau de comparaison des résultats de la classification par les algorithmes J48 – C4.5 et RandomTree

nombre de points.

— Erreur absolue relative (RAE) : correspond à l'erreur absolue moyenne divisée par l'erreur d'un classifieur simple qui prédit les classes selon leurs probabilités a priori.

— Erreur quadratique relative (RRSE) : rapport entre l'erreur quadratique du classifieur et l'erreur quadratique d'un classifieur simple qui prédit les classes selon leurs probabilités apriori.

5.3.4 Interprétation des résultats (étape 4)

Les résultats, présentés sous forme d'arbres de décision, ont pour objectif d'aider les décideurs à évaluer la pertinence d'alerter ou non les populations en identifiant les risques de rumeurs et de panique. Une sélection est faite sur les indicateurs qui permet de cibler les populations grâce à l'identification des catégories les plus sensibles aux rumeurs et aux comportements de panique.

Sur l'arbre de décision présenté figure 5.17 (J48-C4.5), on peut établir le modèle de décision basé sur les règles suivantes :

— Si « Part des moins de 15 ans $>$ 15,3 » et « Ratio homme / femme $\leqslant$ 1,11 » alors Comportement = Néant.

— Si « Part des moins de 15 ans $>$ 15,3 » et « Ratio homme / femme $>$ 1,11 » alors Comportement = Panique et rumeurs.

— Si « Part des moins de 15 ans $\leqslant$ 15,3 » alors Comportement = Panique.

Les indicateurs « Part des moins de 15 ans » et « Ratio homme / femme » permettent à eux seuls de classifier les instances.

La figure 5.18 (RandomTree) correspond au modèle de décision basé sur les règles suivantes :

— Si « Moment du jour = 12h_14h » alors Comportement = Panique.

— Si « Moment du jour = 7h_12h » et « Densité de la population $< 534,5 hab/km^2$ » alors Comportement = Panique et rumeurs.

— Si « Moment du jour = 7h_12h » et « Densité de la population $\geqslant 534,5 hab/km^2$ » alors Comportement = Rumeurs.

— Si « Moment du jour = 14h_18h » et « Part des 75 ans et plus $< 7,5$ % » alors Comportement = Néant.

— Si « Moment du jour = 14h_18h » et « Part des 75 ans et plus $\geqslant 7,5$ % » alors Comportement = Panique.

— Si « Moment du jour = 21h_7h » et « Part des moins de 15 ans $< 17,85$ % » alors Comportement = Panique et rumeurs.

— Si « Moment du jour = 21h_7h » et « Part des moins de 15 ans $\geqslant 17,85$ % » alors Comportement = Néant.

Nous observons que les nœuds intermédiaires ne correspondent pas aux mêmes indicateurs. Ainsi deux algorithmes d'une même approche peuvent apporter une information différente aux décideurs. Selon les mesures de qualité (tableau 5.5), ce sont toutefois les informations du modèle généré par l'algorithme RandomTree qui sont les plus pertinentes.

Dans la figure 5.18 (algorithme RandomTree), plus de nœuds de décision intermédiaires existent. Ainsi, la population peut être ciblée en des catégories plus fines. Il convient de noter que certaines catégories sont proches dans les deux arbres. Par exemple, lorsque la part des moins de 15 ans est supérieure à un certain seuil, alors le risque d'une absence de panique ou de rumeurs est plus probable.

Le tableau 5.5 permet d'observer que l'algorithme RandomTree, basé sur plusieurs simulations d'ensembles d'indicateurs générés aléatoirement pour représenter les nœuds de décision, offre de meilleures performances que l'algorithme C4.5, qui utilise une fonction entropique pour sélectionner les nœuds de décision. En effet, avec l'algorithme RandomTree, les instances sont mieux classées (100 % contre 88,89 % pour l'algorithme C4.5). Le coefficient Kappa a une valeur de 1 (valeur optimale), les erreurs absolue et quadratique moyennes sont plus faibles ($>$ 0,08) et les erreurs absolue et quadratique relatives sont significativement meilleures que pour l'algorithme C4.5.

Bien entendu, ces résultats préliminaires ne doivent être pris qu'à titre d'illustration. Les données utilisées ne sont pas suffisantes pour que les algorithmes puissent

fournir des arbres de décision réalistes. Le but de cette étude sur différents accidents technologiques est d'éclairer sur le fonctionnement de notre approche. Il faudrait des centaines de cas et un nombre plus important d'indicateurs pour que les résultats puissent devenir cohérents et réalistes.

Le contenu de cette expérimentation a été publié durant la thèse [Arru et al., 2019b, Arru et al., 2019a]. De premiers travaux sur l'utilisation de modèles de décision pour analyser les comportements des populations ont également fait l'objet d'une publication [Arru and Negre, 2017].

5.4 Synthèse

Dans ce chapitre, nous avons appliqué les étapes de notre démarche à des cas d'étude de plus ou moins grande ampleur.

Nous constatons, dans les trois cas d'étude, que la première étape d'identification des données constitue un socle pour la mise en place de la démarche. Tous les indicateurs n'ont pas pu être repris dans les cas d'application mais nous avons dans tous les cas tenté d'en utiliser autant que possible. Cette étape pose des questions de pertinence sur le choix des données à agréger et sur la manière de réaliser ces agrégations. Ces agrégations peuvent se faire en appliquant des formules comme nous l'avons proposé dans l'étude sur la perception du EWS pour la sécurité incendie à l'Université Paris-Dauphine, mais elle pourrait également être réalisée d'autres manières, en utilisant par exemple des matrices de décision.

La seconde étape de structuration et de recueil des données est également essentielle dans la mise en œuvre de la démarche. Nous avons utilisé dans les deux premiers cas présentés des questionnaires individuels, portant sur le EWS pour la sécurité incendie à l'Université Paris-Dauphine et sur les réactions des populations à l'alerte lors de l'exercice de sécurité civile mené le 22 mars 2017 à Verdun. Les données relatives à des crises sont *a posteriori* difficiles à obtenir. Pour le troisième cas d'application que nous avons présenté, nous avons effectué un certain nombre de recherches sur internet, sur des bases de données ouvertes, des sites institutionnels et à partir d'archives de journaux pour constituer un ensemble de données réelles.

Enfin, les enjeux des deux dernières étapes : « génération d'un modèle de décision » et « utilisation et mise à jour du modèle », sont plus techniques. Ces étapes doivent permettre de générer un modèle fiable et qui propose des informations utiles aux décideurs. Dans le dernier cas d'application présenté, sur des accidents technologiques importants survenus en France, nous avons proposé deux premiers modèles qui permettent de prédire l'émergence de comportements de panique ou de phénomènes de rumeurs, à partir d'un certain nombre d'indicateurs. Ce cas d'application n'est qu'un aperçu des résultats attendus de la démarche.

CHAPITRE 6

CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Sommaire

5.1 Perception du système d'alerte incendie de l'Université Paris-Dauphine 116

5.1.1 Présentation du système d'alerte incendie de l'Université Paris-Dauphine 116

5.1.2 Recueil des données relatives à la perception du système 117

5.1.3 Résultats quantitatifs 119

5.1.4 Résultats qualitatifs 123

5.2 Réactions des populations à un exercice de sécurité civile 124

5.2.1 Présentation de l'exercice PPI (Plan particulier d'intervention) des établissements Inéos du 22 mars 2017 . . . 125

5.2.2 Recueil des données relatives aux réactions des populations 127

5.2.3 Analyse croisée sur différents indicateurs 128

5.2.3.1 A propos des participants 128

5.2.3.2 Sensibilisation et préparation 130

5.2.3.3 Au moment de l'alerte 131

5.2.3.4 Retour d'expérience des participants 135

5.2.4 Interprétation des résultats 136

5.3 Génération d'un modèle de décision à partir de cas d'accidents technologiques 137

5.3.1 Recueil des données de contexte (étape 2) 137

5.3.2 Choix des algorithmes utilisés (étape 3) 139

5.3.3 Génération des modèles de décision (étape 3) 139

5.3.4 Interprétation des résultats (étape 4) 142
5.4 Synthèse 144

Cette conclusion se présente en deux parties, avec dans un premier temps, une synthèse de la recherche et un retour sur notre problématique ; et dans un second temps, une réflexion sur les perspectives de recherche transverses à cette thèse.

6.1 Synthèse de la recherche

Avant de revenir sur la problématique de recherche pour préciser en quoi les travaux présentés dans ce document y répondent, une synthèse et une analyse des résultats obtenus sont proposées.

6.1.1 Présentation et analyse des résultats

Deux objectifs ont guidé les travaux menés, qui se situent sur des temporalités différentes :

— Le premier objectif qui a été mis en œuvre partiellement est la proposition d'une démarche d'aide à la décision sur les questions relatives à l'alerte et l'information aux populations qui permet « en temps réel » d'identifier des risques et opportunités relatifs aux comportements des populations pour adapter les alertes et l'information aux populations dans un environnement donné. Cette démarche est basée sur des données liées à des crises réelles.

— Le second objectif est de permettre une sensibilisation ciblée. Les données récoltées sur les crises passées peuvent également permettre d'identifier des groupes de personnes qui se comportent globalement de la même manière et d'affiner ainsi les méthodes pour sensibiliser et éduquer les populations ou de redéployer de manière ciblée les moyens d'alerte « en amont de tout signal de crise ». Cette apport correspond à notre vision de la capitalisation sur les connaissances, qui met les individus (à travers leurs comportements) au cœur des enjeux du système.

Cette thèse permet de dresser les contours d'une réponse à ces deux objectifs, en proposant une démarche d'aide à la décision, et des exemples partiels de mise en œuvre.

Nous avons proposé dans le chapitre 1 une introduction générale sur les populations à l'épreuve des crises, l'accent a été mis sur la prise en compte des capacités de résilience des populations, les faiblesses du système d'alerte français et la prise

en compte insuffisante des populations à l'échelle mondiale. Nous avons précisé dans cette introduction le positionnement des recherches menées, ou « positionnement épistémologique partagé », qui se situe entre les courants positivistes et constructivistes.

Nous avons précisé dans le chapitre 2 le contexte particulier des travaux de recherche menés, celui de la décision en situation de crise dans le cadre de la France. Nous avons présenté en particulier dans ce chapitre les systèmes d'alerte précoce, qui sont des systèmes d'informations et de connaissance articulés autour de quatre éléments : connaissance des risques, services d'alertes, diffusion des alertes, capacité de réponse et préparation à agir. Ces outils sont utilisés dans la plupart des étapes de la gestion de crise.

Un état de l'art a été établi chapitre 3, qui commence par lier connaissances et actions et préciser notre définition de l'aide à la décision. Nous avons proposé ensuite un aperçu non exhaustif des approches explicatives et prédictives d'aide à la décision. Dans cet état de l'art, nous avons enfin détaillé différents travaux dont nous nous sommes inspirées sur la modélisation des comportements des populations, de manière générale dans différents domaines de recherche puis sur des travaux qui s'intéressent spécifiquement aux situations de crise.

Ces différents éléments nous ont permis de proposer dans le chapitre 4 une démarche pour la conception d'un outil d'aide à la décision structurée en quatre étapes : (i) identification des connaissances, (ii) structuration et recueil des données, (iii) génération d'un modèle de décision et (iv) utilisation et mise à jour du modèle. Les données collectées dans la première étape de cette démarche sont liées à des déterminants environnementaux et individuels, qui sont présentés sous la forme de facteurs caractérisés par une liste d'indicateurs.

Nous n'avons pas pu expérimenter l'intégralité de la démarche sur un cas réel de crise, mais nous avons néanmoins appliqué sur différents cas d'étude une ou plusieurs étapes de cette démarche. Nous avons travaillé sur la façon dont peut être mesurée la perception d'un EWS (pour le système d'alerte incendie de l'Université Paris-Dauphine), nous avons ensuite recueilli des données sur les réactions des populations à l'alerte (lors d'un exercice de sécurité civile sur le territoire du grand Verdun), et nous avons enfin généré un modèle de décision basé sur des exemples choisis d'accidents technologiques. Ces différents travaux ont été présentés dans le chapitre 5. Tous les cas s'inscrivant dans le cadre général de la gestion de crise en France.

Nous notons que certaines limites sont difficilement surmontables dans ce type de recherches. Les interactions sont très fortes entre les facteurs identifiés, elles le sont donc également entre les indicateurs qui les caractérisent ce qui peut fortement compromettre ou fausser les résultats issus de l'analyse de données. L'idéal est de choisir les indicateurs les plus indépendants possibles, cet idéal n'étant pas

facilement réalisable. Enfin, une autre difficulté de la démarche sont les fortes différences d'acceptation par les décideurs. Chacun des décideurs concernés a sa propre expérience de la gestion de crise et une opinion quant à la capacité des expertises et outils d'aide à la décision qu'il est possible d'activer. Cette acceptation, plus ou moins forte, des décideurs pour la mise en œuvre de la démarche est un préalable à son efficacité. Nous avons été assurées que certains décideurs y sont tout à fait favorables.

6.1.2 Retour sur la problématique

Pour revenir sur les trois questions qui constituent le cœur de la problématique de ce document, nous constatons que la démarche proposée apporte bien des réponses à chacune d'entre elles. Les questions sont reprises ici dans l'ordre inverse de celui proposé dans l'introduction, les réponses apportées aux premières questions permettant d'alimenter les réponses des suivantes :

— « Comment prendre en compte les comportements des populations dans le EWS ? » : en se basant sur des indicateurs couvrant un ensemble large des déterminants du comportement des populations, la démarche proposée permet de prédire des comportements inadaptés ou solidaires, susceptibles d'émerger dans une population en situation de crise.

— « Comment améliorer le EWS français ? » : les réactions des populations peuvent avoir une grande importance dans l'efficacité de l'alerte et les effets peuvent s'en faire ressentir à long terme. A partir de prédictions sur les comportements des populations, les décideurs peuvent ajuster leurs décisions en tenant compte d'éléments objectifs sur les comportements des populations. Ces éléments peuvent être compris et justifiés grâce à un modèle transparent et compréhensible.

— « Comment positionner les populations au cœur du système ? » : les connaissances apportées pour la prise en compte des populations dans les décisions de crise est une réelle avancée, les comportements des individus étant souvent considérés comme des facteurs qu'il n'est pas possible de conceptualiser et non maitrisables.

Pour revenir brièvement sur le positionnement adopté, la démarche a été construite à partir d'un ensemble théorique de facteurs, chacun ayant été scientifiquement validé par des travaux de recherche indépendamment des autres facteurs. Cette méthodologie permet d'éviter de construire un modèle pour justifier des intuitions préétablies par les décideurs.

6.2 Perspectives

De nombreuses perspectives opérationnelles et de recherche émergent de ce travail. D'un point de vue opérationnel, les efforts de mise en œuvre pour une première expérimentation sur le terrain nécessite de nombreux travaux de choix des indicateurs, de validation des postulats sur les valeurs des indicateurs, de récolte de données, de structuration des données et de choix d'analyse. La récolte des données doit être faite sur un temps relativement long pour obtenir un ensemble d'instances suffisant sur lequel il sera possible de générer un modèle. Beaucoup de données, notamment celles issues des réseaux sociaux, sont non structurées et doivent être traitées de manière automatisée pour qu'une information pertinente puisse en être extraite. Enfin, tout le travail d'expertise qui va de la transformation des indicateurs au paramétrage des algorithmes de prédiction est une tâche complexe qui nécessite des moyens importants.

Au delà de ces aspects opérationnels, tout un domaine de recherche reste aujourd'hui ouvert sur l'interaction des facteurs qui peuvent impacter sur les comportements des populations en temps d'alerte et de crise. La disponibilité des données sur les indicateurs identifiés dans cette thèse constitue un potentiel fort pour de futurs travaux d'analyse sur la gestion des crises. Ces données peuvent également apporter une aide certaine pour évaluer les différents modèles de simulation élaborés dans ce domaine.

Nous avons commencé à étudier quelques perspectives de recherche en lien avec la démarche présentée dans ce document. Deux ouvertures à de nouvelles pistes de recherche sont présentées ci-après : (i) la recherche du lien entre structure et fonction des EWS, (ii) l'extension de la démarche à de nouveaux types de décisions. D'autres questions posées par les travaux menés pendant la thèse restent aujourd'hui ouvertes, notamment sur la prise en compte de la sensibilité des indices sociaux, la mise en œuvre de la démarche en dehors du cadre français, l'intégration des aspects géographiques relatifs à l'aléa, l'évolution des moyens de diffusion de l'alerte.

6.2.1 Questionnement sur la structure du système d'alerte français

Le questionnement présenté ici a fait l'objet de publications en 2018 [Arru et al., 2018c, Arru et al., 2018b].

La gestion de crise en France est organisée selon une structure de décision centrale, alimentée par des informations provenant de différents sous-systèmes indépendants pouvant avoir des statuts très différents les uns des autres. Ainsi la décision de lancer une alerte dépend d'informations délivrées par des Établissements pu-

blics à caractère industriel et commercial (les EPIC, dont fait partie par exemple l'IRSN), des Établissements publics administratifs (les EPA tels que Météo-France [1] qui fournit des prévisions en temps réel sur les événements météorologiques, ou le Service central d'hydrométéorologie et d'appui à la prévision des inondations Vigicrue [2]) ou même des associations (comme VISOV qui peut être activée par la sécurité civile pour son expertise sur les médias sociaux). Toutes ces organisations sont indépendantes les unes des autres mais selon l'événement, elles peuvent avoir à travailler en coopération pour un même objectif.

Une telle structure correspond à une architecture en Système de Systèmes (SoS), telle qu'elle est définie par la norme ISO/IEC/IEEE 15288 Annexe G (ISO, 2015) : un SoS réunit un ensemble de systèmes affectés à une tâche qu'aucun de ces système ne peut accomplir par lui-même. Chaque composant du système conserve sa propre gestion, ses objectifs et ses ressources tout en se coordonnant au SoS et en adaptant ses objectifs à ceux du SoS.

Le système d'alerte français répond bien aux propriétés qu'un SoS doit suivre : indépendance opérationnelle et managériale des éléments, développement évolutif, émergence et répartition géographique des éléments. Cependant, il ne rentre dans aucune des catégories aujourd'hui reconnues des SoS. Ces catégories sont les suivantes :

— Systèmes dirigés : ils appartiennent à une seule organisation. Les éléments des systèmes dirigés peuvent être gérés de manière indépendante par des parties différentes de l'organisation. Cependant, il existe une autorité centrale de gestion au sein de cette organisation qui peut définir une ligne stratégique. Un commandement militaire qui intègre des informations de l'armée de l'air et de l'armée de terre est un exemple de SoS dirigé.

— Systèmes collaboratifs : ce sont des systèmes pour lesquels il n'y a pas d'autorité centrale qui permet de définir une ligne stratégique et de résoudre les conflits potentiels. En général, leurs éléments sont détenus et réglementés par différentes organisations. Les organisations impliquées doivent souvent mettre en place un organe de gouvernance volontaire décisionnel. Un système d'informations (intégré) pour le transport public est un exemple de système collaboratif : les opérateurs de transport par bus, rail et air se mettent d'accord pour interconnecter leurs systèmes et fournir aux passagers une information unique.

— Systèmes virtuels : ces systèmes n'ont pas de gestion centralisée, ses éléments peuvent d'ailleurs ne pas être d'accord sur l'objectif général du SoS. Ils peuvent rejoindre ou quitter le SoS quand ils le décident et l'interopérabilité n'est pas garantie. Les systèmes de trading algorithmique automatisés à

1. http ://www.meteofrance.com/
2. https ://www.vigicrues.gouv.fr/

grande vitesse sont des exemples de SoS virtuels : différentes sociétés négocient et font des transactions automatiquement lorsqu'elles sont connectées au système [Sommerville, 1995].

— Systèmes « reconnu » (acknowledged) : ces systèmes ont des objectifs communs, une autorité de gestion désignée et des ressources propres. Cependant, les éléments constituants conservent leurs propres propriétés, objectifs, financements, directives, etc. Les modifications faites dans les éléments constitutifs du système sont effectuées en accord avec le SoS.

Tout d'abord, le système d'alerte français ne peut pas être considéré comme un système dirigé car il est composé d'éléments n'appartenant pas à une organisation unique, la gestion des constituants du système est indépendante et les organisations bien distinctes. Il ne peut pas non plus être considéré comme un système collaboratif, la gouvernance étant clairement centralisée et sous l'autorité de la sécurité civile. Elle n'est pas partagée par des représentants des différents constituants du système, et ceux-ci ne participent pas de manière égale aux décisions prises avant ou pendant une crise. Le système d'alerte français ne peut pas non plus être considéré comme un système virtuel car il dispose d'une autorité centrale et les participants en cas de crise ne peuvent pas rejoindre ou quitter le système comme ils désirent. Enfin, le système d'alerte français ne peut être considéré comme un système « reconnu » (acknowledged) simplement parce que les éléments constituants n'ont pas nécessairement besoin de l'accord du SoS pour apporter des modifications à leurs processus, mode de financement ou lignes directrices. Bien que le système d'alerte français n'entre pas tout à fait dans la catégorie des systèmes « reconnus » car l'indépendance entre l'autorité centrale et les sous-systèmes y est plus forte, il s'en approche fortement.

L'intérêt d'identifier la structure du système d'alerte français est pour nous d'en analyser les forces et les faiblesses ainsi que les opportunités et les menaces en terme de fonctions. Nous présentons ici sous forme de matrice SWOT (tableau 6.1) les grandes caractéristiques des systèmes « reconnus », à savoir une autorité centrale de gestion, des ressources propres et une très forte indépendance entre sous-systèmes.

Ces premières réflexions sur le lien entre la structure et les fonctions du système d'alerte français doivent être approfondies. Plusieurs questions aujourd'hui ouvertes pourront alors être creusées, qui s'articulent autour des deux grandes questions suivantes. Est-ce que les forces, faiblesses, opportunités et menaces identifiées pour les systèmes « reconnus » sont présentes dans le système d'alerte français ? Comment proposer une démarche d'aide à la décision qui soit acceptée par le plus grand nombre d'acteurs dans un tel système ?

Forces : - coordination des décisions garantie par l'autorité centrale - indépendance entre les sous-structures qui limite les rapports de pouvoirs (neutralité facilitée) - autonomie des sous-systèmes favorisant le déploiement de leurs expertises propres et de meilleurs performances	**Faiblesses :** - maintien de cultures très différentes entre les sous-systèmes qui peuvent engendrer des difficultés de communication - complexité dans la gestion et le financement des missions
Opportunités : - ajout de nouveaux sous-systèmes facilité - modification de la chaine de commandement facilitée par l'autorité centrale de gestion - suppression de nouveaux sous-systèmes facilitée	**Menaces :** - non-respect des décisions prises par l'autorité centrale - complexité à faire évoluer les processus du fait de la diversité des acteurs - priorité plus faible accordée aux objectifs imposés par l'autorité centrale par les sous-systèmes - concurrence entre sous-systèmes - mauvaise évaluation des performances ou de l'expertise apportée par les sous-systèmes, problèmes de reconnaissance

Tableau 6.1 – Matrice SWOT sur les fonctionnalités des systèmes « reconnus » découlant de leurs structures

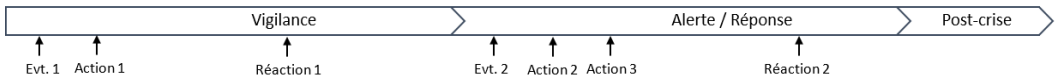


FIGURE 6.1 – Représentation séquentielle de la suite d'événements relatifs à la crise, des actions de protection à destination des populations et des réactions des populations

— Exemples d'événements : chute d'arbre, débordement de cours d'eau, endommagement du réseau électrique.
— Exemples d'actions : mise en place d'un numéro d'urgence, évacuation d'une maison de retraite, ouverture d'un centre d'accueil d'urgence.
— Exemples de réactions : évacuation spontanée, création d'une nouvelle application sur les réseaux sociaux, regroupements de personnes dans les rues.

6.2.2 Extensions à de nouveaux enjeux de décision

Dans le dernier cas d'application présenté dans le chapitre 5 (basé sur des données relatives à des accidents technologiques), les modèles de décision générés avaient pour but de prédire un risque de panique ou de diffusion de rumeurs. Ces premiers types de modèles pourraient être étendus à la prédiction d'autres indicateurs afin d'évaluer le besoin des équipes de secours par exemple. Des indicateurs tels que le niveau de coopération des populations avec les services de secours ou le niveau d'entraide dans la zone impactée par exemple ont un impact sur le travail des équipes de secours.

Toujours dans ce troisième cas d'application, portant sur la génération de modèles de décision à partir d'accidents technologiques, nous avons fait abstraction des indicateurs dynamiques, tels que les décisions prises et actions menées par les équipes de secours ou les dégâts matériels. La figure 6.1 propose une représentation de trois indicateurs dynamiques importants que sont les évènements relatifs à l'aléa, les actions menées par les équipes de secours et des réactions particulières de la part des populations concernés par l'aléa. Ces indicateurs sont pourtant à considérer de manière particulière. Ils ont un impact qui peut faire basculer rapidement les risques et les aides que peuvent constituer les comportements des populations. Les indicateurs dynamiques doivent être traités de manière particulière dans la base de données, de manière historisée, pour que puissent être reconstitués des ensembles séquentiels d'événements intégrés aux variables à prédire.

Enfin, si une alerte aux populations doit être lancée, une perspective pour de futurs travaux est d'aider à caractériser l'alerte. Pour cela, un historique des alertes lancées dans de précédentes crises doit être réalisé ainsi qu'une évaluation *a posteriori* de leurs pertinences par rapport aux réactions des populations. Les alertes peuvent être caractérisées par les moyens de diffusion, leur forme et leur contenu, l'autorité identifiée comme émettrice de l'alerte.

ANNEXE A

QUESTIONNAIRES

A.1 Questionnaire utilisé pour interroger les populations suite à un exercice de sécurité civile

Ce document est une adaptation du questionnaire utilisé pour interroger les populations ayant participé à l'exercice PPI Inéos du 22 mars 2017.

Questionnaire oral pour l'exercice PPI des Etablissements Inéos du 22 mars 2017

Destiné aux populations participant à l'exercice

1. A PROPOS DE VOUS

Année de naissance :
Sexe : ☐ Masculin ☐ Féminin
Niveau d'étude : ☐ Sans diplôme ☐ Brevet des collèges ☐ Bac ☐ Bac+2 ☐ Bac+3 ☐ Bac+4 ☐ Bac+5 ou plus
Profession : Catégorie : ☐ Agriculteur ☐ Arts et spectacles ☐ Artisan ☐ Cadre d'entreprise ☐ Cadre de la fonction publique ☐ Chef d'entreprise ☐ Commerçant ☐ Employé d'entreprise ☐ Employé de la fonction publique ☐ Etudiant ☐ Policier ou militaire ☐ Profession libérale ☐ Retraité (cochez aussi la catégorie à laquelle vous apparteniez) ☐ Sans emploi ☐ Travailleur social / santé ☐ Autre, préciser :
Responsabilités actuelles ou anciennes : ☐ Associatives ☐ Politiques ☐ Autre(s), préciser :
Nationalité :
Pays de Naissance :
Lieu de résidence : Zone géographique : ☐ Verdun ☐ Communes alentour (15 km autour) ☐ Autre
Vivez-vous ? : ☐ Seul ☐ En couple ☐ Avec des enfants
Avez-vous un smartphone ? ☐ Oui ☐ Non Si oui, à quelle fréquence l'utilisez-vous en journée ? ☐ Toutes les 10 min environ ☐ Au moins une fois par heure (ou presque) ☐ Plusieurs fois par jour ☐ Au moins une fois par jour ☐ Moins d'une fois par jour
Utilisez-vous les réseaux sociaux suivants (régulièrement ou de temps en temps) ? ☐ Facebook ☐ Instagram ☐ LinkedIn ☐ Snapchat ☐ Twitter ☐ Youtube ☐ Autre(s), préciser :
Quels sont vos centres d'intérêt ? ☐ Activités manuelles ☐ Jeux de société ☐ Journal ☐ Cinéma ou littérature, plutôt classique ☐ Cinéma ou littérature, plutôt divertissement ☐ Loisirs à l'extérieur ☐ Radio ☐ Sorties (restaurants, amis…) ☐ Sports ☐ Télévision ☐ Autre(s), préciser :

2. L'ALERTE

Aviez-vous eu connaissance de la date de l'exercice ? ☐ Oui ☐ Non Étiez-vous vigilant pour reconnaître les alertes ? ☐ Oui ☐ Non
Avez-vous entendu la sirène ? ☐ Oui ☐ Non Avez-vous compris qu'il s'agissait d'une alerte ? ☐ Oui ☐ Non ☐ Je n'étais pas sûr Si vous l'avez entendu, quel était le niveau sonore de la sirène ? ☐ Inaudible ☐ Faible ☐ Moyen ☐ Fort
Avez-vous été alerté par d'autres moyens au moment de l'exercice, et à quelle heure ? ☐ Automate d'Alerte ☐ Panneaux à messages variables ☐ Par des proches ☐ Autre(s), préciser :

Pendant l'exercice, avez-vous reçu des consignes de mise en sécurité ? □ Oui □ Non Préciser :
A quel niveau estimez-vous le risque pour vous lorsqu'une alerte se déclenche en dehors d'un exercice ? □ Nul □ Faible □ Moyen □ Fort □ Très fort

3. VOS ACTIONS

Que faisiez-vous lors du déclenchement de l'alerte ? □ J'étais à la maison □ Au travail □ En déplacement/dans les transports □ Dans des activités de loisirs □ A l'intérieur □ A l'extérieur □ Avec beaucoup de personnes autour de moi □ En communication avec d'autres personnes □ Peu attentif à ce qui se passait autour de moi (concentré) □ Autre(s), préciser : Quel était le niveau sonore du bruit ambiant ? □ Nul □ Faible □ Moyen □ Fort
Etiez-vous responsable d'autres personnes pendant l'alerte ? □ Oui □ Non Si oui, combien environ ? Si oui, quelles étaient les personnes dont vous étiez responsable ? □ Enfants □ Elèves □ Adultes □ Salariés □ Autre(s), préciser :

<u>Si vous avez entendu la sirène</u>

Quand vous avez entendu la sirène, qu'avez-vous compris ? Saviez-vous comment réagir ? □ Oui □ Non Qu'avez-vous fait ?
Avez-vous contacté des personnes pour savoir ce que vous deviez faire ? □ Oui □ Non Préciser (personnes et échanges) :
Combien de temps s'est écoulé entre le déclenchement de l'alerte et vos actions ? □ J'ai agis tout de suite □ Entre 2 et 5 minutes □ Entre 5 et 30 minutes □ Plus de 30 minutes □ Je n'ai pas agi
Avez-vous pensé ou envisagé faire d'autres actions que celles réalisées ? □ Oui □ Non Préciser : Si oui, pourquoi y avoir renoncé ?

4. VOTRE ENTOURAGE

Quelle a été la réaction des personnes qui se trouvaient autour de vous ?
Selon vous, cette réaction était-elle appropriée ? □ Oui □ Non Préciser :
Est-ce que des personnes ont réagi de façon surprenante selon vous ? □ Oui □ Non Préciser :

5. VOS PERCEPTIONS / EMOTIONS

Si vous avez reçu l'alerte, quelles émotions avez-vous ressenties ? □ Aucune □ Stress □ Peur □ Panique □ Etonnement □ Surprise □ Agacement □ Tristesse □ Autre(s), préciser :

Vous êtes-vous senti responsable de personnes proches ? □ Non □ De 1 personne □ De 2 à 5 □ De plus de 5

Vous êtes-vous senti responsable de personnes inconnues ? □ Non □ De 1 personne □ De 2 à 5 □ De plus de 5

Si vous vous êtes senti responsable, quelle a été votre réaction vis-à-vis de ces personnes ? □ Aucune action □ S'informer pour savoir si tout va bien □ Diffuser l'alerte □ Calmer □ Donner des conseils □ Autre(s), préciser :

Pensez-vous que vous auriez réagi différemment si vous n'aviez pas été informé de la date de l'exercice ? □ Oui □ Non

Si oui : □ J'aurais été plus actif □ J'aurais cherché plus d'informations □ J'aurais sans doute ressenti des émotions différentes ou plus fortes □ Autre(s), préciser :

Avez-vous vécu, dans le passé, une situation réelle proche de celle jouée dans l'exercice ? □ Oui □ Non

Si oui, laquelle ? Quelles réactions avez-vous eu lors de cette/ces crise(s) ?

6. CONNAISSANCE DU RISQUE

Comment avez-vous été sensibilisé à l'alerte et aux comportements à adopter ? □ Presse □ Radio □ Bouche-à oreille □ Réseaux sociaux □ Affichage dans les lieux publics □ Prospectus □ Pratique d'exercices passés □ Formation □ Mon métier □ Je n'ai pas été sensibilisé □ Autre(s), préciser :

Avez-vous des suggestions / Comment aimeriez-vous être informé ?

Savez-vous comment obtenir des consignes sur les conduites à tenir ? □ Oui □ Non

Si oui, auprès de qui ?

7. AUTRE

Pensez-vous que les exercices comme celui du 22 mars sont : □ Inutiles □ Un peu utiles □ Utiles □ Très utiles □ Pourraient être utiles dans d'autres conditions, lesquelles ? :

Pourriez-vous nous donner trois traits de personnalité qui vous correspondent ? □ Altruiste □ Audacieux □ Calme □ Courageux □ Discipliné □ Etourdi □ Extraverti □ Idéaliste □ Impulsif □ Individualiste □ Organisé □ Pragmatique □ Prudent □ Réservé □ Autre(s), préciser :

Autres observations :

8. QUESTION BONUS

Etes-vous d'accord avec les affirmations suivantes ?

1 : Tout à fait d'accord 2 : Plutôt d'accord 3 : Moyennement d'accord 4 : Pas tout à fait d'accord 5 : Pas du tout d'accord

Je me sens en sécurité à Verdun par rapport au risque industriel.

J'ai confiance dans le système d'alerte mis en place à Verdun.

Je sais ce que je dois faire en cas d'alerte risque industriel à Verdun.

Les consignes à respecter en cas d'alerte me paraissent claires.

J'agis selon le protocole de sécurité à chaque fois que j'entends l'alerte à Verdun.

De manière globale, je considère la sécurité par rapport au risque industriel à Verdun satisfaisante.

A.2 Questionnaire générique à destination des populations ayant vécu une crise majeure

Ce document a été adapté du questionnaire précédent (annexe A.1). Il est conçu pour interroger les populations ayant vécu une crise majeure.

Questionnaire oral destiné aux populations ayant vécu une crise majeure

1. A PROPOS DE VOUS

Année de naissance :
Sexe : ☐ Masculin ☐ Féminin
Niveau d'étude : ☐ Sans diplôme ☐ Brevet des collèges ☐ Bac ☐ Bac+2 ☐ Bac+3 ☐ Bac+4 ☐ Bac+5 ou plus
Profession : Catégorie : ☐ Agriculteur ☐ Arts et spectacles ☐ Artisan ☐ Cadre d'entreprise ☐ Cadre de la fonction publique ☐ Chef d'entreprise ☐ Commerçant ☐ Employé d'entreprise ☐ Employé de la fonction publique ☐ Etudiant ☐ Policier ou militaire ☐ Profession libérale ☐ Retraité (cochez aussi la catégorie à laquelle vous apparteniez) ☐ Sans emploi ☐ Travailleur social / santé ☐ Autre, préciser :
Responsabilités actuelles ou anciennes : ☐ Associatives ☐ Politiques ☐ Autre(s), préciser :
Nationalité :
Pays de Naissance :
Lieu de résidence : Zone géographique : ☐ Communes touchées ☐ Communes alentour (15 km autour) ☐ Autre
Vivez-vous ? : ☐ Seul ☐ En couple ☐ Avec des enfants
Avez-vous un smartphone ? ☐ Oui ☐ Non Si oui, à quelle fréquence l'utilisez-vous en journée ? ☐ Toutes les 10 min environ ☐ Au moins une fois par heure (ou presque) ☐ Plusieurs fois par jour ☐ Au moins une fois par jour ☐ Moins d'une fois par jour
Utilisez-vous les réseaux sociaux suivants (régulièrement ou de temps en temps) ? ☐ Facebook ☐ Instagram ☐ LinkedIn ☐ Snapchat ☐ Twitter ☐ Youtube ☐ Autre(s), préciser :
Quels sont vos centres d'intérêt ? ☐ Activités manuelles ☐ Jeux de société ☐ Journal ☐ Cinéma ou littérature, plutôt classique ☐ Cinéma ou littérature, plutôt divertissement ☐ Loisirs à l'extérieur ☐ Radio ☐ Sorties (restaurants, amis…) ☐ Sports ☐ Télévision ☐ Autre(s), préciser :

2. L'ALERTE

Avez-vous entendu la sirène ? ☐ Oui ☐ Non Avez-vous compris qu'il s'agissait d'une alerte ? ☐ Oui ☐ Non ☐ Je n'étais pas sûr Si vous l'avez entendu, quel était le niveau sonore de la sirène ? ☐ Inaudible ☐ Faible ☐ Moyen ☐ Fort
Avez-vous été alerté par d'autres moyens, et à quelle heure ? ☐ Automate d'appel, heure : ☐ Médias traditionnels (radio, TV), heure : ☐ Internet (réseaux sociaux hors personnes proches et sites web), heure : ☐ Ensembles mobiles d'alerte et mégaphones, heure : ☐ Panneaux à messages variables, heure : ☐ Porte-à-porte, heure : ☐ Diffusion de courriel, heure : ☐ Tocsin, heure : ☐ Par des proches, heure : ☐ Autre(s), préciser :

Avez-vous reçu des consignes de mise en sécurité ? □ Oui □ Non Préciser :
A quel niveau estimez-vous le risque pour vous lorsqu'une alerte se déclenche ? □ Nul □ Faible □ Moyen □ Fort □ Très fort

3. VOS ACTIONS

Que faisiez-vous lors du déclenchement de l'alerte ? □ J'étais à la maison □ Au travail □ En déplacement/dans les transports □ Dans des activités de loisirs □ A l'intérieur □ A l'extérieur □ Avec beaucoup de personnes autour de moi □ En communication avec d'autres personnes □ Peu attentif à ce qui se passait autour de moi (concentré) □ Autre(s), préciser : Quel était le niveau sonore du bruit ambiant ? □ Nul □ Faible □ Moyen □ Fort
Etiez-vous responsable d'autres personnes pendant l'alerte ? □ Oui □ Non Si oui, combien environ ? Si oui, quelles étaient les personnes dont vous étiez responsable ? □ Enfants □ Elèves □ Adultes □ Salariés □ Autre(s), préciser :

<u>Si vous avez reçu l'alerte</u>

Quand vous avez reçu l'alerte, qu'avez-vous compris ? Saviez-vous comment réagir ? □ Oui □ Non Qu'avez-vous fait ?
Avez-vous contacté des personnes pour savoir ce que vous deviez faire ? □ Oui □ Non Préciser (personnes et échanges) :
Combien de temps s'est écoulé entre le déclenchement de l'alerte et vos actions ? □ J'ai agis tout de suite □ Entre 2 et 5 minutes □ Entre 5 et 30 minutes □ Plus de 30 minutes □ Je n'ai pas agi
Avez-vous pensé ou envisagé faire d'autres actions que celles réalisées ? □ Oui □ Non Préciser : Si oui, pourquoi y avoir renoncé ?

4. VOTRE ENTOURAGE

Quelle a été la réaction des personnes qui se trouvaient autour de vous ?
Selon vous, cette réaction était-elle appropriée ? □ Oui □ Non Préciser :
Est-ce que des personnes ont réagi de façon surprenante selon vous ? □ Oui □ Non Préciser :

5. VOS PERCEPTIONS / EMOTIONS

Si vous avez reçu l'alerte, quelles émotions avez-vous ressenties ? □ Aucune □ Stress □ Peur □ Panique □ Etonnement □ Surprise □ Agacement □ Tristesse □ Autre(s), préciser :

Vous êtes-vous senti responsable de personnes proches ? □ Non □ De 1 personne □ De 2 à 5 □ De plus de 5

Vous êtes-vous senti responsable de personnes inconnues ? □ Non □ De 1 personne □ De 2 à 5 □ De plus de 5

Si vous vous êtes senti responsable, quelle a été votre réaction vis-à-vis de ces personnes ? □ Aucune action □ S'informer pour savoir si tout va bien □ Diffuser l'alerte □ Calmer □ Donner des conseils □ Autre(s), préciser :

Pensez-vous que lors d'une prochaine crise vous réagirez différemment ? □ Oui □ Non

Si oui : □ Je serai plus actif □ Je chercherai plus d'informations □ Je ressentirai des émotions différentes ou plus fortes □ Autre(s), préciser :

Avez-vous vécu, dans le passé, une ou plusieurs situations proches de cette crise ? □ Oui □ Non

Si oui, lesquelles ?

Quelles réactions avez-vous eu lors de ces précédentes crises ?

6. CONNAISSANCE DU RISQUE

Comment avez-vous été sensibilisé à l'alerte et aux comportements à adopter ? □ Presse □ Radio □ Bouche-à oreille □ Réseaux sociaux □ Affichage dans les lieux publics □ Prospectus □ Pratique d'exercices passés □ Formation □ Mon métier □ Je n'ai pas été sensibilisé □ Autre(s), préciser :

Avez-vous des suggestions / Comment aimeriez-vous être informé ?

Savez-vous comment obtenir des consignes sur les conduites à tenir ? □ Oui □ Non

Si oui, auprès de qui ?

7. AUTRE

Pourriez-vous nous donner trois traits de personnalité qui vous correspondent ? □ Altruiste □ Audacieux □ Calme □ Courageux □ Discipliné □ Etourdi □ Extraverti □ Idéaliste □ Impulsif □ Individualiste □ Organisé □ Pragmatique □ Prudent □ Réservé □ Autre(s), préciser :

Autres observations :

RÉFÉRENCES

[Adam et al., 2010] Adam, C., Canal, R., Gaudou, B., Vinh, H. T., Taillandier, P., et al. (2010). Simulation of the emotion dynamics in a group of agents in an evacuation situation. In *International Conference on Principles and Practice of Multi-Agent Systems*, pages 604–619. Springer.

[Adam and Gaudou, 2016] Adam, C. and Gaudou, B. (2016). Modelling human behaviours in disasters from interviews : application to melbourne bushfires. In *Social Simulation Conference (SSC), Rome, Italy.*

[Alcock, 1989] Alcock, J. (1989). *Animal behavior : An Evolutionary Approach (4th ed.).* Sinauer Associates, Sunderland, MA, US.

[Alexander, 2014] Alexander, D. E. (2014). Social media in disaster risk reduction and crisis management. *Science and engineering ethics*, 20(3) :717–733.

[Altemaire and Renaudin, 2007] Altemaire, A. and Renaudin, H. (2007). Prendre les meilleures décisions dans un contexte de gestion de crise. *Le magazine de la communication de crise et sensible*, 13 :149–163.

[Angermann et al., 2010] Angermann, M., Guenther, M., and Wendlandt, K. (2010). Communication architecture of an early warning system. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 10(11) :2215.

[Arduin, 2013] Arduin, P.-E. (2013). *Vers une métrique de la commensurabilité des schémas d'interprétation.* PhD thesis, Université Paris Dauphine-Paris IX.

[Arduin et al., 2013] Arduin, P.-E., Grundstein, M., Negre, E., and Rosenthal-Sabroux, C. (2013). Formalizing an empirical model : a way to enhance the communication between users and designers. In *Research Challenges in Information Science (RCIS), 2013 IEEE Seventh International Conference on*, pages 1–10. IEEE.

[Arduin et al., 2015] Arduin, P.-E., Grundstein, M., and Rosenthal-Sabroux, C. (2015). *Système d'information et de connaissance*. ISTE Éditions.

[Arnaud et al., 2017] Arnaud, M., Adam, C., and Dugdale, J. (2017). Les limites du bdi pour rendre compte du comportement humain en situation de crise. In *Rencontres des Jeunes Chercheurs en Intelligence Artificielle (RJCIA 2017)*.

[Arru et al., 2016a] Arru, M., Mayag, B., and Negre, E. (2016). Early-warning system perception : a study on fire safety. In *13th International Conference on Information Systems for Crisis Response and Management, Rio de Janeiro, Brasil*.

[Arru and Negre, 2017] Arru, M. and Negre, E. (2017). People behaviors in crisis situations : Three modeling propositions. In *14th Proceedings of the International Conference on Information Systems for Crisis Response and Management, Albi, France, May 21-24*.

[Arru et al., 2016b] Arru, M., Negre, E., and Rosenthal-Sabroux, C. (2016). A representation of people behaviors in crisis situations. In *Proceedings of International Conf. on Knowledge Management, Information and Knowledge Systems (KMIKS), Hammamet, Tunisia*.

[Arru et al., 2018a] Arru, M., Negre, E., and Rosenthal-Sabroux, C. (2018). Alerter ou ne pas alerter ? une intégration de connaissances sur les comportements des populations dans les systèmes d'alerte. *Ingénierie des Systèmes d'Information*, 23.

[Arru et al., 2018b] Arru, M., Negre, E., and Rosenthal-Sabroux, C. (2018). Emergence d'un nouveau type de système de systèmes : observations et propositions à partir du système d'alerte national français. In *INFORSID, Nantes*.

[Arru et al., 2018c] Arru, M., Negre, E., and Rosenthal-Sabroux, C. (2018). How are combined expertise elements in early-warning systems ? observations and propositions from the french system. In *12th International Conference on Research Challenges in Information Science, RCIS 2018, Nantes, France, May 29-31, 2018*, pages 1–6. IEEE.

[Arru et al., 2018d] Arru, M., Negre, E., and Rosenthal-Sabroux, C. (2018). Population behaviors in crisis situations-a study of behavioral factors in the ppi ineos emergency response exercise. In *51st Hawaii International Conference on System Sciences, HICSS 2018, Hilton Waikoloa Village, Hawaii, USA, January 3-6*, pages 1–10.

[Arru et al., 2019a] Arru, M., Negre, E., and Rosenthal-Sabroux, C. (2019). Alerter ou ne pas alerter ? telle est la question... In *INFORSID, Paris*.

[Arru et al., 2019b] Arru, M., Negre, E., and Rosenthal-Sabroux, C. (2019). To alert or not to alert ? that is the question. In *52nd Hawaii International Conference on System Sciences, HICSS 2019, Grand Wailea, Maui, Hawaii, USA, January 8-11*, pages 1–10.

[Arru et al., 2016c] Arru, M., Negre, E., Rosenthal-Sabroux, C., and Grundstein, M. (2016). Towards a responsible early-warning system : Knowledge implications in decision support design. In *Tenth IEEE International Conference on Research Challenges in Information Science, RCIS 2016, Grenoble, France, June 1-3*, pages 1–12. IEEE.

[Babitski et al., 2009] Babitski, G., Probst, F., Hoffmann, J., and Oberle, D. (2009). Ontology design for information integration in disaster management. *GI Jahrestagung*, 154 :3120–3134.

[Baker, 1991] Baker, E. J. (1991). Hurricane evacuation behavior. *International journal of mass emergencies and disasters*, 9(2) :287–310.

[Bakker, 2001] Bakker, E. (2001). Early warning by ngos in conflict areas. *B. Arts, M. Noortmann, B. Reinalda, Non-State Actors in International Law, Politics and Governance Series, Ashgate, Aldershot, Burlington USA, Singapore, Sydney.*

[Balacheff, 1994] Balacheff, N. (1994). Didactique et intelligence artificielle. *Recherches en didactique des mathématiques*, 14 :9–42.

[Bañgate et al., 2017] Bañgate, J., Dugdale, J., Adam, C., and Beck, E. (2017). A review on the influence of social attachment on human mobility during crises. In *ISCRAM.*

[Barredo, 2009] Barredo, J. I. (2009). Normalised flood losses in europe : 1970–2006. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 9(1) :97–104.

[Barroca et al., 2013] Barroca, B., DiNardo, M., and Mboumoua, I. (2013). De la vulnérabilité à la résilience : mutation ou bouleversement ? *EchoGéo*, (24).

[Bartneck, 2002] Bartneck, C. (2002). Integrating the occ model of emotions in embodied characters. In *Workshop on Virtual Conversational Characters*, pages 39–48. Citeseer.

[Basher, 2006] Basher, R. (2006). Global early warning systems for natural hazards : systematic and people-centred. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London A : Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 364(1845) :2167–2182.

[Becerra et al., 2013] Becerra, S., Peltier, A., Antoine, J.-M., Labat, D., Chorda, J., Ribolzi, O., Daupras, F., and Dartus, D. (2013). Comprendre les comportements face à un risque modéré d'inondation. etude de cas dans le périurbain toulousain (sud-ouest de la france). *Hydrological Sciences Journal*, 58(5) :945–965.

[Becker, 2004] Becker, S. M. (2004). Emergency communication and information issues in terrorist events involving radioactive materials. *Biosecurity and Bioterrorism : biodefense strategy, practice, and science*, 2(3) :195–207.

[Beucher and Reghezza-Zitt, 2008] Beucher, S. and Reghezza-Zitt, M. (2008). Gérer le risque dans une métropole : le système français face à l'inondation dans l'agglomération parisienne. *Environnement Urbain/Urban Environment*, 2 :1–10.

[Bihanic et al., 2013] Bihanic, D., Chevalier, M., Dupuy-Chessa, S., Le Pallec, X., Morineau, T., and Polacsek, T. (2013). Modélisation graphique des si. du traitement visuel de modèles complexes. pages 99–114.

[Blanchot et al., 1999] Blanchot, F. et al. (1999). La connaissance objective de Karl Popper : principales thèses et apports pour les recherches en gestion. *Finance Contrôle Stratégie*, 2(3) :25–62.

[Bourdeau-Lepage and Tovar, 2013] Bourdeau-Lepage, L. and Tovar, É. (2013). Quelle fracture socio-spatiale à l'heure du grand paris ? le cœur de l'île-de-france à la dérive. *Revue d'Économie Régionale & Urbaine*, (3) :491–521.

[Boyd, 1981] Boyd, S. (1981). Réactions psychologiques des victimes de catastrophes. *South African Medicine Journal*, 60 :744–748.

[Brannen, 2005] Brannen, J. (2005). Mixing methods : The entry of qualitative and quantitative approaches into the research process. *International journal of social research methodology*, 8(3) :173–184.

[Bratman, 1987] Bratman, M. (1987). *Intention, plans, and practical reason*, volume 10. Harvard University Press, Cambridge, MA.

[Breakwell, 2014] Breakwell, G. M. (2014). *The psychology of risk*. Cambridge University Press.

[Brown and Parton, 2014] Brown, S. and Parton, H. (2014). *Evacuation in New York City During Hurricanes Irene and Sandy*. New York City Department of Health and Mental Hygiene.

[Brown et al., 2016] Brown, S., Parton, H., Driver, C., and Norman, C. (2016). Evacuation during hurricane sandy : Data from a rapid community assessment. *PLoS currents*, 8.

[Buchanan-Smith, 2000] Buchanan-Smith, M. (2000). Role of early warning systems in decision-making processes. *Early warning systems for drought preparedness and drought management*.

[BVA, 2016] BVA, I. (2016). Baromètre irsn sur la perception des risques et de la sécurité.

[Cacioppo and Tassinary, 1990] Cacioppo, J. T. and Tassinary, L. G. (1990). Inferring psychological significance from physiological signals. *American Psychologist*, 45(1) :16.

[Calvet and Manable, 2015] Calvet, F. and Manable, C. (2015). Xynthia 5 ans après : pour une véritable culture du risque dans les territoires. Technical report, Rapport sénatorial d'information n°536.

[Caruana and Niculescu-Mizil, 2006] Caruana, R. and Niculescu-Mizil, A. (2006). An empirical comparison of supervised learning algorithms. In *Proceedings of the 23rd international conference on Machine learning*, pages 161–168. ACM.

[Cerema, 2016] Cerema (2016). Référentiel national de vulnérabilité aux inondations. Technical report, Direction Générale de la Prévention des Risques (DGPR)du Ministère de l'Environnement, de l'Énergie et de la Mer (MEEM) et Centre Européen de Prévention de Risque Inondation (CEPRI).

[Chauvin et al., 2007] Chauvin, B., Hermand, D., and Mullet, E. (2007). Risk perception and personality facets. *Risk Analysis : An International Journal*, 27(1) :171–185.

[Cheang, 2009] Cheang, N. (2009). Early warning system for financial crises. *Macao Monetary Research Bulletin*, 11 :61–77.

[Comes, 2016] Comes, T. (2016). Cognitive biases in humanitarian sensemaking and decision-making lessons from field research. In *Cognitive Methods in Situation Awareness and Decision Support (CogSIMA), 2016 IEEE International Multi-Disciplinary Conference on*, pages 56–62. IEEE.

[Comes et al., 2014] Comes, T., Mayag, B., and Negre, E. (2014). Decision support for disaster risk management : Integrating vulnerabilities into early-warning systems. In *International Conference on Information Systems for Crisis Response and Management in Mediterranean Countries*, pages 178–191. Springer.

[Comes et al., 2015] Comes, T., Negre, E., and Mayag, B. (2015). Beyond early : Decision support for improved typhoon warning systems. *12th International Conference on Information Systems for Crisis Response and Management, ISCRAM 2015, May 2015, Kristiansand, Norway.*

[Conati and Maclare, 2004] Conati, C. and Maclare, H. (2004). Evaluating a probabilistic model of student affect. In *International Conference on Intelligent Tutoring Systems*, pages 55–66. Springer.

[Cooper et al., 2007] Cooper, J. O. H., Heward, T. E., William, L., Cooper, J. O., Heron, T. E., and Heward, W. L. (2007). *Applied behavior analysis.* Pearson.

[Cotelle, 2014] Cotelle, P. (2014). *Une géographie de l'insécurité urbaine post catastrophe : le cas de la Nouvelle-Orléans et du cyclone Katrina (USA, 2000-2010).* PhD thesis, Université Paul Valéry-Montpellier III.

[Cousteau et al., 1991] Cousteau, J.-Y. P., Rubise, P., Kervern, G.-Y., and Laborit, H. P. (1991). *L'archipel du danger : introduction aux cindyniques.* Economica.

[Crocq, 2013] Crocq, L. (2013). *Paniques Collectives (Les).* Odile Jacob.

[Cross, 2009] Cross, R. (2009). World disasters report 2009 : Focus on early warning - early action. *International Federation of Red Cross and Red Crescent Societies, Geneva.*

[Dauphiné and Provitolo, 2007] Dauphiné, A. and Provitolo, D. (2007). La résilience : un concept pour la gestion des risques. In *Annales de géographie*, number 2, pages 115–125. Armand Colin.

[Dauphiné and Provitolo, 2013] Dauphiné, A. and Provitolo, D. (2013). *Risques et catastrophes : observer, spatialiser, comprendre, gérer*. Armand Colin.

[David et al., 2017] David, D., Bernatchez, P., and Dumont, D. (2017). Systèmes d'alerte précoce pour les aléas naturels et environnementaux : virage ou mirage technologique ? *Revue des sciences de l'eau/Journal of Water Science*, 30(2) :115–146.

[Davidson and Alex, 2002] Davidson, J. and Alex, C. (2002). Guide on improving public understanding of and response to warnings. Technical report, World Meteorological Organization (WMO).

[de León et al., 2006] de León, J. C. V., Bogardi, J., Dannenmann, S., and Basher, R. (2006). Early warning systems in the context of disaster risk management. *Entwicklung and Ländlicher Raum*, 2 :23–25.

[Dedieu, 2015] Dedieu, F. (2015). *Une catastrophe ordinaire : la tempête du 27 décembre 1999*. Éditions de l'École des hautes études en sciences sociales.

[Desjardins, 2005] Desjardins, J. (2005). L'analyse de régression logistique. *Tutorial in quantitative methods for psychology*, 1(1) :35–41.

[DGPR, 2011] DGPR (2011). *Gaspar 2011 (Gestion Assistée des Procédures Administratives relatives aux Risques naturels et technologiques) - IGN, GEOFLA, 2006. Traitements SOeS*. Direction Générale de la Prévention des Risques, Ministère de l'Écologie, du Développement Durable des Transports et du Logement.

[DGPR, 2019] DGPR (2019). *Gaspar 2017 (Gestion Assistée des Procédures Administratives relatives aux Risques naturels et technologiques) - Insee, RP 2014 - IGN, BD Carto, 2016. Traitements SDES*. Direction Générale de la Prévention des Risques, Ministère de la Transition écologique et solidaire.

[DGSCGC, 2006] DGSCGC (2006). *Guide ORSEC - Méthode Générale*. Direction générale de la sécurité civile et de la gestion des crises.

[DGSCGC, 2013a] DGSCGC (2013). *Guide ORSEC - Alerte et information des populations*. Direction générale de la sécurité civile et de la gestion des crises, Ministère de l'Intérieur.

[DGSCGC, 2013b] DGSCGC (2013). *Guide ORSEC - Alerte et information des populations*. Direction générale de la sécurité civile et de la gestion des crises.

[Digman, 1990] Digman, J. M. (1990). Personality structure : Emergence of the five-factor model. *Annual review of psychology*, 41(1) :417–440.

[Dominitz and Manski, 2003] Dominitz, J. and Manski, C. F. (2003). How should we measure consumer confidence (sentiment) ? evidence from the michigan survey of consumers. Technical report, National Bureau of Economic Research.

[Donner and Rodríguez, 2008] Donner, W. and Rodríguez, H. (2008). Population composition, migration and inequality : The influence of demographic changes on disaster risk and vulnerability. *Social forces*, 87(2) :1089–1114.

[Dourlens, 2003] Dourlens, C. (2003). La question des inondations : le prisme des sciences sociales. *Rapport au Ministère de l'équipement, des Transports et du Logement (DRAST).*

[Douvinet et al., 2017] Douvinet, J., Gisclard, B., Kouadio, J. S., Saint-Martin, C., and Martin, G. (2017). Une place pour les technologies smartphones et les réseaux sociaux numériques (rsn) dans les dispositifs institutionnels de l'alerte aux inondations en france ? *Cybergeo : European Journal of Geography.*

[Drabek and Boggs, 1968] Drabek, T. E. and Boggs, K. S. (1968). Families in disaster : Reactions and relatives. *Journal of Marriage and the Family*, pages 443–451.

[Dupuy, 2003] Dupuy, J.-P. (2003). *La panique.* Empêcheurs de penser en rond.

[Einstein and Sousa, 2007] Einstein, H. and Sousa, R. (2007). Warning systems for natural threats. *Georisk*, 1(1) :3–20.

[Ekman and Friesen, 1971] Ekman, P. and Friesen, W. V. (1971). Constants across cultures in the face and emotion. *Journal of personality and social psychology*, 17(2) :124.

[Elliott and Pais, 2006] Elliott, J. R. and Pais, J. (2006). Race, class, and hurricane katrina : Social differences in human responses to disaster. *Social science research*, 35(2) :295–321.

[Ferber, 1997] Ferber, J. (1997). *Les systèmes multi-agents : vers une intelligence collective.* InterEditions.

[Ferdousi et al., 2017] Ferdousi, Z., Negre, E., and Colazzo, D. (2017). Context factors in context-aware recommender system. In *AISR 2017 Atelier interdisciplinaire sur les systèmes de recommandation.*

[Ferguson, 1992] Ferguson, I. A. (1992). *TouringMachines : An architecture for dynamic, rational, mobile agents.* PhD thesis, University of Cambridge UK.

[Ferrara et al., 2014] Ferrara, E., De Meo, P., Fiumara, G., and Baumgartner, R. (2014). Web data extraction, applications and techniques : A survey. *Knowledge-based systems*, 70 :301–323.

[Fisher, 1936] Fisher, R. A. (1936). The use of multiple measurements in taxonomic problems. *Annals of eugenics*, 7(2) :179–188.

[Fix and Hodges Jr, 1951] Fix, E. and Hodges Jr, J. L. (1951). Discriminatory analysis-nonparametric discrimination : consistency properties. Technical report, California Univ Berkeley.

[Franklin and Graesser, 1996] Franklin, S. and Graesser, A. (1996). Is it an agent, or just a program ? : A taxonomy for autonomous agents. In *International Workshop on Agent Theories, Architectures, and Languages*, pages 21–35. Springer.

[Fujiki, 2017] Fujiki, K. (2017). *Etude prospective des impacts sociaux d'une inondation majeure en région Ile-de-France. Disparités socio-spatiales dans la prise en charge des populations franciliennes en situation de crise et post-crise : une analyse cartographiée et quantifiée des besoins des ménages, de l'évacuation à la reconstruction.* PhD thesis, Université de Lyon (Université Jean Moulin Lyon 3).

[Gaillard and Mercer, 2013] Gaillard, J.-C. and Mercer, J. (2013). From knowledge to action : Bridging gaps in disaster risk reduction. *Progress in human geography*, 37(1) :93–114.

[Gartiser and Dubois, 2005] Gartiser, N. and Dubois, S. (2005). Du problème à son processus de résolution : entre positivisme et constructivisme. application à la conception de systèmes techniques. In *XIVième Conférence Internationale de Management Stratégique (AIMS)*, pages ISSN–1815.

[Genovesi et al., 2010] Genovesi, P., Scalera, R., Brunel, S., Roy, D., and Solarz, W. (2010). Towards an early warning and information system for invasive alien species (ias) threatening biodiversity in europe. *European Environment Agency, Copenhagen*, 47.

[Georgeff et al., 1998] Georgeff, M., Pell, B., Pollack, M., Tambe, M., and Wooldridge, M. (1998). The belief-desire-intention model of agency. In *International workshop on agent theories, architectures, and languages*, pages 1–10. Springer.

[Gisquet, 2015] Gisquet, E. (2015). Six questions pour tirer les leçons de la catastrophe de fukushima sur le plan des facteurs organisationnels et humains.

[Glantz, 2003] Glantz, M. H. (2003). Usable science 8 : early warning systems : do's and don'ts. In *Report of workshop*, pages 20–23.

[Godard et al., 2002] Godard, O., Michel-Kerjan, E., Lagadec, P., and Henry, C. (2002). *Traité des nouveaux risques : précaution, crise, assurance.* Gallimard.

[Godfrin, 2005] Godfrin, V. (2005). Impact de l'information préventive sur l'évolution de la responsabilité dans le cadre des risques naturels majeurs. le cas des alpes-maritimes.

[Goldstone and Janssen, 2005] Goldstone, R. L. and Janssen, M. A. (2005). Computational models of collective behavior. *Trends in cognitive sciences*, 9(9) :424–430.

[Golinelli and Parigi, 2004] Golinelli, R. and Parigi, G. (2004). Consumer sentiment and economic activity. *Journal of Business Cycle Measurement and Analysis*, 2004(2) :147–170.

[Gollier et al., 2003] Gollier, C., Hilton, D., and Raufaste, E. (2003). Daniel kahneman et l'analyse de la décision face au risque. *Revue d'économie politique*, 113(3) :295–307.

[Granovetter, 1978] Granovetter, M. (1978). Threshold models of collective behavior. *American journal of sociology*, pages 1420–1443.

[Grundstein and Rosenthal-Sabroux, 2004] Grundstein, M. and Rosenthal-Sabroux, C. (2004). Gameth®, a decision support approach to identify and locate potential crucial knowledge. In *Proceedings 5th European Conference on Knowledge Management*, pages 391–402.

[Hall, 1989] Hall, E. T. (1989). *Beyond culture*. Anchor.

[Hamon et al., 2015] Hamon, T., Fraisse, A., Paroubek, P., Zweigenbaum, P., and Grouin, C. (2015). Analyse des émotions, sentiments et opinions exprimés dans les tweets : présentation et résultats de l'édition 2015 du défi fouille de texte (deft).

[Hatzfeld, 2006] Hatzfeld, N. (2006). L'émergence des troubles musculo-squelettiques (1982-1996). sensibilités de terrain, définitions d'experts et débats scientifiques. *Histoire & mesure*, 21(XXI-1) :111–140.

[Haynes et al., 2008] Haynes, K., Barclay, J., and Pidgeon, N. (2008). The issue of trust and its influence on risk communication during a volcanic crisis. *Bulletin of Volcanology*, 70(5) :605–621.

[Heath et al., 2001] Heath, S. E., Kass, P. H., Beck, A. M., and Glickman, L. T. (2001). Human and pet-related risk factors for household evacuation failure during a natural disaster. *American journal of epidemiology*, 153(7) :659–665.

[Heckerman et al., 1995] Heckerman, D., Geiger, D., and Chickering, D. M. (1995). Learning bayesian networks : The combination of knowledge and statistical data. *Machine learning*, 20(3) :197–243.

[Heppen and Therriault, 2008] Heppen, J. B. and Therriault, S. B. (2008). Developing early warning systems to identify potential high school dropouts. issue brief. *National High School Center*.

[Horney et al., 2012] Horney, J. A., MacDonald, P. D., Van Willigen, M., and Kaufman, J. S. (2012). The importance of effect measure modification when using demographic variables to predict evacuation. *Risk, Hazards & Crisis in Public Policy*, 3(1) :1–19.

[Insee, 2017] Insee (2017). Exposition aux risques naturels - risques naturels. *Les acteurs économiques et l'environnement*.

[Irtija et al., 2018] Irtija, N., Sami, M., and Ahad, M. A. R. (2018). Fatigue detection using facial landmarks. *International Symposium on Affective Science and Engineering*, ISASE2018 :1–6.

[Jacks et al., 2010] Jacks, E., Davidson, J., and Wai, H. (2010). Directives sur les systèmes d'alerte précoce et l'application des prévisions immédiates et des alertes. Technical Report 1559, Organisation météorologique mondiale.

[James, 1911] James, W. (1911). On some mental effects of the earthquake.

[Jensen, 1994] Jensen, F. V. (1994). *Introduction to Bayesian networks*. University of Aalborg, Institute for Electronic Systems, Department of ....

[Jihan and Segev, 2013] Jihan, S. H. and Segev, A. (2013). Context ontology for humanitarian assistance in crisis response. In *ISCRAM*.

[Johnson and Levin, 2009] Johnson, D. and Levin, S. (2009). The tragedy of cognition : psychological biases and environmental inaction. *Current science*, pages 1593–1603.

[Jondeau, 2001] Jondeau, E. (2001). Le comportement mimétique sur les marchés de capitaux. *Bulletin de la Banque de France*, 95.

[Kahneman and Tversky, 1979] Kahneman, D. and Tversky, A. (1979). Prospect theory : An analysis of decision under risk. volume 47, pages 363–391.

[Kalmegh, 2015] Kalmegh, S. R. (2015). Comparative analysis of weka data mining algorithm randomforest, randomtree and ladtree for classification of indigenous news data. *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering*, 5(1) :507–517.

[Kalton and Schuman, 1982] Kalton, G. and Schuman, H. (1982). The effect of the question on survey responses : A review. *Journal of the Royal Statistical Society. Series A (General)*, pages 42–73.

[Kapferer, 1987] Kapferer, J.-N. (1987). *Rumeurs : le plus vieux média du monde*. Editions du seuil.

[Kapferer, 1990] Kapferer, J.-N. (1990). Le contrôle des rumeurs. *Communications*, 52(1) :99–118.

[Kastler et al., 1991] Kastler, A., Mathieu, J., and Fleury, P. (1991). Dictionnaire de physique.

[Katsuya, 2001] Katsuya, T. (2001). Public response to the tokai nuclear accident. *Risk Analysis*, 21(6) :1039–1046.

[Keck, 2009] Keck, F. (2009). Conflits d'experts. *Ethnologie française*, 39(1) :79–88.

[Kemmelmeier et al., 2008] Kemmelmeier, M., Broadus, A. D., and Padilla, J. B. (2008). Inter-group aggression in new orleans in the immediate aftermath of hurricane katrina. *Analyses of Social Issues and Public Policy*, 8(1) :273.

[Kinateder et al., 2015] Kinateder, M. T., Kuligowski, E. D., Reneke, P. A., and Peacock, R. D. (2015). Risk perception in fire evacuation behavior revisited : definitions, related concepts, and empirical evidence. *Fire Science Reviews*, 4(1) :1.

[King and Zeng, 2001] King, G. and Zeng, L. (2001). Logistic regression in rare events data. *Political analysis*, 9(2) :137–163.

[King et al., 1995] King, R. D., Feng, C., and Sutherland, A. (1995). Statlog : comparison of classification algorithms on large real-world problems. *Applied Artificial Intelligence an International Journal*, 9(3) :289–333.

[Kouadio and Douvinet, 2016] Kouadio, S. and Douvinet, J. (2016). Diffuser une alerte aux crues rapides via une application smartphone en france : de la théorie à la mise en pratique.

[Kreibich et al., 2016] Kreibich, H., Pech, I., Schröter, K., Müller, M., and Thieken, A. H. (2016). New insights into flood warning and emergency response from the perspective of affected parties. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci. Discuss., doi*, 10.

[Kuligowski, 2009] Kuligowski, E. D. (2009). *The process of human behavior in fires*. US Department of Commerce, National Institute of Standards and Technology.

[Lacroix et al., 2015] Lacroix, M., Souville, M., and Freyermuth, O. (2015). Les facteurs influençant la prise de décision des commandants des opérations de secours.

[Laender et al., 2002] Laender, A. H., Ribeiro-Neto, B. A., Da Silva, A. S., and Teixeira, J. S. (2002). A brief survey of web data extraction tools. *ACM Sigmod Record*, 31(2) :84–93.

[Lagadec, 1991] Lagadec, P. (1991). La gestion des crises. *Outils de réflexion à l'usage des décideurs, Ediscience International, Paris*, pages 96–102.

[Lagadec, 1995] Lagadec, P. (1995). *Cellules de crise : les conditions d'une conduite efficace : gouvernements, ministères, entreprises, préfectures, administrations, municipalités, régions, médias, organisations internationales, organisations non gouvernernentales, associations, syndicats*. Les Éditions d'Organisation.

[Lagadec, 2015] Lagadec, P. (2015). *Le continent des imprévus : Journal de bord des temps chaotiques*. Manitoba Les Belles Lettres.

[Lattimer and Swithern, 2017] Lattimer, C. and Swithern, S. (2017). Global humanitarian assistance report 2017. *Development Initiatives, Somerset, UK, 2017*.

[Lauritzen and Spiegelhalter, 1988] Lauritzen, S. L. and Spiegelhalter, D. J. (1988). Local computations with probabilities on graphical structures and their application to expert systems. *Journal of the Royal Statistical Society : Series B (Methodological)*, 50(2) :157–194.

[Le Bon, 1900] Le Bon, G. (1900). *Psychologie des foules*. F. Alcan.

[Le Moigne, 1995] Le Moigne, J.-L. (1995). Les épistémologies constructivistes.

[Leray, 2006] Leray, P. (2006). Réseaux bayésiens : apprentissage et modélisation de systèmes complexes. *habilitation à diriger les recherches, Université de Rouen*.

[Leray, 2008] Leray, P. (2008). Tutoriel : Réseaux bayésiens - introduction et apprentissage modélisation et découverte de connaissances.

[Lewin, 1936] Lewin, K. (1936). Principles of topological psychology. *New York-London*.

[Lhomme, 2012] Lhomme, S. (2012). *Les réseaux techniques comme vecteur de propagation des risques en milieu urbain-Une contribution théorique et pratique à l'analyse de la résilience urbaine*. PhD thesis, Université Paris-Diderot-Paris VII.

[Lichtenstein and Slovic, 1971] Lichtenstein, S. and Slovic, P. (1971). Reversals of preference between bids and choices in gambling decisions. *Journal of experimental psychology*, 89(1) :46.

[Likert, 1932] Likert, R. (1932). A technique for the measurement of attitudes. *Archives of psychology*.

[Lin et al., 2012] Lin, J., Spraragen, M., and Zyda, M. (2012). Computational models of emotion and cognition. In *Advances in Cognitive Systems*. Citeseer.

[Lindell et al., 2005] Lindell, M. K., Lu, J.-C., and Prater, C. S. (2005). Household decision making and evacuation in response to hurricane lili. *Natural Hazards Review*, 6(4) :171–179.

[Ludvigson, 2004] Ludvigson, S. C. (2004). Consumer confidence and consumer spending. *The Journal of Economic Perspectives*, 18(2) :29–50.

[Luneta and Molina, 2008] Luneta, M. and Molina, J. G. (2008). Community based early warning system and evacuation : Planning, development and testing. *Safer Cities : Case Studies on Mitigatin Disasters in Asia and the Pacific*, 20 :1–8.

[Matsusaka and Sbordone, 1995] Matsusaka, J. G. and Sbordone, A. M. (1995). Consumer confidence and economic fluctuations. *Economic Inquiry*, 33(2) :296–318.

[Merad, 2010] Merad, M. (2010). *Aide à la décision et expertise en gestion des risques*. Lavoisier. Paris.

[Merleau-Ponty, 1942] Merleau-Ponty, M. (1942). *La structure du comportement*. Presses Universitaires.

[Michel et al., 2004] Michel, A., Sordet, A., and Moraillon, E. (2004). Les rumeurs en tant que phénomène d'influence sociale.

[Michelet, 1860] Michelet, J. (1860). *La femme*. Hachette.

[Mileti and Beck, 1975] Mileti, D. S. and Beck, E. M. (1975). Communication in crisis : Explaining evacuation symbolically. *Communication Research*, 2(1) :24–49.

[Mileti and Sorensen, 1990] Mileti, D. S. and Sorensen, J. H. (1990). Communication of emergency public warnings : A social science perspective and state-of-the-art assessment. Technical report, Oak Ridge National Lab., TN (USA).

[Morin, 1976] Morin, E. (1976). Pour une crisologie. *Communications*, 25(1) :149–163.

[Müller and Pischel, 2011] Müller, J. P. and Pischel, M. (2011). The agent architecture interrap : Concept and application.

[Naville, 1953] Naville, P. (1953). Les schemas du comportement : Utilisés par les psychologues et les économistes. *Revue économique*, pages 394–415.

[Negre et al., 2018] Negre, E., Arru, M., and Rosenthal-Sabroux, C. (2018). Toward a modeling of population behaviors in crisis situations. In *How Information Systems Can Help in Alarm/Alert Detection*, pages 199–218. Elsevier.

[Ng et al., 2014] Ng, M., Behr, J., and Diaz, R. (2014). Unraveling the evacuation behavior of the medically fragile population : findings from hurricane irene. *Transportation research part A : policy and practice*, 64 :122–134.

[Nguyên-Duy and Luckerhoff, 2006] Nguyên-Duy, V. and Luckerhoff, J. (2006). Constructivisme/positivisme : où en sommes-nous avec cette opposition. *Les actes*, 5 :4–18.

[Niebles et al., 2008] Niebles, J. C., Wang, H., and Fei-Fei, L. (2008). Unsupervised learning of human action categories using spatial-temporal words. *International journal of computer vision*, 79(3) :299–318.

[November and Créton-Cazanave, 2017] November, V. and Créton-Cazanave, L. (2017). *La gestion de crise à l'épreuve de l'exercice EU SEQUANA.* La Documentation Française.

[Oberijé, 2007] Oberijé, N. (2007). Civil response after disasters the use of civil engagement in disaster abatement.

[Ochs et al., 2005] Ochs, M., Sadek, D., and Pelachaud, C. (2005). La représentation des émotions d'un agent rationnel. In *Workshop Francophone sur les Agents Conversationnels Animés*, pages 43–52.

[of Red Cross and (IFRC), 2012] of Red Cross, T. I. F. and (IFRC), R. C. S. (2012). Community early warning systems : guiding principles.

[ONU, 2015] ONU (2015). Cadre d'actions de sendai pour la réduction des risques de catastrophes 2015-2030. *Sendai, Japon.*

[Oquab et al., 2014] Oquab, M., Bottou, L., Laptev, I., and Sivic, J. (2014). Learning and transferring mid-level image representations using convolutional neural networks. In *Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition*, pages 1717–1724.

[Ortony et al., 1990] Ortony, A., Clore, G. L., and Collins, A. (1990). *The cognitive structure of emotions.* Cambridge university press.

[Ortony and Turner, 1990] Ortony, A. and Turner, T. J. (1990). What's basic about basic emotions ? *Psychological review*, 97(3) :315.

[Owen, 2005] Owen, J. (2005). Tsunami family saved by schoolgirl's geography lesson. *National Geographic News, London.*

[Parizeau, 2004] Parizeau, M. (2004). Réseaux de neurones. *GIF-21140 et GIF-64326*, 124.

[Pearl, 1982] Pearl, J. (1982). *Reverend Bayes on inference engines : A distributed hierarchical approach*. Cognitive Systems Laboratory, School of Engineering and Applied Science ....

[Pearl, 2014] Pearl, J. (2014). *Probabilistic reasoning in intelligent systems : networks of plausible inference*. Elsevier.

[Pearl and Verma, 1995] Pearl, J. and Verma, T. S. (1995). A theory of inferred causation. In *Studies in Logic and the Foundations of Mathematics*, volume 134, pages 789–811. Elsevier.

[Perez, 2005] Perez, F. Y. L. (2005). Survival tactics of indigenous peoples. *Geography*, 378.

[Polanyi, 1967] Polanyi, M. (1967). Sense-giving and sense-reading. *Philosophy*, 42(162) :301–325.

[Popper et al., 1985] Popper, K. R., De Launay, M.-I., and de Launay, M. B. (1985). *Conjectures et réfutations : la croissance du savoir scientifique*. Payot.

[Pressman and Wildavsky, 1974] Pressman, J. L. and Wildavsky, A. B. (1974). *Implementation : How Great Expectations in Washington are Dashed in Oakland*. University of California Press.

[Prévot, 2018] Prévot, J. (2018). Alerte attentat : l'application saip fait place aux réseaux sociaux. *Civique*, 245 :30.

[Proulx, 2001] Proulx, G. (2001). Occupant behaviour and evacuation. In *Proceedings of the 9th International Fire Protection Symposium*, pages 219–232.

[Proulx and Sime, 1991] Proulx, G. and Sime, J. D. (1991). To prevent'panic'in an underground emergency : why not tell people the truth ? *Fire Safety Science*, 3 :843–852.

[Provitolo, 2009] Provitolo, D. (2009). Vulnérabilité et résilience : géométrie variable des deux concepts. *séminaire résilience de l'ENS*.

[Provitolo et al., 2011] Provitolo, D., Dubos-Paillard, E., and Müller, J. P. (2011). Emergent human behaviour during a disaster : thematic# versus# complex systems approaches.

[Provitolo et al., 2015] Provitolo, D., Dubos-Paillard, E., Verdière, N., Lanza, V., Charrier, R., Bertelle, C., and Aziz-Alaoui, M. (2015). Human behaviors in the face of disasters : from observing to conceptual and mathematical modeling. *Cybergeo : Revue européenne de géographie / European journal of geography*, 735.

[Quansah et al., 2010] Quansah, J. E., Engel, B., and Rochon, G. L. (2010). Early warning systems : a review. *Journal of Terrestrial Observation*, 2(2) :5.

[Quarantelli, 1975] Quarantelli, E. L. (1975). Panic behavior : some empirical observations.

[Quarantelli, 1988] Quarantelli, E. L. (1988). Disaster crisis management : A summary of research findings. *Journal of management studies*, 25(4) :373–385.

[Quinlan, 1993] Quinlan, J. R. (1993). *C4.5 : Programs for Machine Learning*. Morgan Kaufmann.

[Quinlan, 2014] Quinlan, J. R. (2014). *C4. 5 : programs for machine learning*. Elsevier.

[Rasmussen, 1997] Rasmussen, J. (1997). Risk management in a dynamic society : a modelling problem. *Safety science*, 27(2) :183–213.

[Reghezza, 2006] Reghezza, M. (2006). Réflexions sur la vulnérabilité métropolitaine. la métropole parisienne face au risque de crue centennale. *Geography. Université de Nanterre-Paris X*.

[Reghezza-Zitt, 2012] Reghezza-Zitt, M. (2012). *Paris coule-t-il ?* Fayard.

[Reghezza-Zitt et al., 2012] Reghezza-Zitt, M., Rufat, S., Djament-Tran, G., Le Blanc, A., and Lhomme, S. (2012). What resilience is not : uses and abuses. *Cybergeo : European Journal of Geography*.

[Reisse, 2011] Reisse, J. (2011). L'expertise scientifique et le choix des experts en question. *Revue électronique de la Classe Technologie et Société de l'Académie Royale de Belgique*.

[Rhodes, 2014] Rhodes, A. (2014). Why don't they do what we think they should ? : Understand people's response to natural hazards. *from AFAC14 : After Disaster Strikes. Learning from Adversity*.

[Riad et al., 1999] Riad, J. K., Norris, F. H., and Ruback, R. B. (1999). Predicting evacuation in two major disasters : Risk perception, social influence, and access to resources 1. *Journal of Applied Social Psychology*, 29(5) :918–934.

[Richard and Laclemence, 2014] Richard, P.-H. and Laclemence, P. (2014). Ville intelligente ? Bassins de vie, terrains de crise : réflexions éthiques pour la gestion des évènements urbains extrêmes. *Perspectives, les cahiers scientifiques de l'ENSOSP*, (13).

[Rinaldi et al., 2001] Rinaldi, S. M., Peerenboom, J. P., and Kelly, T. K. (2001). Identifying, understanding, and analyzing critical infrastructure interdependencies. *IEEE control systems magazine*, 21(6) :11–25.

[Rizza et al., 2012] Rizza, C., Guimarães Pereira, Â., Chiaramello, M., and Curvelo, P. (2012). Do-it-yourself justice-considerations of social media use in a crisis situation : the case of the 2011 vancouver riots. In *Proceedings of the 2012 International Conference on Advances in Social Networks Analysis and Mining (ASONAM 2012)*, pages 720–721. IEEE Computer Society.

[Rogers et al., 2007] Rogers, M. B., Amlôt, R., Rubin, G. J., Wessely, S., and Krieger, K. (2007). Mediating the social and psychological impacts of terrorist attacks : The role of risk perception and risk communication. *International review of psychiatry*, 19(3) :279–288.

[Roseman, 1996] Roseman, I. J. (1996). Appraisal determinants of emotions : Constructing a more accurate and comprehensive theory. *Cognition & Emotion*, 10(3) :241–278.

[Rosenthal and Hart, 1991] Rosenthal, U. and Hart, P. (1991). Experts and decision makers in crisis situations. *Knowledge*, 12(4) :350–372.

[Rousseau, 1756] Rousseau, J.-J. (1756). Lettre sur la providence.

[Roussel, 2013] Roussel, I. (2013). Un épisode de nuisance olfactive à rouen en janvier 2013. *2268-3798*.

[Roy, 2000] Roy, B. (2000). Réflexions sur le thème quête de l'optimum et aide à la décision. *Décision Prospective Auto-organisation*, page 61.

[Roy and Bouyssou, 1993] Roy, B. and Bouyssou, D. (1993). *Aide multicritère à la décision : Méthodes et cas*. London School of Economics and Political Science.

[Ryan, 2011] Ryan, S. B. (2011). Highlighting the merits and demerits of high and low context oriented communication cultures in business : Fukushima nuclear accident and japan's communication with the international community. In *International Conference on Humanities, Society and Culture, Singapore*.

[Salomon, 1981] Salomon, M. (1981). *L'avenir de la vie*. Seghers.

[Sassen, 2005] Sassen, S. (2005). The global city : Introducing a concept. *The brown journal of world affairs*, 11(2) :27–43.

[Schmidhuber, 2015] Schmidhuber, J. (2015). Deep learning in neural networks : An overview. *Neural networks*, 61 :85–117.

[Siebeneck and Cova, 2008] Siebeneck, L. K. and Cova, T. J. (2008). An assessment of the return-entry process of hurricane rita 2005. *International Journal of Mass Emergencies and Disasters 26*, pages 91–111.

[Siegrist and Gutscher, 2006] Siegrist, M. and Gutscher, H. (2006). Flooding risks : A comparison of lay people's perceptions and expert's assessments in switzerland. *Risk Analysis*, 26(4) :971–979.

[Sillamy, 1983] Sillamy, N. (1983). *Dictionnaire usuel de psychologie*. Bordas.

[Simon, 2013] Simon, H. A. (2013). *Administrative behavior*. Simon and Schuster.

[Skinner, 2005] Skinner, B. F. (2005). Science et comportement humain. *Les cahiers psychologie politique [En ligne]*, numéro 7.

[Smith and McCarty, 2009] Smith, S. K. and McCarty, C. (2009). Fleeing the storm (s) : An examination of evacuation behavior during florida's 2004 hurricane season. *Demography*, 46(1) :127–145.

[Solis et al., 2009] Solis, D., Thomas, M. H., and Letson, D. (2009). Determinants of household hurricane evacuation choice in flordia. Technical report.

[Solomon et al., 2000] Solomon, S., Weisbuch, G., de Arcangelis, L., Jan, N., and Stauffer, D. (2000). Social percolation models. *Physica A : Statistical Mechanics and its Applications*, 277(1) :239–247.

[Sommerville, 1995] Sommerville, I. (1995). Software engineering, addison-wesley. *Reading, MA,*.

[Sopory and Wilkins, 2016] Sopory, P. and Wilkins, L. (2016). Q10 : What are the best social media channels and practices to promote health protection measures and dispel rumours and misinformation during events and emergencies with public health implications ? *World Health Organization Department of Communications, Wayne State University*.

[Sorensen, 2000] Sorensen, J. H. (2000). Hazard warning systems : Review of 20 years of progress. *Natural Hazards Review*, 1(2) :119–125.

[Sperling and Szekely, 2005] Sperling, F. and Szekely, F. (2005). Disaster risk management in a changing climate.

[Spirtes et al., 2000] Spirtes, P., Glymour, C. N., Scheines, R., Heckerman, D., Meek, C., Cooper, G., and Richardson, T. (2000). *Causation, prediction, and search*. MIT press.

[Stewart, 1991] Stewart, T. A. (1991). Brainpower : Intellectual capital is becoming corporate america's most valuable asset and can be its sharpest competitive weapon. *Fortune*, 23(1) :44–62.

[Streufert and Taylor, 1971] Streufert, S. and Taylor, E. A. (1971). Objective risk levels and subjective risk perception. Technical Report 40, Purdue University and Group Psychology Programs, Office of Naval Research.

[Swithern, 2014] Swithern, S. (2014). Global humanitarian assistance report 2014. Technical report.

[Tacnet et al., 2010] Tacnet, J.-M., November, V., Richard, D., and Batton-Hubert, M. (2010). Expertise, décision et incertitude : jusqu'où une approche interdisciplinaire est-elle possible dans le cadre de la gestion intégrée des risques naturels en montagne ? In *Conférence Outils Pour Décider Ensemble 2010 (OPDE)*, pages 18–p.

[Taillandier et al., 2012] Taillandier, P., Therond, O., and Gaudou, B. (2012). Une architecture d'agent bdi basée sur la théorie des fonctions de croyance : application à la simulation du comportement des agriculteurs. In *Journées Francophones sur les Systèmes Multi-Agents*, pages 107–116. Cépadués.

[Thiétart, 2014] Thiétart, R.-A. (2014). *Méthodes de recherche en management-4ème édition*. Dunod.

[Tintarev and Masthoff, 2007] Tintarev, N. and Masthoff, J. (2007). A survey of explanations in recommender systems. In *2007 IEEE 23rd international conference on data engineering workshop*, pages 801–810. IEEE.

[Toniolo, 2009] Toniolo, A.-M. (2009). Le comportement : entre perception et action, un concept à réhabiliter. *L'Année psychologique*, 109(01) :155–193.

[Tsoukias et al., 2013] Tsoukias, A., Montibeller, G., Lucertini, G., and Belton, V. (2013). Policy analytics : an agenda for research and practice. *EURO Journal on Decision Processes*, 1(1-2) :115–134.

[Tsuchiya, 1993] Tsuchiya, S. (1993). Improving knowledge creation ability through organizational learning. In *ISMICK'93 Proceedings, International Symposium on the Management of Industrial and Corporate Knowledge*, pages 87–95.

[Twigg, 2003] Twigg, J. (2003). The human factor in early warnings : risk perception and appropriate communications. In *Early warning systems for natural disaster reduction*, pages 19–26. Springer.

[Tyhurst, 1957] Tyhurst, J. (1957). Psychological and social aspects of civilian disaster. *Canadian Medical Association Journal*, 76(5) :385.

[Uitto, 1998] Uitto, J. I. (1998). The geography of disaster vulnerability in megacities : a theoretical framework. *Applied geography*, 18(1) :7–16.

[UNISDR, 2005] UNISDR (2005). Hyogo framework for action 2005-2015 : building the resilience of nations and communities to disasters. In *Extract from the final report of the World Conference on Disaster Reduction (A/CONF. 206/6)*, volume 380.

[United Nations, 2006] United Nations (2006). Global survey of early warning systems : An assessment of capacities, gaps and opportunities toward building a comprehensive global early warning system for all natural hazards. *Platform for the promotion of early warning (UNISDR—PPEW), UN : p*, 46.

[University of Leeds, 2009] University of Leeds, E. P. C. (2009). Understanding crowdbehaviours : Guidance and lessons identified. Technical report, Cabinet Office.

[Van Dyke Parunak et al., 2006] Van Dyke Parunak, H., Bisson, R., Brueckner, S., Matthews, R., and Sauter, J. (2006). A model of emotions for situated agents. In *Proceedings of the fifth international joint conference on Autonomous agents and multiagent systems*, pages 993–995. ACM.

[Vernier et al., 2017] Vernier, F., Miralles, A., and Tonneau, J.-P. (2017). Vers un observatoire agro-environnemental des territoires-un système décisionnel multi-échelle pour le bassin de la charente. *Revue Internationale de Géomatique*, 27(3) :399–422.

[Voguel, 2017] Voguel, J.-P. (2017). Le système d'alerte et d'information des populations : un dispositif indispensable fragilisé par un manque d'ambition. Technical report, Rapport sénatorial d'information n°595.

[Waidyanatha, 2009] Waidyanatha, N. (2009). Towards a typology of integrated functional early warning systems. *International journal of critical infrastructures*, 6(1) :31–51.

[Whitehead et al., 2000] Whitehead, J. C., Edwards, B., Van Willigen, M., Maiolo, J. R., Wilson, K., and Smith, K. T. (2000). Heading for higher ground : factors affecting real and hypothetical hurricane evacuation behavior. *Global Environmental Change Part B : Environmental Hazards*, 2(4) :133–142.

[Wilcox et al., 2008] Wilcox, J. A. et al. (2008). Consumer sentiment and consumer spending. Federal Reserve Bank of San Francisco.

[Witten et al., 2016] Witten, I. H., Frank, E., Hall, M. A., and Pal, C. J. (2016). *Data Mining : Practical machine learning tools and techniques*. Morgan Kaufmann.

[Wolpert et al., 1995] Wolpert, D. H., Macready, W. G., et al. (1995). No free lunch theorems for search. Technical report, Technical Report SFI-TR-95-02-010, Santa Fe Institute.

[Wooten and James, 2008] Wooten, L. P. and James, E. H. (2008). Linking crisis management and leadership competencies : The role of human resource development. *Advances in Developing Human Resources*, 10(3) :352–379.

[Wright and Johnston, 2010] Wright, K. and Johnston, D. (2010). Post-earthquake sheltering needs : how loss of structures and services affects decision making for evacuation. In *2010 New Zealand Society for Earthquake Engineering Conference Proceedings*, volume 21, page 23.

[Zighed and Rakotomalala, 2002] Zighed, D. A. and Rakotomalala, R. (2002). Extraction de connaissances à partir de données (ecd). *Techniques de l'Ingénieur, H*, 3 :744.

[Zins, 2007] Zins, C. (2007). Conceptual approaches for defining data, information, and knowledge. *Journal of the Association for Information Science and Technology*, 58(4) :479–493.

[Zoumpoulaki et al., 2010] Zoumpoulaki, A., Avradinis, N., and Vosinakis, S. (2010). A multi-agent simulation framework for emergency evacuations incorporating personality and emotions. In *Hellenic Conference on Artificial Intelligence*, pages 423–428. Springer.

Résumé

Cette thèse porte sur l'intégration de connaissances sur les comportements des populations dans la conception et l'évolution des systèmes d'alerte précoce, outils permettant de capter les signaux annonciateurs d'une crise pour les intégrer au cœur des processus de gestion de crise. L'objectif est, d'une part, de fournir un cadre de réflexion aux décideurs sur les questions de la sensibilisation des populations et de la prise en compte de leurs comportements en cas d'alerte, et, d'autre part, d'apporter une aide à la décision en cellule de crise sur les questions relatives à l'alerte et l'information aux populations, en proposant des éléments objectifs et contextualisés.

Dans ces travaux, les comportements des populations sont considérés sous l'angle de leurs déterminants environnementaux et individuels, caractérisés par une liste d'indicateurs pouvant être utilisés dans les systèmes d'alerte précoce. Basée sur ces indicateurs, nous proposons une démarche pour la conception d'un outil d'aide à la décision structurée en quatre étapes : identification des connaissances, structuration et recueil des données, génération d'un modèle de décision, utilisation et mise à jour du modèle.

La démarche s'inscrit dans une approche systémique fortement intégrée à son contexte de recherche, au carrefour entre positivisme et constructivisme. Elle répond à l'esprit du dispositif ORSEC (Organisation de la réponse de sécurité civile) réformé en 2004 par la loi de modernisation de la sécurité civile, qui fournit un cadre de réflexion et des recommandations générales sur la gestion de crise, transformant ainsi les approches précédentes, davantage orientées processus et scénarios.

Mots Clés

Systèmes d'alerte précoce, Aide à la décision, Modélisation des comportements, Gestion de crise, Management des connaissances.

Abstract

This thesis deals with the integration of knowledge on population behaviors in the design and evolution of early warning systems, tools that capture signals announcing a crisis and integrate them in the processes of crisis management. The objective is, on the one hand, to provide a framework of reflection to decision-makers on the issues of populations awarness and to take into account their behaviors in case of warning. On the other hand, the objective is to provide decision-making support in crisis cells on the issues related to the warnings and information of the populations, proposing objective and contextualized elements.

In this work, population behaviors are considered in terms of environmental and individual determinants, characterized by a list of indicators that can be used in early warning systems. Based on these indicators, we propose an approach for the design of a decision support tool structured in four steps: identification of knowledge, data structuring and collection, decision model generation, model use and update.

We use a systemic approach strongly integrated into the research context, at the crossroads between positivism and constructivism. It responds to the project of the ORSEC plan (Organization of the civil security response) reformed in 2004 by the Civil Security Modernization Act, which provides a framework for reflection and general recommendations on crisis management, thus transforming the previous approaches, more process-and-scenario-oriented.

Keywords

Early warning systems, Decision support, Behaviors modeling, Crisis management, Knowledge management.